

В. В. МОСКАЛЕНКО

ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

ОҚУЛЫҚ

Орта кәсіби білім беру бағдарламаларын жүзеге асыратын білім беру мекемелерінің оқыту үрдісінде қолдануға арналған оқулық ретінде «Білім беруді дамытудың федералды институты» Федералды мемлекеттік автономды мекемесімен («БДФИ» ФМAM) ұсынылған

*Рецензияны тіркеу нөмірі 765
2012 ж. 26 қарашадан бастап «БДФИ» ФМAM*

7-ші шығарылым, жөнделген



**Мәскеу
«Академия» баспа орталығы
2014**

ӘОЖ 621.315

КБЖ 31.291

М82

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес ««ТЖКБ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру жөніндегі қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды.

Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісін қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет.

Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19,

«Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@dcg.kz

Сын-пікір берушілер:

АТАҚ «Электропривод» ғылыми хатшысы, техн. ғыл. д-ры, проф. *М.Г.Юньков*; Мәскеу политехникалық колледжінің электротехникалық дисциплиналарының оқытушысы *О.П.Лавренцова*

Москаленко В.В.

М82 Электр жетегі: орта кәсіби білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған оқулық / В. В. Москаленко. — 7-ші шығ., жөнд. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2014. — 368 б.

ISBN 978-601-333-031-0(каз.)

ISBN978-5-4468-0838-0(рус.)

Автоматтандырылған электр жетектің теория негіздері баяндалған. Тұрақты және айнымалы ток электр жетектерінің функциялары және тағайындалуы, олардың сұлбалары, сипаттамалары, жұмыс істеу режимі, реттеуші қасиеттері, электрқозғалтқыштардың қосу және тежеу ерекшеліктері қарастырылған. Релелік-түйістіргіш аппараттары және жартылайөт-кізгішті түрлендіргіштер мен құрылғылары бар электр жетекті басқарудың тұйықталған және тұйықталмаған сұлбаларының жүзеге асырылуы және элементтік базасы сипатталған. Электр жетектің жұмыс энергетикасы мәселелері, оны жобалау негіздері типтік практикалық есептерді шешу мысалдарын келтіре отырып баяндалған.

Орта кәсіби білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған. ЖОО студенттеріне пайдасы тиімі мүмкін.

ӘОЖ 621.315

КБЖ 31.291

© Москаленко В.В., 2000

© «Академия» білім-баспа орталығы, 2005

© Безендіру. «Академия» баспа орталығы, 2005

ISBN 978-601-333-032-7(каз.)

ISBN978-5-4468-0838-0 (рус.)

АЛҒЫСӨЗ

Электр жетегі (ЭЖ) өнеркәсіпте, ауыл шаруашылығында, көлікте, коммуналды шаруашылықта және механикалық энергияның қолданылуымен тұрмыста әртүрлі технологиялық және өндірістік үрдістерді жүзеге асыруды қамтамасыз ететін электромеханикалық жүйе түрінде болады. ЭЖ тағайындалуы жұмыс машиналарының орындаушы мүшелерінің және механизмдердің қозғалысын қамтамасыз етуден және осы қозғалысты басқарудан тұрады. Басқа сөзбен, ЭЖ технологиялық және өндірістік үрдістерді жүзеге асырудың энергетикалық негізі бола тұрып, көп жағдайда олардың сапасын, энергетикалық және техника-экономикалық көрсеткіштерін анықтайды.

Ғылыми-техникалық прогресс, автоматтандыру және технологиялық және өндірістік үрдістерді комплексті механикаландыру заманауи ЭЖ-нің тұрақты дамуы мен жетілдірілуін анықтайды. Бірінші кезекте бұл әртүрлі жартылайөткізгішті күштік түрлендіргіштер мен микропроцессорлы басқару құралдарын қолданумен автоматтандырылған ЭЖ-ні кеңінен енгізуге байланысты. Электр машиналары мен аппараттарының, айнымалы координата датчиктерінің және ЭЖ-те қолданатын басқа да компоненттердің жаңа типтері ұдайы пайда болады.

Орындалатын ЭЖ функцияларының кеңеюі мен күрделендірілуі, оларда жаңа элементтер мен құрылғылардың қолданылуы, технологиялық үрдістерді автоматтандыру жүйелеріне ЭЖ-нің кеңінен қосылуы оларды жобалаумен, монтаждаумен, жөндеумен және эксплуатациясымен айналысатын мамандардың жоғарғы деңгейлі дайындығын қажет етеді. Олар ЭЖ-те жүретін негізгі физикалық заңдылықтарды, оның мәндерін, құрылғыларды, жұмыс істеу принципін, компоненттерінің қасиеттері мен сипаттамаларын жақсы білуі керек, ЭЖ басқару сұлбаларын түсінуі керек және олардың элементтерін таңдай білуі, сондай-ақ ЭЖ техника-экономикалық жұмыс көрсеткіштерін анықтай білуі қажет.

Кітап орта кәсіби білім берудің «Электр машиналары мен аппараттары», «Электроқшаулағыш, кабельді және конденсаторлы техника» және «электрлік және электромеханикалық құралдардың техникалық эксплуатациясы және қызмет көрсетуі» мамандықтарының оқу жоспарымен оқытылуы ескерілген «Электр жетегі» пәнінің жобалық бағдарламасымен сәйкестендіріліп жазылған. Мұнда ЭЖ механикасының мәселелері және олардың құрастырылуының жалпы принциптері, сұлбалары, сипаттамалары, тұрақты және айнымалы ток қозғалтқышы бар

ЭЖ реттеуіш қасиеттері, қозғалтқыштың қосу және тежеу әдістері, оларды қыздыру бойынша таңдап тексеру, жұмыстың негізгі энергетикалық көрсеткіштерін есептеу әдістері, сондай-ақ тұйықталған және тұйықталмаған ЭЖ басқару сұлбаларының негізгі элементтері, олардың типтік түйіндері және орындау мысалдары қарастырылған.

«Электр жетегі» пәнінің оқытылуы физика, математика, электротехниканың теориялық негіздері, электроника, автоматика, электр-машиналары мен аппараттары, микропроцессорлы техника бойынша қатысушылар білімдеріне негізделеді.

Оқытылатын материалды бекіту үшін, және оны жақсы практикалық меңгеру үшін кітап жұлдызшамен белгіленген есептеу мысалдарымен, және өз бетімен шешуге арналған есептермен қамтылған. Әр бөлімнің соңында қатысушығы өздігінен материалды меңгеру деңгейін тексеруге мүмкіндік беретін бақылау сұрақтары берілген.

Автор қолжазбаны баспаға дайындау кезіндегі көмегі үшін И.А. Москаленкоға алғыс білдіреді.

КІРІСПЕ

Заманауи өнеркәсіптік және ауыл шаруашылық өндірісте, көлікте, құрылыс пен коммуналды шаруашылықта, тұрмыста әртүрлі технологиялық процестер қолданылады, олардың жүзеге асырылуы үшін адам мыңдаған түрлі машиналар мен механизмдерді жасап шығарған. Бұл жұмыс машиналары мен механизмдерінің көмегімен пайдалы қазбаларды алу жүзеге асырылады, әртүрлі материалдар мен өнімдер өңделеді, адамдар, жұмыс құралдары, сұйықтықтар, газ орын ауыстырады және адам тіршілігін қамтамасыз етуге қажетті көптеген басқа үрдістер жүзеге асырылады. Осылайша, пайдалы қазбаларды алу экскаватор, бұрғылау қондырғысы және көмір комбайндар көмегімен жүргізіледі, бөлшектер мен материалдар әртүрлі білдектерде өңделеді, адамдар мен өнімдер көлік құралдарымен, лифттермен және эскалаторлармен орын ауыстырады, сұйықтықтар мен газдар сорғы мен желдеткіш көмегімен тасымалданады.

Жұмыс машинасы немесе өндіріс механизмы көптеген байланысқан бөлшектерден және түйіндерден тұрады, олардың бірі берілген технологиялық үрдісті немесе операцияны орындайды, сол себепті атқарушы орган (АО) деп аталады. Лифттарда – бұл кабина, экскаваторларда – шөміш, желдеткіштер мен сорғыларда – жұмыс дөңгелегі (қалақты аспап). Сондай-ақ бір өте маңызды жағдайды атап өтейік – барлық аталған технологиялық үрдістер жұмыс машиналары мен механизмдерінің АО механикалық қозғалысы есебінен жүзеге асырылады.

Көптеген жұмыс машиналарына бір емес екі немесе бірнеше өзара әсерлесуші АО болуы тән. Мысалы, жонғыш білдекте өңдеу кезінде бөлшек өз осыне айналады, сондай-ақ кескіш бөлшекті бойлай қозғалып, одан металл қабатын – жоңқаны шешеді. Бұл жағдайда бөлшектің айналуын білдек айналдырығы (бірінші орындаушы орган) жүзеге асырады, ал кескішті ілгерілетіп орын ауыстыртатын білдектің ілгерілету механизмі (екінші орындаушы орган).

Көптеген технологиялық үрдістерде АО қозғалысын басқару – қозғалыс жылдамдығын және оның бағытын реттеу, берілген позицияда дәл тоқтауды жүзеге асыру, қозғалыстың үдетілуін шектеу қажет етіледі мұндай реттеу лифттерде, илемдік орнақтарда, тасымалдағыш, көптеген білдектерде және басқаларында қажет етіледі.

Берілген операцияны орындау үрдісінде орындаушы орган үйкеліске, Жер тартылысына, заттардың пластикалық және серпімді деформациясына және тағы да басқа факторларға шартталған өзінің қозғалысына кедергіні еңсеруі керек. Бұл үшін оған өзінің тағайындалуына сәйкес жетек атауын алған құрылғысының механикалық энергиясын таяту керек.

Механикалық энергия басқа энергия түрлерін түрлендіретін жетекпен өндіріледі. Қолданылатын алғашқы энергия түріне қарай гидравликалық, пневматикалық, жылулық және электрлік жетектер ажыратылады. Заманауи өнеркәсіптік өндірісте, коммуналды шаруашылықта және тұрмыста электр жетегі (ЭЖ) кеңінен қолданыс тапты, оның үлесіне елде тұтынылатын электроэнергияның 60 %-дан көбі келеді.

ЭЖ мұндай кең қолданылуы оның басқа жетек түрлерімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарымен түсіндіріледі: электр энергиясын қолдануы, механикалықпен қоса басқа энергия түрлеріне түрлендіру мен үлестіру тиімдірек болуы; қуаттың және қозғалыс жылдамдығының кең диапазоны; құрылымдық орындалуының әртүрлілігі, бұл бізге жетекті жұмыс машинасының орындаушы органымен рационалды байланыстыруға және оны күрделі шарттарда – суда, агрессивті сұйықтықтар мен газды орталарда, ғарыштық кеңістіктерде жұмысқа қолдануға мүмкіндік береді; күрделі үрдістер автоматизациясының қарапайымдылығы; жоғары ПЭК және экологиялық тазалық.

Заманауи ЭЖ қолданылуы мүмкіндіктері ғылым мен техниканың түйісу аймақтарында – электрмашинажасау және электрәппаратуражасау, электроника және есептеуіш техника, автоматика мен механика жетістіктері есебінен тұрақты кеңейуді жалғастыруда.

1 тарау. НЕГІЗГІ ТҮСІНІКТЕР

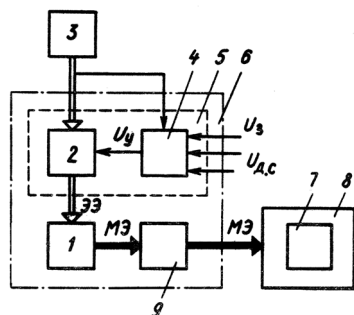
1.1 ЭЛЕКТРЖЕТЕКТЕРІНҢ ТАҒАЙЫНДАЛУЫ МЕН ТҮРЛЕРІ

Өзінің негізгі функциясын – жұмыс машиналары мен механизмдерінің орындаушы органдарын қозғалысқа келтіруді және сол қозғалысты басқаруды орындау үшін ЭЖ өзіне бір-бірімен өзара байланысқан және өзара әсерлесетін электротехникалық, электромеханикалық және механикалық элементтер мен құрылғылардың жиынтығын қосады. Мұндай электромеханикалық жүйе электр жетегі атауын алған. ЭЖ жалпы құрылымдық сұлбасы 1.1-суретте көрсетілген, мұнда қалыңдатылған сызықтармен күштік энергия каналдары, ал жіңішке сызықтармен аз қуатты (акпараттық) тізбектер көрсетілген.

Кез-келген электржетектің 6 негізгі элементі тұтынылатын электр энергиясы есебінен механикалық энергияны өндіретін, яғни электромеханикалық энергия түрлендіргіші болып табылатын электр қозғалтқышы (1) болып табылады. ЭЖ кейбір жұмыс режимдерінде электрқозғалтқыш жұмыс машинасының орындаушы органынан механикалық энергияны ала отырып энергияны кері түрлендіруді де жүзеге асырады.

Механикалық энергия электрқозғалтқыштан ауыстыратын құрылғы 9 (механикалық, гидравликалық, электромагниттік) арқылы жұмыс машинасының 8 орындаушы органына 7 беріледі, осының есебінен ол қажетті механикалық қозғалыс жасайды. Ауыстыратын құрылғы функциясы электрқозғалтқыштың және орындаушы органның қозғалыс параметрлерінің келісілген болуына негізделеді. ЭЖ дамуының прогрессивті бағыты электрқозғалтқыштың орындаушы органмен тікелей байланысуы болып табылады, ол «электржетек-жұмыс машинасы» комплексінің техника-экономикалық жұмыс көрсеткіштерін көтеруге мүмкіндік береді.

Электр энергиясы ЭЖ-не электрэнергия көзінен 3 келеді.



1.1-сурет

Электрқозғалтқышқа қажетті параметрлермен электр энергиясын алу үшін және қозғалтқыш пен электрэнергия көзінің арасындағы бұл энергия ағынын басқару үшін күштік түрлендіргіш 2 қосылады.

ЭЖ-де басқару және автоматтандыру функциялары аз қуатты басқару блогымен 4 жүзеге асырылады. Бұл блок орындаушы органның қозғалыс сипатын беретін U_z кіріс сигналының көмегімен және жұмыс машинасының технологиялық үрдісінің жүзеге асуы, орындаушы органның қозғалыс сипаты, ЭЖ жеке түйіндерінің жұмысы қауіпті жағдайлардың туындауы және т.б. жайында ақпарат беретін бірқатар U_{oc} қосымша сигналдар көмегімен U_y басқару сигналын өндіреді. Түрлендіргіш 2 басқару блогымен 4 бірге электржетекті басқару жүйесін 5 құрайды.

Сонымен, электр жетегі деп өзара әсерлесетін электрлік, электромеханикалық және механикалық түрлендіргіштерден, сондай-ақ басқарушы және ақпараттық құрылғылар мен түйіндесу құрылғыларынан тұратын, жұмыс машиналарының орындаушы органдарын қозғалысқа келтіруге және технологиялық үрдісті жүзеге асыру мақсатында осы қозғалысты басқаруға арналған электромеханикалық жүйені айтамыз.

ЭЖ-де тұрақты және айнымалы ток үздіксіз және дискретті жылжумен айналмалы және ілгерілемелі қозғалысты электрқозғалтқыштар қолданылады; цилиндрлі, бұрамдықты және планетарлы редукторлар түріндегі механикалық түрлендіргіштер және винт-гайка жылжуы, тізбектік және белдікті берілістер, гидравликалық және электрмагниттік жалғастырғыштар; өзіне басқарылатын түзеткіштерді, ток пен кернеу инверторларын жиілік пен кернеу реттегіштерін, кернеуді импульсты реттегіштерді қосатын электрлік күштік түрлендіргіштер; құрамына командоаппараттар, логикалық элементтер блогы, реттегіштер, күшейткіштер, микропроцессорлар және басқарушы электронды машиналар кіретін басқару құрылғылары. Көріп тұрғанымыздай, ЭЖ жүзеге асырылуы әртүрлі болуы мүмкін, бұл оның классификациясында көрінеді.

ЭЖ қозғалыс сипатына қарай, күштік түрлендіргіштің жүзеге асырылу түрі мен әдісіне, қолданылатын электрқозғалтқыштар санына, электрэнергия көздерінің түрлеріне, басқару әдісіне, механикалық берілістің бар немесе жоқ болуына және т.б. қарай классификацияланады. ЭЖ классификациясы егжей-тегжейлі [3] қарастырылған, осы жерден оның маңызды құраушыларын бөліп көрсетейік.

Қозғалыс сипаты бойынша ЭЖ айналмалы және ілгерілемелі қозғалысты болып ажыратылады, сонымен қатар олардың жылдамдықтары реттелетін және реттелмейтін бола алады, ал қозғалыстың өзі үздіксіз және дискретті, бір бағытты, екі бағытты (реверсивті) немесе тербелмелі (ілгері-кейінді) бола алады.

Қолданылатын қозғалтқыштар санына байланысты топтық, жеке және өзара байланысқан ЭЖ ажыратылады. Топтық ЭЖ оның бір қозғалтқышы бір машинаның бірнеше орындаушы органдарын немесе бірнеше жұмыс машинасының бір орындаушы органын қозғалысқа келтірілуімен сипатталады. Жеке ЭЖ жұмыс машинасының бір орындаушы органының қозғалысын қамтамасыз етеді. Өзара әсерлесетін ЭЖ бірге бір немесе бірнеше орындаушы органдарда жұмыс істейтін электрлік немесе механикалық байланысқан екі немесе бірнеше жеке ЭЖ-тер түрінде болады. Сонымен қатар, егер қозғалтқыштар бір-бірімен механикалық түрде байланысқан және ортақ білікке жұмыс істесе, онда ол көпқозғалтқышты ЭЖ деп, ал егер қозғалтқыштар электр тізбектерімен байланысқан болса, онда ЭЖ электрлік білік деп аталады.

Электрлі күштік түрлендіргіш түріне байланысты алуан түрлі ЭЖ ажыратылады. Егер оған тән қасиет ретінде электрэнергия көзінің кернеуін түрлендіру тәсілін алсақ, күштік түрлендіргіштердің төрт түрін ажыратуға болады: айнымалы ток кернеуін тұрақты (түзетілген) ток кернеуіне түрлендіретін басқарылатын және басқарылмайтын түзеткіштер; кері түрлендіруді орындайтын инверторлар; айнымалы ток кернеуінің параметрлерін өзгертетін айнымалы ток кернеуі мен жиілігін түрлендіргіштер; тұрақты токтың шығыс кернеуінің әртүрлі модуляция түрімен тұрақты ток кернеуін импульсты түрлендіргіштер.

Осы барлық күштік түрлендіргіштер әртүрлі элементтік базада, дәлірек айтсақ, электр машинасын, магнитті күшейткіштер, ионды және жартылайөткізгішті элементтер қолданылуымен орындалуы мүмкін. Заманауи күштік түрлендіргіштер ереже бойынша жартылайөткізгішті болып табылады, және оларда, негізінде, күштік транзисторлар, диодтар, тиристорлар және олардың түрлері қолданылады.

Қарастырылған айтарлықтай толық емес классификациядан көріп тұрғанымыздай, ЭЖ нақты жүзеге асырылуы алуан түрлі болуы мүмкін. Сондай-ақ кез-келген электржетегінің жұмысы кейбір ортақ заңдылықтарға бағынады, бұл негізі осы кітапта қарастырылған ЭЖ теориясының пәні болып табылады.

1.2 ЭЛЕКТРЖЕТЕКТІҢ ДАМУ ТАРИХЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДАҒЫ РӨЛІ

ЭП тарихы әдетте орыс академигі Б.С.Якобидің алғашқы айналмалы қозғалысты тұрақты ток қозғалтқышын жасап шығарған кезден бастап есептеледі. Бұл қозғалтқышты 1838 ж. Нева бойымен сынау рейстерін жүзеге асырған кішігірім кемеге орнату ЭЖ алғашқы жүзеге асыру мысалы болып табылады. Содан соң ЭЖ, мы-

салы артиллериялық қондырғыны дәлдеу үшін, доғалық лампаның электродтарын жылжыту үшін, тігін машинасының жетегі үшін қолданыла бастады. Алайда тұрақты ток электрэнергиясының үнемді көздерінің болмауынан ЭЖ ұзақ уақыт бойы кең қолданыс таппады және негізгі болып жылулық жетек қала берді.

Бұл жағдайды түптамырымен 1870 ж. өнеркәсіптік электрлік тұрақты ток генераторының жасалуы да, бірфазалы айнымалы ток жүйесінің пайда болуы да өзгерте алмады.

ЭЖ дамуына 1889 ж. М.О.Доливо-Добровольский үшфазалы ток жүйесін жасауы және үшфазалы асинхронды электрқозғалтқыштың пайда болуы түрткі болды, бұл электр энергиясын, демек ЭЖ де кең қолдануға арналған нағыз техникалық және экономикалық алғышарт болды.

Электр жетегі теориясы бойынша алғашқы ғылыми жұмыс 1880 ж. «Электр» журналында жарық көрген орыс инженері Д.А.Лачинованың «Электрмеханикалық жұмыс» мақаласы болып табылады, онда ғылыми негізде механикалық энергияның электрлік үлестірілуінің артықшылықтары көрсетілген.

Біздің елімізді электрлендіру және халықтық электр жетегі шаруашылығында кеңінен қолданылуы кеңінен жаңа электрстанцияларды салу және ескілерін қайта құру, жаңа электрберіліс сымдарын салу, электротехникалық өнеркәсіптің дамуы қарастырылған ГОЭЛРО жоспарын – Ресейді электрлендіру мемлекеттік жоспарын қабылдап жүзеге асырған соң басталды. Осыған сәйкес бұл жоспармен жылулық және гидравликалық электрстанциялар, мыңдаған километр әуе және кабельді сымдар, электр машиналарының, аппараттардың және кабельді өнімдердің өндірісі бойынша ондаған зауыттар қызмет ете бастаған, әртүрлі типті электр жетектерін жасау және оны халық шаруашылығына енгізу бойынша үлкен ғылыми-техникалық мәселелерді шешетін ғылыми-зерттеу және жобалық-құрылымдық институттар мен мекемелер құрылып жатты.

Бір мезетте электр жетегі теориясының дамуы да жүріп жатты. Алғашқы рет электр жетегі теориясының жеке пән ретінде 1925ж. шығарылған С.А.Ринкевичтың «Механикалық энергияның электрлік үлестірілуі» кітабында көрсетілген. Ары қарай электржетек теориясы В.П. Попов, А. Т. Голован, Д. П. Морозов, М. Г. Чиликин сияқты және т.б. кеңес ғалымдарының еңбектерінде дамыған. Үлкен назар сондай-ақ электр жетектерін жасау және пайдалануға дағдыланған инженерлі-техникалық және ғылыми кадрларды дайындауға аударылған.

Біздің еліміздің жұмысшыларының, техниктерінің, инженерлер мен ғалымдардың үлкен еңбегі нәтиже бермеуі мүмкін емес еді. Осылайша, 1890 ж. өнеркәсіптік өндірістегі электрқозғалтқыштардың қуат үлесі барлық қозғалтқыштар қуатының 5%-ын ғана құра-

са, 1927 ж. қарай бұл сан 75%-ға дейін өсті, ал қазіргі кезде ол 100%-ға жуық.

Халық шаруашылығында әлеуметтік еңбек өнімділігін көтеруге, оны шығармашылық және қызықты етуге (бұл өз алдына маңызды әлеуметтік мәселенің шешімі болып табылады) мүмкіндік беретін технологиялық үрдістерді автоматтандыру ғылыми-техникалық прогрестің маңызды бағыты болып табылған біздің уақыттарда технологиялық үрдістердің электрмен жарактандырылуының, яғни электржетектің деңгейінің рөлі одан сайын өсіп келеді. Автоматтандыруға тән ерекшелік робототехниканың жылдам дамуы, автоматтандырылған өндірістерді, автоматтандырылған сымдарды, микропроцессорлық техника құралдары орнатылған машиналар мен құрылғыларды, сандық программалық басқаруға ие көпоперациялы білдектерді, роторлы конвейерлі комплекстерді енгізу болып табылады.

Технологиялық үрдістерді электрлендіру мен автоматтандырудың алдағы дамуы, жоғары өнімділікті машиналарды, механизмдер мен технологиялық кешендерді жасап шығару көп жағдайда электр жетегінің дамуымен анықталады.

Заманауи ЭЖ негізгі даму бағыттарына жатады: заманауи түрлендіргіштерді қолданумен және микропроцессорлы басқарумен комплектті реттелетін ЭЖ жасау және шығару;

пайдалану сенімділігін, унификацияны және көтеру және ЭЖ энергетикалық көрсеткіштерінің жақсаруы;

реттелетін асинхронды ЭЖ қолдану аймағын кеңейту және ЭЖ-ні жаңа қозғалтқыш типтерімен, дәлірек айтсақ сызықтық, кадамдық, шұралы, дірілді, тезәсереткіштігі жоғары, магнетогидродинамикалық және т.б. типтерін қолдану;

технологиялық үрдістердің математикалық моделдері мен алгоритмдерін жасау бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарының, сондай-ақ ЭЖ-ні жобалаудың машиналық құралдарының дамуы;

заманауи автоматтандырылған электр жетегін жобалауға, жасауға және пайдалануға қабілетті инженерлі-техникалық және ғылыми кадрларды дайындау.

Осы және басқа бірқатар мәселелерді шешу ЭЖ техника-экономикалық сипаттамаларын айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді және сонымен қатар алдағы өнеркәсіптік өндірістің барлық салаларында, транспортта, ауыл шаруашылығында және тұрмыста техникалық прогреске арналған базаны жасауға мүмкіндік береді.

Бақылау сұрақтары

1. Өнеркәсіптік өндірістегі сипатты технологиялық үрдістерді атаңыз.
2. Жұмыс машиналарына және технологиялық үрдістер мен операцияларды жүзеге асыратын олардың атқарушы органдарына өз мысалдарыңызды келтіріңіз.

3. Жұмыс машиналарының орындаушы органдарының жұмыс істеуінің қандай артықшылықтары бар?

4. Жұмыс машинасының атқарушы органының механикалық қозғалысын сипаттап беріңіз.

5. Кедергі моменті немесе күші деген не?

6. Электр жетегінің артықшылықтары қандай?

7. Электр жетегіне анықтама беріңіз және оның элементтерінің жүзеге асырылуына мысал келтіріңіз.

8. Электр жетектерінің классификациясы қандай?

9. Электр жетегінің негізгі даму кезеңдерін атаңыз.

10. Заманауи электр жетегінің дамуы немен сипатталады?

2 тарау. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ МЕХАНИКАСЫ

Бұл тарауда жұмыс машиналарының орындаушы органдарының және орныққан және орнықпаған (өтпелі) режимдерде ЭЖ элементтерінің механикалық қозғалысы талданады.

2.1 ЭЛЕКТР ЖЕТЕК ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ТЕНДЕУІ

Механикалық қозғалыста электрқозғалтқыштың қозғалмалы бөлігі (ротор немесе якорь), механикалық жеткізу құрылғысының элементтері және орындаушы орган қатысады. Бұл элементтердің жиынтығын ЭЖ-нің механикалық бөлігі деп атайды.

ЭЖ механикалық бөлігінің (немесе жұмыс машинасының орындаушы органының) кез-келген элементінің қозғалысы физика курсынан белгілі механика заңына бағынады. Ілгерілемелі және айналмалы қозғалыстар сәйкесінше келесі тендеулермен сипатталады:

$$\sum F = mv / dt + v dm / dt; \quad (2.1)$$

$$\sum M = J d\omega / dt + \omega dJ / dt, \quad (2.2)$$

мұндағы $\sum F$ және $\sum M$ – элементке әсер ететін сәйкесінше күш пен моменттер жинағы; m және J – сәйкесінше элементтің массасы мен инерция моменті; t – уақыт, ω және v – элемент қозғалысының сәйкесінше бұрыштық және сызықтық жылдамдықтары.

Қозғалыс тендеулері өздерінің сипаттамаларына қарай жылдамдықтың, массаның және инерция моментінің туындылары болғандықтан дифференциалды болып табылады. Көп жағдайда элементтің массасы мен инерция моменті қозғалыс кезінде өзгермейді, олардың туындылары нөлге тең болады және (2.1) мен (2.2) тендеулері оңайланады:

$$\sum F = m dv / dt = ma; \quad (2.3)$$

$$\sum M = Jd\omega/dt = J\varepsilon, \quad (2.4)$$

мұндағы $a = dv/dt$ және $\varepsilon = d\omega/dt$ – сәйкесінше ілгерілемелі және айналмалы қозғалыстар кезіндегі үдеулер.

(2.3) және (2.4) теңдеулері белгілі механика заңдылығын көрсетеді: механикалық элемент (дене) қозғалысының үдеуі оған әсер ететін күштердің (моменттердің) алгебралық қосындысына тура пропорционалды және оның массасына (инерция моментіне) кері пропорционалды. Егер

$$\sum F = 0; \sum M = 0, \quad (2.5)$$

болса, онда $dv/dt = d\omega/dt = 0$ болады және элемент тұрақты жылдамдықпен қозғалып келеді немесе тыныштық күйде тұр.

Басқаша айтқанда, элемент өзгеріссіз жылдамдықпен қозғалатын (немесе қозғалыссыз) болады, егер оған түсірілген күштер мен моменттердің қосындысы нөлге тең болса. Мұндай қозғалыс орныққан деп аталады.

$\sum F > 0$ немесе $\sum M > 0$ болса элемент үдеумен қозғалады, ал $\sum F < 0$ немесе $\sum M < 0$ болса – бәсеңдеумен. (2.5) шарттары орныққан механикалық қозғалыс параметрлерін анықтау үшін қолданылады.

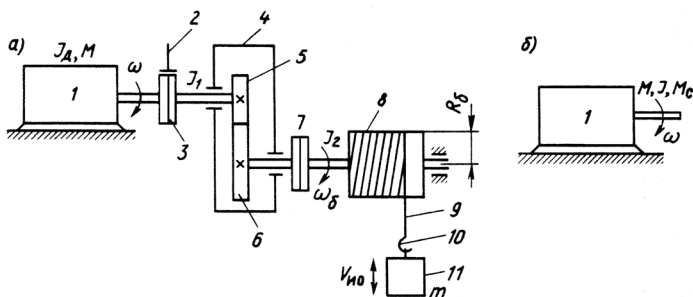
2.2. ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІҢ МЕХАНИКАЛЫҚ БӨЛІГІНІҢ ЕСЕПТЕУ СҮЛБАСЫ. БІРМАССАЛЫ СҮЛБА

ЭЖ механикалық бөлігін құрайтын элементтер өзара байланысқан және сондықтан бір-біріне сәйкесінше әсер етеді. Сол себепті, кез-келген элементтің механикалық қозғалысын талдау кезінде оған ЭЖ кинематикалық сұлбасының басқа элементтерінің әсерін ескерген жөн. Бұл (2.1)...(2.4) теңдеулеріндегі қозғалысы қарастырылып отырған элементке кіріс күштерді, моменттерді, масса мен инерция моменттерін санаумен жүзеге асырылады. ЭЖ теориясындағы мұндай есептеу келтіру операциясын атауын алған, ал есептелген айнымалылар мен параметрлер келтірілген деп аталады.

Келтіру операциясын тереңірек қарастырамыз да көтергіш шығырдың ЭЖ механикалық бөлігі мысалында сәйкес математикалық формулаларды аламыз, оның кинематикалық сұлбасы 2.1,а-суретте көрсетілген. ІД инерция моментімен айналмалы қозғалыстың электрқозғалтқышы 1 тегершіктер жұбымен 5 және 6 бірсатылы редуктор 4 арқылы көтергіш шығыр барабанын 8 ω бұрыштық жылдамдықпен қозғалысқа келтіреді, ол трос 9 және ілгек 10 көмегімен ВІО бұрыштық жылдамдықпен т массалы жүкті 11 көтереді.

Сұлбада сондай-ақ біріктіруші механикалық жалғастырғыштар 3 және 7 көрсетілген, олардың біріншісі механикалық тежеуішке 2 тегершік қызметін атқарады. Келтірілген кинематикалық сұлбаның барлық элементтері абсолютті қатты және олардың арасында саңылау болмайды деген жорамалды қабылдаймыз.

Келтіру операциясын қозғалысы қарастыруға келетін кез-келген элементке қатысты орындауға болады. Әдетте бұндай элемент ретінде механикалық қозғалыс көзі болып табылатын қозғалтқышты I таңдайды. Бұл жағдайда келтіру операциясының мәні ЭЖ механикалық бөліктерінің реалды сұлбасы (2.1, а-суретті қараңыз) негізі қозғалтқыш I болып табылатын, ал қалған элементтері әлі белгісіз келтірілген жүктеме (кедергі) моменті M_c және инерция моменті J болатын есептеу (эквивалентті) сұлбасымен алмастырылуы болып табылады. Мұндай есептеу сұлбасы бірмассалы сұлба немесе қатты келтірілген механикалық түйін атауына ие.



2.1-сурет

M_c мен J -ды анықтауға мүмкіндік беретін математикалық қатынас энергияның сақталу заңына сәйкес шығады.

J келтірілген инерция моментін анықтау. Реалды және есептеуіш сұлбалардағы элементтердің кинетикалық энергиясын анықтау үшін өрнек жазайық және оларды бір-біріне теңестірейік

$$J\omega^2/2 = J_d\omega^2/2 + J_1\omega^2/2 + J_2\omega_o^2/2 + mv_{no}^2/2, \quad (2.6)$$

мұндағы J_1 — ω жылдамдықпен айналатын элементтердің суммарлы инерция моменті, J_2 — ω_o жылдамдығымен айналатын элементтердің инерция моменті.

(2.6) өрнегінің екі бөлігін $2/\omega^2$ —ге көбейтіп, мынаны аламыз

$$J = J_d + J_1 + J_2 (\omega_o/\omega)^2 + m (v_{no}/\omega)^2. \quad (2.6)$$

(2.7)-де $\omega/\omega_0 = z_2/z_1 = 1$ (z_2 және z_1 сәйкесінше тегершіктердің 6 және 5 тістерінің саны) қатынасы редуктордың жіберу қатынасы болып табылатынын, ал $v_{\text{ио}}/\omega = \rho = \omega_0 R_0/\omega = R_0^{\text{и}}/\omega$ қатынасы орындаушы орган (ілгекпен 10) мен қозғалтқыш білік арасындағы кинематикалық сұлбаның келтіру радиусын көрсететінін айта кетейік. Осыны ескеріп соңында алатынымыз

$$J = J_0 + J_1 + J_2/i^2 + m\rho^2 \quad (2.8)$$

(2.8)-ден ортақ ереже шығады: J -ді есептеп шығару үшін айналушы элементтердің инерция моментін осы элементтер мен қозғалтқыш білігінің арасындағы кинематикалық сұлбаның келтірілген санының квадратына бөлу керек, ал ілгерілемелі қозғалатын элементтердің массаларын келтіру радиусының квадратына көбейтіледі, және алынған есептеу нәтижелерін қозғалтқыш пен оның жылдамдығымен қозғалатын элементтердің инерция моменттеріне қосады.

М жүктемесінің келтірілген моментін анықтау. Жүкті көтеру кезінде атқарушы органға ЭЖ-нен механикалық қуат берілу керек

$$P_{\text{ио}} = F_{\text{ио}} v_{\text{ио}} = mgv_{\text{ио}},$$

мұндағы g – ауырлық күшінің үдеуі; $F_{\text{ио}}$ – атқарушы органмен көбейтілетін күш.

ПӘК көмегімен кинематикалық тізбектегі қуат жоғалтуын есептей отырып, реалды және есептеу сұлбаларындағы ЭЖ жүктемесінің қуат балансын жазайық:

Жүкті түсіру кезінде онда сақталған потенциалды энергия кинематикалық сұлбадағы шығындарды еңсеруге ішінара шығындалып қозғалтқышқа беріледі. Осыған көмек ретінде қозғалтқышқа аздаған энергия беріледі, сонда ілгерілемелі қозғалыс кезінде

$$M_c \omega = mgv_{\text{ио}}/\eta. \quad (2.9)$$

мұндағы $\eta = \eta_r + \eta_b$ – ЭЖ кинематикалық сұлбасының нәтижелітін ПӘК-і; η_r және η_b – сәйкесінше редуктордың 4 және барабанның 8 ПӘК-тері.

(2.9)-дың екі бөлігін ω -ға бөліп, табамыз

$$M_c = mgv_{\text{ио}}/(\eta\omega) = F_{\text{ио}}\rho/\eta \quad (2.10)$$

Егер атқарушы орган ілгерілемелі емес айналмалы қозғалыс жасаса, онда

$$M_c \omega = M_{\text{ио}} \omega_{\text{ио}}/\eta \quad (2.11)$$

мұндағы $M_{\text{ио}}$, $\omega_{\text{ио}}$ – сәйкесінше атқарушы органның жүктеме моменті мен жылдамдығы, ал келтірілген жүктеме моменті

$$M_c = M_{\text{ио}}/(\eta i). \quad (2.12)$$

Жүкті түсіру кезінде онда сақталған потенциалды энергия кинематикалық сұлбадағы шығындарды еңсеруге ішінара шығындалып қозғалтқышқа беріледі. Осыған көмек ретінде қозғалтқышқа аздаған энергия беріледі, сонда ілгерілемелі қозғалыс кезінде

$$M_c = F_{\text{ио}} \eta_p, \quad (2.13)$$

ал айнымалы қозғалыс кезінде

$$M_c = M_{\text{ио}} \eta/i. \quad (2.14)$$

M_c келтірілген жүктеме моментін сондай-ақ статикалық момент немесе кедергі моменті деп аталатынын айта кетейік.

ЭЖ-де әзірге қолдану аясы тар ілгермелі қозғалысы келтірілген қозғалтқыш қолданылған кезде, келтіру дәл осы принциптермен жүзеге асырылады.

Келтіру операциясын орындау және сонымен 2.1,б-суретіндегі есептеу сұлбасына өту (2.4) теңдеудің сол жақ бөлігін ашуға мүмкіндік береді. Жалпы жағдайда оған кіретін қозғалтқыш моменттері M және M_c кедергілері оң таңбамен қатар теріс таңбаларға ие:

$$\pm M \pm M_c = J d\omega/dt. \quad (2.15)$$

Бұл таңбаларды анықтайтын ереже келесідей: егер моменттің қозғалыс әрекетінің бағыты жылдамдық бағытына сәйкес келсе, онда бұндай момент оң болып табылады, және керісінше.

ЭЖ үшін әдеттегі жағдайда қозғалтқыш қозғалту моментін, ал орындаушы орган – қозғалысқа кедергі моментін тудырады. Онда (2.15) келесідей түрде болады:

$$M - M_c = J d\omega/dt. \quad (2.16)$$

Қозғалтқыш пен жүктеменің моменттерінің айырымын көрсететін және қозғалыстың үдетілу мен баяулатылуы шарттарын анықтайтын (2.16) теңдеуінің сол жақ бөлігі білдіреді және ол электр жетек теориясында динамикалық момент атауына ие болған, $M_{\text{дин}} = M - M_c$.

2.1* есеп. Кинематикалық сұлбаның (2.1,а-суретті қараңыз) келесідей параметрлерде жүкті көтеру кезінде келтіру операциясын орындаңыз: $J_d = 0,1 \text{ кг*м}^2$; $J_1 = 0,02 \text{ кг*м}^2$; $J_2 = 2 \text{ кг*м}^2$; $m = 1000 \text{ кг}$; $R_6 = 1,15 \text{ м}$; $v_{\text{ио}} = 0,9 \text{ м/с}$; $z_1 = 14$; $z_2 = 86$; $\eta_p = 0,97$; $\eta_6 = 0,96$.

Редуктордың беріліс саны

$$i = z_2/z_1 = 86/14 = 6,14;$$

Кинематикалық сұлбаны келтіру радиусы

$$\rho = R_o / i = 0,15/6,14 = 0,024 \text{ м};$$

инерция моменті

$$J = J_d + J_l + J_2 / i^2 + m\rho^2 = 0,1 + 0,02 + 2/6,14^2 + 1000 \cdot 0,024^2 = 0,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

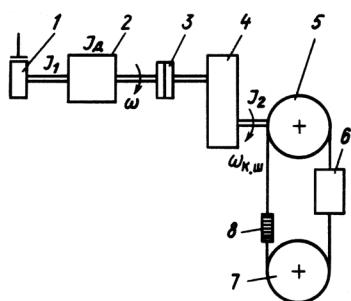
жүктеменің келтірілген моменті

$$M_c = mgr / (\eta_p \eta_o) = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,024 / (0,97 \cdot 0,96) = 253 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.2 есеп. Жоғарыда келтірілген мысал үшін жүкті түсіру жағдайында J және M_c анықтаңыз, параметрлердің мәндерін және кинематикалық сұлбаның ПӘК-ін сондай қылып алыңыз.

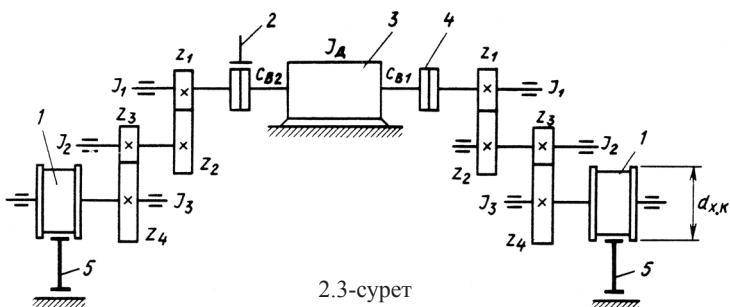
2.3 есеп. 2.2-суретте көрсетілген лифтің кинематикалық сұлбасының келесідей параметрлері берілген болса, J және M_c -ны анықтауға арналған формуларды жалпы түрде жазыңыз.

лифтің жүккөтергіштігі m_1 , кг; кабинаның қозғалыс жылдамдығы $b = v_{HO}$, м/с; кабина массасы t_k , кг; қарсы салмақ массасы $8 - m_{пв}$, кг; канатты жүргізуші тегершік диаметрі $5 - d_{кш}$, м; редуктордың жіберу саны $4 - i_p$; механикалық бөліктің ПӘК-і η_m ч; трос ұзындығы $7 - L_p$, м; тросың қума метрінің массасы m_m , кг/м; ω және $\omega_{кш}$ жылдамдықтарымен қозғалатын элементтердің инерция моменттері, сәйкесінше J_l және J_2 , сондай-ақ қозғалтқыштың инерция моменті $2 - J_d$. Қозғалтқыш 2 тежеуішпен 1 редуктормен 4 жалғастырғыш 3 арқылы байланысқан.



2.2-сурет

2.4 есеп. Арбаның ЭЖ-нің механикалық бөлігінің кинематикалық сұлбасы (2.3-суретте көрсетілген) үшін келесі бастапқы мәліметтер көмегімен J және M_c анықтау: арбаның орын ауыстыру жылдамдығы $v_{HO} = 0,8$ м/с; жүретін дөңгелектер диаметрі $d_{кк} = 0,6$ м; жүкпен бірге арбаның ортақ массасы $m = 8\,500$ кг, арба қозғалысының кедергі күші $F_{HO} = 120\,000$ Н; $J = 0,1$ кг·м²; $J_l = 0,15$ кг·м²; $J_2 = 0,01$ кг·м²; $J_3 = 0,05$ кг·м²; $z_1 = 20$; $z_2 = 79$; $z_3 = 16$; $z_4 = 83$; бір тістегерішті жұптың ПӘК-і $\eta_n = 0,97$.



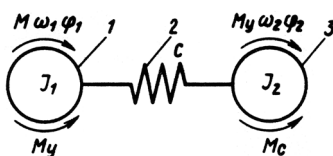
2.3-сурет

Сұлбада: 1-жүріс дөңгелектері; 2-тежеуіш; 3-қозғалтқыш; 4-жалғастырғыш; 5-рельстер

2.5 КӨПМАССАЛЫ ЕСЕПТЕУ СҰЛБАЛАРЫ

ЭЖ реалды кинематикалық сұлбалары орталарында саңылау болуы мүмкін иілгіш элементтерден (ақырғы қатандық элементтері) тұрады. Мысалы, 2.1,а-суреттегі сұлбада солай, ондай серпімді элемент жүк ілінетін трос 9 болып табылады. Айтарлықтай созылыңқылық кезінде серпімді элементтерге біріктіруші біліктерді де жатқызуға болады. Бұл сұлбада саңылаулар біріктіруші жалғастырғыштарда 3 және 7 сондай-ақ тістегершікті іліністе және мойынтіректе болуы мүмкін.

Серпімді элементтер мен саңылаулардың болуы ЭЖ механикалық бөлігінің есептеу сұлбасын көпмассалыға айналдырып қиындатады. Егер бір элементтің серпімділігі мен саңылауларды есепке алынып, бірақ ескерілмесе, онда келтіру операциясын орындау ЭЖ механикалық бөлігін екімассалы есептеу сұлбасы түрінде (2.4-суретте көрсетілген) елестетуге мүмкіндік береді.



2.4-сурет

Бұл сұлбада қатандық коэффициентіне ие серпімді элемент 2 сәйкесінше инерция моменттері J_1 және J_2 болатын екі массаны 1 және 3 байланыстырады. Массалардың біріншісі кинематикалық сұлбадағы өзіне қозғалтқыштың қозғалатын бөлігінің және онымен тығыз байланыстағы элементтердің массасын қосатын жылдамдықпен айналады, ал екіншісі өзіне орындаушы органның және онымен тығыз байланысқан элементтердің массасын m^2 жылдамдықпен қосады. Бірінші массаға M қозғалтқыш моменті және M_y серпімділік моменті берілген, ал екіншісіне M жүктеме моменті және иілгіш момент беріледі. Екімассалы жүйе қозғалысы бұл жағдайда келесі теңдеулер жиынымен сипатталады:

$$\begin{aligned} M - M_y &= J_1 d\omega_1 / dt; \\ M_y - M_c &= J_2 d\omega_2 / dt; \\ M_y &= c (\varphi_1 - \varphi_2), \end{aligned} \quad (2.17)$$

мұндағы φ_1 және φ_2 – сәйкес бірінші және екінші массаның бұрылу бұрыштары; c – серпімді элемент 2 материалы мен геометриялық өлшемдерімен анықталатын қатандық коэффициенті.

Серпиді сырықтың қозғалтқыш білігіне қатаңдық коэффициентін келтіру келесі формуламен жүзеге асырылады

$$c = c_{y,c} p^2, \quad (2.18)$$

ал айнарудың серпімді білігінің (ось) қозғалтқыш білігіне келесідей формула бойынша

$$c = c_B / i^2, \quad (2.19)$$

мұндағы $c_{y,c}$ және c_B – сәйкесінше серпімді сырықтың Н/м, және серпімді біліктің, Н*м қатаңдық коэффициенті.

$c_1, c_2, c_3, \dots$ қатаңдық коэффициенттеріне ие бірнеше серпімді элементтердің параллель жалғануы кезінде эквивалентті қатаңдық

$$c_{экр} = c_1 + c_2 + c_3 + \dots$$

ал тізбектей жалғану кезінде

$$1/c_{экр} = 1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3 + \dots$$

Екі не одан да көп элементтердің серпімділігін есептеген кезде есептеу сұлбасы сәйкесінше үшмассалы, төртмассалы және т.б. болып шығады. Көпмассалы есептеу сұлбалары ЭЖ кинематикалық сұлбасындағы саңылауларды ескеру қажет болған жағдайда да шығады. Көпмассалы сұлбалардағы элементтер қозғалысы күрделі әрі көп түрлі [2], және оны талдау үшін есептеу техникасын қолдану қажет етіледі.

2.5* есеп. ЭЖ механикалық бөлігіне 2.1 есептен (2.1,а-суретті қараңыз) трос серпімділігін, қатаңдық коэффициенті $c = 1-105$ Н/м болатынын ескеріп есептеу сұлбасын алыңыз. Трос массасын ескермеңіз.

Серпімді элемент (трос) көтерілетін жүкті және ЭЖ-нің қалған механикалық бөлігін бөліп тұрады. Есеп шарты бойынша тек бір ғана серпімділікті ескеру қарастырылса, есептеу сұлбасы екімассалы болып табылады (2.4-суретті қараңыз).

Онда бірінші массаның бірінші инерция моменті

$$J_I = J_d + J_1 + J_2 / i_2 = 0,1 + 0,02 + 2/6,142 = 0,175 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

а екінші массаның инерция моменті

$$J_{II} = m p^2 = 1000 \cdot 0,025^2 = 0,625 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

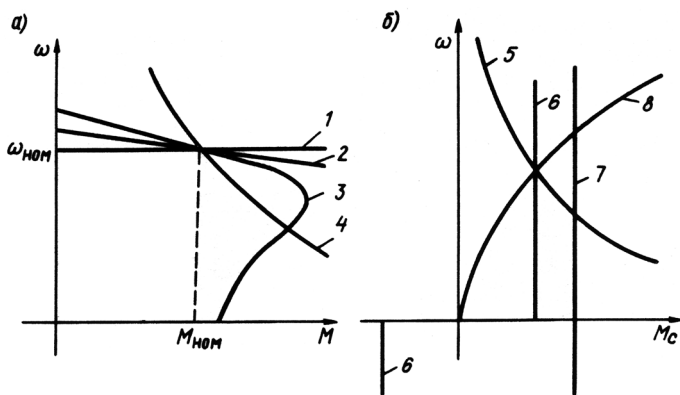
2.6 есеп. 2.3-суретте келтірілген кран арбасының кинематикалық сұлбасы үшін c_{a1} және c_{a2} қатаңдық коэффициенттеріне ие біліктер серпімділігін ескере отырып есептеу сұлбасын алыңыз.

2.4. ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІҢ ОРНЫҚҚАН ҚОЗҒАЛЫСЫ МЕН ОНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

2.1, б-суретте көрсетілген бірімділік есептеу сұлбасында электр жетектің орнатылған механикалық қозғалысы масса пен қозғалтқыштың моментімен, яғни $M = M_c$ шартымен анықталады. Бұл шарттың орындалуын тексеру аналитикалық немесе қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының және орындаушы органның көмегімен шығарылады.

Қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы болып оның жылдамдық пен дамып келе жатқан моментке $\omega (M)$ (айналатын қозғалысқа) немесе жігерге $v (F)$ (ілгермелі қозғалысқа) тәуелділігін айтамыз. Қозғалтқыштың табиғи және жасанды сипаттамасын айырады.

Қозғалтқыштың табиғи сипаттамасы болып (ол онда жалғыз) оның негізгі (паспорттық) қосылу сұлбасына және кернеудің номиналды параметрлеріне сәйкес. Қозғалтқыштың айналмалы қозғалыстағы табиғи механикалық сипаттамасы 2.5, а-суретінде көрсетілген. (1...4-сәйкесінше синхронды, тәуелсіз қоздырумен біркелкі ток, асинхронды және бірізді қоздырумен біркелкі ток). Табиғи сипаттамада қозғалтқыштың $\omega_{ном}$, $M_{ном}$ координаттарымен номиналды (паспортты) жұмыс режимі орналасады.



2.5-сурет

Егер қозғалтқыштың қосылуы негізгі сұлба бойынша жүргізілмесе немесе оның электрлік тізбектеріне қандай-да бір қосымша электртехникалық элементтер (резистор, реакторлар, конденсаторлар) қосылса немесе қозғалтқыш номиналды параметрлерсіз кернеумен жабдықталса оның сипаттамалары жасанды деп аталады.

Қозғалтқыштың мұндай сипаттамалары көп болуы да мүмкін. Бұл сипаттамалар қозғалтқыштың ток, момент, жылдамдық, орны айнымалыларын реттеу мақсатты алынатындықтан, олар кейде реттегіштер деп аталады. Қозғалтқыштың жасанды сипаттамалары және оларды алу әдістері ары қарай тереңірек қарастырылған.

Атқарушы органның механикалық сипаттамасы деп күш немесе ондағы моменттен тәуелділігі аталады, яғни айналмалы қозғалыс кезінде $\omega_{AO}(M_{AO})$ және ілгерілемелі қозғалыс кезінде $v_{TO}(F_{TO})$. Келтіру операциясы нәтижесінде бұл сипаттамаларды $\omega(M_c)$ түрдегі тәуелділіктерге түрлендіреді, мұндағы ω -қозғалтқыш жылдамдығы, ал M_c – оның білігіне келтірілген жүктеме (кедергі) моменті. Кейбір атқарушы органдардың механикалық сипаттамалары 2.5,б-суретте көрсетілген (5-металондеуші білдектің басты қозғалысының механизмы; 6-білдектің жіберу механизмінің транспартеры; 7-көтеру механизмы; 8-желдеткіш, бусорғыш, компрессор және ортадан тепкіштік сорғысы). Атқарушы органдардың реалды механикалық сипаттамалары өзінің түрі бойынша күрделірек екенін және әдетте 2.5,б-суретте көрсетілген тәуелділіктер үйлесі түрінде болатынын айта кетейік.

Қозғалу сипатына қарай M_c жүктеме моменттері активті және неактивті болып бөлінеді. Белсенді моменттер жылдамдыққа тәуелсіз, тұрақты өзінің қозғалыс бағытына ие және потенциалды күштермен – Жердің тартылыс күшімен (7-сипаттама), серпімді деформация күштерімен және т.б. пайда болады.

Реактивті момент сипаттамасы 2.5,б-суреттегі 6 тәуелділігіне сәйкес келеді, негізінен үйкеліс күшінен пайда болады, сол себепті қозғалыс бағытының өзгерісімен өз таңбасын өзгертеді.

Қозғалтқыштың және атқарушы органның сандық механикалық сипаттамалары қатаңдықпен бағаланады

$$\beta = dM/da - \Delta M/\Delta \omega. \quad (2.20)$$

Осы көрсеткішті қолдана отырып синхронды қозғалтқыштың 1 сипаттамасын абсолютты қатты ($\beta = \infty$) деп, ал асинхронды қозғалтқыш 3 сипаттамасын оң айнымалыға және теріс қаттылыққа ие деп, ал көтеру механизмінің 7 сипаттамасын нөлдік қаттылыққа ($\beta = 0$) ие деп бағалауға болады.

Енгізілген механикалық сипаттамалар түсінігі графикалық түрде орныққан қозғалыс шарттарын тексеруге және оның параметрлерін табуға мүмкіндік береді. Бұл үшін 2.6-суретте көрсетілгендей бір квадрантта қозғалтқыштың 1 және орындаушы органның 2 сипаттамалары орналастырылады. Бұл сипаттамалардың тоғысу A нүктесінде қозғалтқыш пен орындаушы орган моменттері тең болады және жылдамдығы $\omega_{уст}$ және моменттері $M_{уст}$ болатын орныққан қозғалысқа сәйкес болады.

Мұндай тексеруге арналған аналитикалық әдіс қозғалтқыш пен жүктеменің механикалық сипаттамалары $M = M_c$ шарты кезінде шешімі ω болатын екі теңдеу ретінде берілетін жағдайда қолданылады. Бұл жылдамдық мәнінің екі механикалық сипаттама теңдеулерінің біріне алмастырылып қойылуы орныққан момент мәнін алуға мүмкіндік береді.

Қозғалтқыш пен атқарушы орган механикалық сипаттамаларының түріне байланысты орныққан қозғалыстың тұрақтылығы анықталады. Тұрақтылық «қозғалтқыш-атқарушы орган» жүйесінің қозғалысты ω жылдамдықта немесе оның минималды ауытқуымен ұстап тұру қасиеттері ретінде түсініледі. Механикалық сипаттамалар көмегімен қозғалыс тұрақтылығын анықтау әдістерін қарастырайық (2.6-суретті қараңыз).

Белгілі бір себеппен ЭЖ жылдамдығы ω_1 деңгейіне дейін көтерілді дейік. Егер жылдамдық өзгерісінің себебі жоғалған жағдайда жылдамдыққа не болатынын анықтайық. Қозғалтқыш және атқарушы орган сипаттамаларынан ω_1 жылдамдықта M_{c1} жүктеме моменті M_1 қозғалтқыш моментінен үлкен екені көрінеді, яғни $M_1 < M_{c1}$. Онда (2.16)-мен сәйкес «қозғалтқыш-атқарушы орган» жүйесінде кері динамикалық момент әсер ете бастайды. $\omega_{уст}$ жылдамдығы кезінде бітетін тежеу үрдісі ($dw/dt < 0$) басталады.

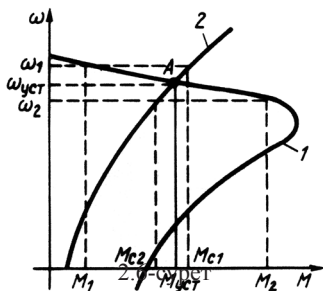
Енді қысқамерзімдік ауытқу жылдамдықтың $\omega_2 < \omega_{уст}$ деңгейіне дейін түсуіне негіз болған жағдайды қарастырайық. Бұл жағдайда $M_2 > M_{c2}$ оң динамикалық момент әсерінен жылдамдық $\omega_{уст}$ деңгейіне жеткенше өсе бастайды. Осылайша, «қозғалтқыш-атқарушы орган» жүйесі 2.6-суретте көрсетілген механикалық сипаттамаларымен мүмкін болатын одан ауытқу кездерінде орныққан қозғалыс жылдамдығына қайтып келу қасиетіне ие, яғни мұндай жүйедегі қозғалыс тұрақты болып табылады.

Қозғалыс тұрақтылығын тексеру сондай-ақ аналитикалық түрде

сипаттамалар қатандығы түсінігі қолданылуымен орындалуы мүмкін. Келесі шарттар орындалған кезде қозғалыс тұрақты болады

$$\beta - \beta_c < 0 \text{ немесе } \beta < \beta_c \quad (2.21)$$

мұндағы β және β_c – сәйкесінше қозғалтқыштың және атқарушы органның механикалық сипаттамаларының қатаңдығы.



2.6-сурет

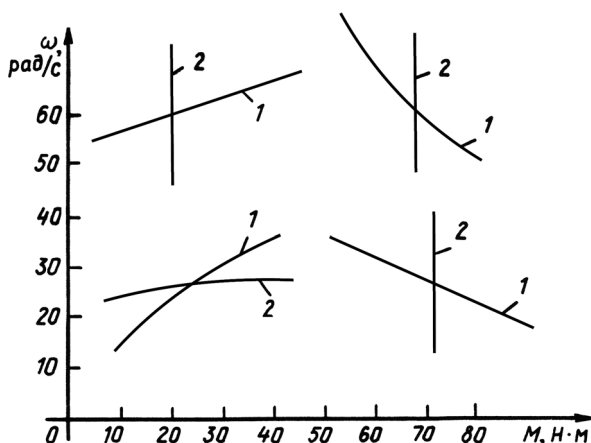
2.7* есеп. Жұмыс істеліп жатқан көліктің қозғалтқышпен атқарушы органның теңдеуі келесідей болады $\omega = 300 - 3M$ және $M = 30 + 2\omega$. Аналитикалық орнатылған қозғалыс ω пен моментті M анықтаңыз.

Орнатылған қозғалыстың шарттарын қолдана отырып $M = M_c$,

$$30 + 2 \omega_{уст} \text{ жазып алайық } \omega_{уст} = (300 - \omega_{уст})/3, \omega_{уст} = 30 \text{ рад/с.}$$

Анықталған жылдамдықтың түсіндірілуін кез келген екі теңдеуге қоя отырып, орнатылған сәттің анықтамасын аламыз $M = 90 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

2.8 есеп. 2.7 суретте әр түрлі қозғалтқыш 1 пен атқарушы органның 2 механикалық сипаттамасы бейнеленген. Анықталған қозғалыстың барлық жағдайлардағы графикалық түрде анықтау



2.7-сурет

ЭЖ анықталған қозғалысының тұрақтылығын және олардың кездесу нүктелеріндегі сипаттамаларының қатаңдығын анықтау.

2.5 ТҰРАҚТЫ ДИНАМИКАЛЫҚ МОМЕНТТЕГІ ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІҢ ОРНЫҚПАҒАН ҚОЗҒАЛЫСЫ

Қозғалтқыштың моменттері мен жүктемесі бір бірінен ерекшеленгенде, ЭЖ орнықпаған қозғалысы орын алады, яғни $M \neq M_c$. Бұндай жағдайда динамикалық момент $M_{дин}$ нөлге тең емес және жылдамдықтың азаюы мен көбеюі орын алады. ЭЖ анықталмаған қозғалысының қарапайым мысалы болып жіберу, тоқтату және қозғалтқыштың реверсі, оның бір жылдамдықтан екіншіге ауысу процессіндегі оны реттеу немесе ауырлықты өзгерту.

Анықталмаған қозғалыс ЭЖ орнатылған қозғалысының бір параметрден орнатылған қозғалыстың басқа параметрлеріне көшкен кезде пайда болады (егер қозғалыс тұрақты болса).

Осы себепті орнықпаған қозғалысты да өтпелі процесс немесе ЭЖ өтпелі режимі деп атайды.

Орнықпаған қозғалысты қарастыру мақсаты ЭЖ механикалық айнаымалыларының (координаталарының) – моменттер, жылдамдылықтар мен қозғалтқыш білігінің бұрылу бұрышының уақытқа тәуелділіктерін алу болып табылады. ЭЖ механикалық бөлігіндегі қозғалыстағы элементтердің инерттілігіне шартталған өтпелі процестерді қарастырайық. Кейде бұндай процестерді механикалық деп атайды.

Ізделінді тәуелділіктерді механикалық қозғалыстың дифференциалды теңдеуін (2.15) шешумен (интегралдаумен), сондай-ақ қозғалтқыш бұрышын φ және оның жылдамдығын ω байланыстыратын дифференциалды теңдеуді $\omega = d\varphi/dt$ шешумен аламыз.

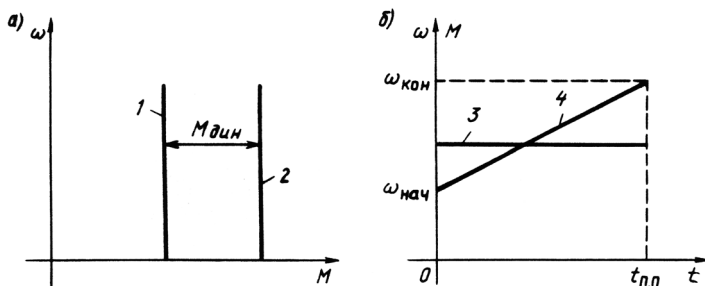
Бұл теңдеулерді шешу үшін қозғалтқыш пен жүктеме моменттерінің өзгеру заңдылықтарын, сондай-ақ қозғалыстағы элементтердің массалары мен инерция моменттерін және айнаымалылардың бастапқы (нөлдік) мәндерін білу қажет.

Жалпы жағдайда қозғалтқыш пен жүктеме моменттері, кейде инерция моменті де уақыт, жылдамдық және ОО-ның (қозғалтқыш білігінің айналу бұрышы) орналасу функциялары болып табыла алады.

Мүмкін болатын өтпелі процестердің көп түрінің ішінен ЭЖ қозғалтқышы мен жүктемелерінің моменттері жылдамдық пен уақытқа тәуелсіз тұрақты шамалар болғандағы, ал қозғалатын элементтердің инерция моменттері мен массалар өтпелі процесс кезінде өзгермеген кездегі жағдайларды қарастырайық. Басқа мүмкін болатын өтпелі процестерді [4] қараңыз.

2.8, а – суретте қозғалтқыш 2 пен жүктеменің 1 (орындаушы мүше) механикалық сипаттамалары көрсетілген, ол кезде олардың моменттері өзгеріссіз, яғни динамикалық момент тұрақты және оң. (2.16) қозғалыс теңдеуі бұл жағдайда айнаымалыларды бөлу әдісімен шешіледі, яғни

$$\omega = (M - M_c) t / J + C. \quad (2.22)$$



2.8-сурет

Интегралдау тұрақтысы C өтпелі процесстің бастапқы шарттарынан табылады: $t=0$ $\omega = \omega_{\text{нач}}$. (2.22)-ге бұл шартты қойған кезде, $C = \omega_{\text{нач}}$ аламыз. (2.22) анық келесідей түрде болады:

$$\omega = [(M - M_c)/J]t + \omega_{\text{нач}}. \quad (2.23)$$

алынған формула ЭЖ қарқындауы (2.8,б-суретті қараңыз) кезінде ω сызықты жылдамдығы t уақытқа тәуелді болуын көрсетеді: $(M - M_c) > 0$ болғанда, ол өседі (4 түзуі), ал $(M - M_c) < 0$ кезінде – кішірейтіледі. Қозғалтқыш моменті уақытқа тәуелді емес (3 түзу).

Өтпелі процесстің уақыты $t_{\text{пп}}$, жылдамдығы бастапқыдан $\omega_{\text{нач}}$ соңғысына $\omega_{\text{кон}}$ өзгерген кезде, (2.23)-тен оған $t = t_{\text{и}}$ $\omega = \omega_{\text{кон}}$ орна-
тылған кезде анықталады.:

$$t_{\text{пп}} = J(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}) / (M - M_c). \quad (2.24)$$

2.9 есеп. Келесі берілген акпарат бойынша $\omega(t)$ тәуелділігін құрастырып және есептеңіз: $M = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $M_c = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $J = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $\omega_{\text{нач}} = 100 \text{ рад/с}$. Жылдамдық екі есе төмендеген кездегі өтпелі процесстің уақытын есептеңіз.

2.10 есеп. $t_{\text{пп}} = 1 \text{ с}$ уақытта жылдамдықтың 200 рад/с өсуін $J = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ болған кезде қамтамасыз ететін динамикалық моментті анықтаңыз.

2.11 есеп. Қозғалтқыштың білігінің бұрышының уақыттан $\varphi(t)$ тәуелділігін динамикалық момент тұрақты жағдай үшін анықтауға арналған жалпы өрнекті алыңыз және бұл тәуелділік түрін сараптаңыз.

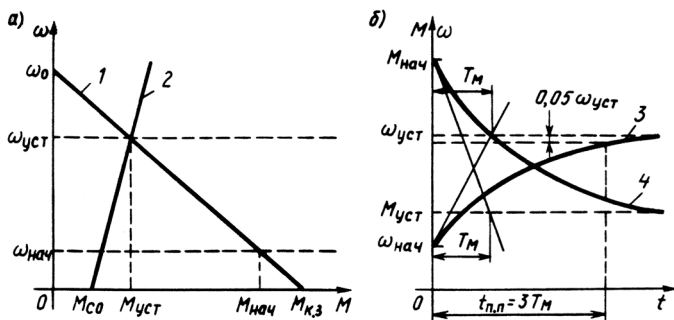
2.6. ҚОЗҒАЛТҚЫШ ПЕН АТҚАРУШЫ ОРГАННЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ МЕХАНИКАЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ КЕЗІНДЕГІ АНЫҚТАЛМАҒАН ҚОЗҒАЛЫСЫ

Қозғалтқыш пен атқарушы орнанның сызықтық механикалық сипаттамасы кезінде ЭЖ динамикалық моменті жылдамдыққа сызықты тәуелді. Бұндай өтпелі процесстер тұрақты токтың тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштар мен сипаттамаларының кейбір бөліктері немесе толығымен түзу сызықпен (аппроксимацияланған) көрсетілуі мүмкін қозғалтқыштарға ие ЭЖ-ге тән.

2.9, а-суретінде келесідей теңдеумен құрастырылған атқарушы орган 2 мен қозғалтқыштың 1 сызықтық механикалық сипаттамасы көрсетілген :

$$\begin{aligned} M &= M_{\text{кз}} - \beta \omega; \\ M_c &= M_{\text{с0}} + \beta_c \omega, \end{aligned} \quad (2.25)$$

$M_{\text{кз}}$ және $M_{\text{с0}}$ – нөлдік жылдамдықтағы қозғалтқыш пен атқа-



2.9-сурет

рушы органның моменттері.

Бұл өрнектерді (2.16) қозғалу теңдеуіне қойсақ, келесі өрнек шығады

$$M - M_c = M_{кз} - \beta \omega - M_{с0} - \beta_c \omega = J(d\omega/dt). \quad (2.26)$$

Әдеттегі дифференциалды өрнек түрінде (2.26) келесідей болады

$$T_M (d\omega/dt) + \omega = \omega_{уст} \quad (2.27)$$

Ол жерде $T_M = J/(\beta + \beta_c)$ - электрмеханикалық тұрғылықты уақыт, қозғалтқыштың мінездемесі мен атқарушы мүшенің кездесу нүктесіне сәйкес, с; $\omega_{уст} = (M_{кз} - M_{с0})/(\beta + \beta_c)$ - орнатылған жылдамдық.

(2.27) өрнек – өз пішіні бойынша бірінші реттегі сызықтық біртекті емес дифференциалды теңдеу болып табылады, оның шешімі келесідей болады

$$\omega(t) = A e^{-t/T_M} + \omega_{уст}, \quad (2.28)$$

тұрақты A коэффициенті өтпелі процесстің бастапқы шарттарында анықталады: $t=0$ $\omega = \omega_{нач}$,

$$A = \omega_{нач} - \omega_{уст}. \quad (2.29)$$

Жылдамдықтың уақыттан өзгеру тәуелділігі біржолата келсідей болады

$$\omega(t) = (\omega_{нач} - \omega_{уст}) e^{-t/T_M} + \omega_{уст}. \quad (2.30)$$

(2.25) теңдеуге қарап, уақыт функциясындағы қозғалтқыштың моментін жазғанда келесідей болады:

$$M(t) = M_{кз} - \beta \omega(t). \quad (2.31)$$

$$\beta = \Delta M / \Delta \omega = M_{кз} / \omega_0 = (M_{кз} - M_{уст}) / \omega_{уст} = (M_{кз} - M_{нач}) / \omega_{нач}$$

$\omega_{\text{нач}}$ және $\omega_{\text{уст}}$ орнатылғаннан кейін теңдеуді есепке алғанда

$$M(t) = (M_{\text{нач}} - M_{\text{уст}})e^{-t/T_m} + M_{\text{уст}} \quad (2.32)$$

$\beta_c = 0$ болған жағдайда (атқарушы мүшенің мінездемесі вертикалды түзу сызық болып табылады) ЭЖ кең тараған жағдайында (2.30) және (2.32) параметрлерге кіретіндер оңай түрде орындалады

$$T_m = J/\beta = J\omega_0/M_{\text{к.з}}; \quad \omega_{\text{уст}} = (M_{\text{к.з}} - M_c)/\beta$$

Өтпелі процестің уақыты $t_{\text{ип}}$, кейбір бастапқы $\omega_{\text{бас}}$ және $\omega_{\text{соң}}$ соңғы анықтауынан қозғалтқыштың жылдамдығы өзгерген жағдайда логарифіммен шешу арқылы анықталады (2.30):

$$t_{\text{п.п}} = T_m \ln[(\omega_{\text{уст}} - \omega_{\text{нач}})/(\omega_{\text{уст}} - \omega_{\text{кон}})]. \quad (2.32)$$

Алынған (2.30) және (2.32) өрнектерін таңдау қозғалтқыштың жылдамдығы мен моменті экспоненциалды заңдылықпен T_m уақыт бойынша өзгереді. көрсетеді. 2.9, б-суретте өтпелі процесс қарқынының графиктері көрсетілген: $\omega(t)$ – 3 қисығы және $M(t)$ – 4 қисығы қозғалтқыш жылдамдығын $\omega_{\text{нач}}$ -ден $\omega_{\text{уст}}$ -ге дейін өсірген кезде. Жылдамдық пен моменттің бастапқы және орныққан деңгейлері 2.9, а-суреттен ЭЖ орныққан және өтпелі қозғалыстарының арасындағы байланысты көрсетіп анықталады.

(2.33)-тен көріп тұрғанымыздай, жылдамдық пен моменттің орныққан деңгейлеріне қол жеткізу уақыты (яғни өтпелі процесс уақыты) шексіз үлкен болып табылады. Сол себепті техникалық есептеулерде өтпелі процестің $t_{\text{п.п}} = 3T_m$ (уақыттың үш тұрақтысына тең) тең болатын техникалық уақыты ұғымы қолданылады. Бұл уақыт интервалында жылдамдық өзінің орныққан мәнінен 95%-ын құрайды.

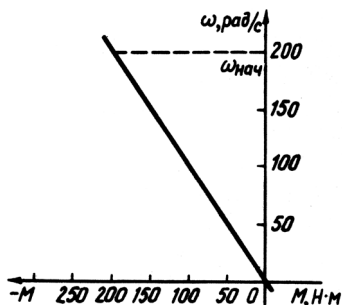
T_m уақыт тұрақтысы белгілі бір графикалық және физикалық мәндерге ие. 2.9, б-суретте ол сандық жағынан жүктемесіз ($M_c = 0$) қозғалтқыштың тр ұмтылыс уақытына тең, қозғалыссыз күйден ($\omega_{\text{нач}} = 0$) идеалды бос жүріс $\omega_0 = \omega_{\text{уст}}$ жылдамдығына дейін, $M_{\text{кз}}$ жіберу моментінің әсерінен. Берілген шарттарға байланысты (2.24) келесідей түрде болады

$$t_{п.п} = t_p = J \omega_0 / M_{кз} = T_m \quad (2.33)$$

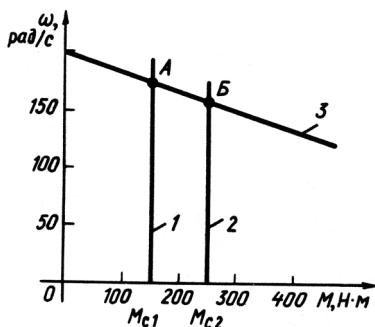
2.12 есеп. Санау жүргізіп және өтпелі қисық процесстің құрылуын орындау $\omega(t)$ және $M(t)$ қозғалтқыштың сызықтық механикалық сипаттамасы мен келесі берілгендер бойынша: $\omega_{нач} = 0$; $\omega = 150$ рад/с, $M_{нач} = M_{кз} = 150$ Н·м; $\omega_0 = 200$ рад/с; $M_{уст} = M_c = 40$ Н·м; $J = 0,1$ кг·м². Өтпелі процесстің практикалық уақытын бағалау.

2.13 есеп. Қозғалтқыш үшін тәуелділікті санау мен құрастыру $\omega(t)$ және $M(t)$, 2.10 суретінде механикалық сипаттамасы көрсетілген, егер $M_c = 0$, $\omega = 200$ рад/с.

2.14 есеп. 2.11 суретінде қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы 3 көрсетілген, орнатылған тәртіп бойынша жұмыс (А нүктесі), қарама-қайшылық моментін еңсерген $M = 150$ Н·м. Уақыт моментінде $t = 0$, санау басында қабылданған, $M_{c2} = 250$ Н·м (В нүктесі) деңгейіне дейін ауыртпалық сәтінің өзгеруі болған (түзу 1, 2). Осы ауыртпалықтың көбеюіне байланысты тәуелділікті $\omega(t)$ және $M(t)$ санау және құрастыру.



2.10-сурет



2.11-сурет

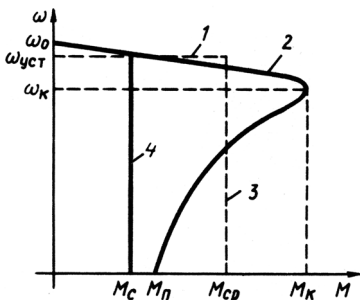
2.15. тапсырма (2.30) анықтамаларын қолданып, қозғалтқыштың белдігінің бұрышының бұрылу уақытындағы жалпы ортақ анықтаманы алу $\varphi(t)$. 2.12. тапсырмасының шарттарына осы тәуелділікті санау және құрастыру.

2.7. НЕГІЗСІЗ ДИНАМИКАЛЫҚ МОМЕНТТЕГІ ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІҢ АНЫҚТАЛМАҒАН ҚОЗҒАЛЫСЫ

Бұл түрдің өтпелі процесі кезінде қозғалтқыштың және атқарушы органың моменттері әр түрлі және жылдамдықтың, уақыттың және орнының функциялары сызықтық болмауы мүмкін. Шешудің әмбебап тәсілі жок ізделіп отырған тәуелділіктерді $\omega(t)$ және $M(t)$ алудың негізгі қиындығы болып қозғалыс теңдеуінің (2.15) интегрирленгенінде. Ары қарай қысқа қарастырылатын әуелгі анықтамалар мен есептеудің керек нақтылығын қолданылуға өтпелі қисық процесстің

әр түрлі тәсілдері қолданылады.

Қозғалтқыш пен атқарушы органның сызықтық емес механикалық сипаттамаларын сызықтандыру бұл сипаттамалардың немесе олардың жеке бөліктерінің түзу сызықтармен берілуіне негізделген. Бұл жағдайда өтпелі процесс қисықтарын құру үшін немесе оның ұзақтығын есептеу үшін (2.24) және (2.30) және (2.32) формулалары қолданылады. Егер механикалық сипаттамаларды бірнеше түзу кесінділермен аппроксимацияланса, онда өтпелі процесс бөліктер бойынша құрылады, сонымен қатар алдыңғы бөліктің айнмалысының соңғы мәні келесі бөлік үшін бастапқымән болып табылады.



2.11-сурет

2.16* есеп. Механикалық сипаттамасы 2.12-суретте көрсетілген асинхронды қозғалтқыштың қосылу уақытын бағаланыз, келесі мәліметтерді ескеріп: $\omega = 150$ рад/с; $J = 0,1$ кг·м²; $M_k = 220$ Н·м; $M_{п} = 180$ Н·м; $M_c = 100$ Н·м.

Шарт бойынша шамалы шешім рұқсат етілгендіктен асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамаларының аппроксимациясын екі түзумен жүзеге асырайық: $\omega_{ст} = 150$ рад/с нүктесі арқылы өтетін горизонталды 1, және $M_{ср} = (M_{п} + M_k)/2 = (180 + 220)/2 = 200$ Н·м нүктесі арқылы өтетін вертикалды 3.

Қозғалтқыштың алынған есептеу сипаттамалары үшін енді 2.5-бөлімдегі формулаларды қолдана аламыз, себебі динамикалық момент жіберу кезінде тұрақты болады. Сол кезде жіберу уақыты

$$t_{пунк} = t_{п.п} = J(\omega_{уст} - 0)/(M_{ср} - M_c) = 0,1 \cdot 150/(200 - 100) = 0,15 \text{ с.}$$

Қозғалыс теңдеулерін дәл интегралдау қозғалтқыш пен атқарушы органның моменттері аналитикалық түрде (формулалар түрінде) жылдамдық, орын ауыстыру немесе уақыт ретінде берілгенде қолданылады. $\omega(t)$ және $M(t)$ тәуелділіктерін табу осы формулаларды (2.15) теңдеуіне қоюмен және оны шешумен жүзеге асырылады, бұл теориялық тұрғыда нақты болып табылады.

2.17* есеп. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы келесі теңдеумен сипатталады

$$M = 2M_k / (s/s_k + s_k/s), \quad (2.34)$$

мұндағы $s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ — ағымдағы сырғанау; $s_k = (\omega_0 - \omega_k) / \omega_0$ — критикалық (максималды) момент M_k пен жылдамдыққа ω_k сәйкес келетін критикалық сырғанау; ω_0 — қозғалтқыштың идеалды бос жүрісінің жылдамдығы.

$\omega(t)$ немесе $s(t)$ тәуелділіктері үшін және $M_c = \text{const}$ жағдайы үшін

өтпелі процесс уақыты үшін дәл өрнектер алыңыз.

(2.15)-ке (2.34) теңдеуін қойып, және $d\omega = -\omega \, ds$ екенін ескеріп s сығанауға қатысты бастапқы дифференциалды теңдеуді аламыз:

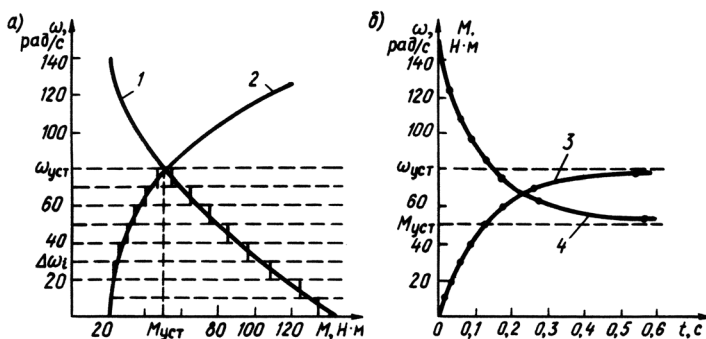
$$2M_k / (s/s_k + s_k/s) - M_c = -J \omega_0 ds/dt. \quad (2.35)$$

(2.35) интегралдау ізделінді $s(t)$ тәуелділігін ([4] қараңыз) алуға алып келеді.

2.18 есеп. Қозғалтқыш моменті уақыт бойынша $M = 100 - 15t$ заңдылығымен өзгереді. Сонымен қатар, жүктеменің тұрақты моменті $M_c = 40$ Н·м; қозғалтқыш білігіне берілген инерция моменті $J = 1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; қозғалтқыштың бастапқы жылдамдығы $\omega_{\text{нач}} = 20$ рад/с. $\omega(t)$ тәуелділігін алып жылдамдық $\omega = 120$ рад/с болатын уақытты анықтаңыз.

Қозғалыс теңдеулерін сандық интегралдау әдістері. Қозғалтқыштың немесе атқарушы органның механикалық сипаттамалары графикалық немесе кесте түрінде берілген жағдайларда, ЭЖ механикалық қозғалысының теңдеуі жататын математикада жасалған дифференциалдық теңдеулерді интегралдаудың сандық әдістерін қолданған дұрыс (2.16). Олардың ішіндегі жеңілірегі, мәнін келесі мысалда қарастыратын Эйлер әдісі болып табылады.

2.19* есеп. Қозғалтқышты қосу кезіндегі Эйлердің сандық әдісін қолдана отырып $\omega(t)$ және $M(t)$ тәуелділіктерін алу. Қозғалтқыштың I және атқарушы органның 2 механикалық сипаттамалары 2.13-суретте көрсетілген.



2.13-сурет

ЭЖ-нің инерция моменті $J = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Эйлердің сандық әдісін қолданамыз, яғни (2.16) теңдеуіндегі айнымалылар дифференциалын олардың соңғы өсімшесімен алмастырып жазамыз:

$$\Delta t = J \Delta \omega / (M - M_c). \quad (2.36)$$

$\omega(t)$ және $M(t)$ қисықтарын есептеу үшін жылдамдық осін $\Delta \omega$ интервалдар (өсімшелер) қатарына бөлеміз (берілген жағдайда 8-ге), олардың мәндерін 2.1-кестеге енгіземіз (жылдамдықтар интервалы шамасы бойынша бір-

дей де әртүрлі де бола алатынын атап өтейік).

Алдыңғы интервалдағы ω_{i-1} және $\Delta\omega_i$ өсімшесі жылдамдықтарын қосқанда, ағымдағы ω_1 жылдамдықтың анықтамасын табамыз.

Механикалық сипаттама бойынша жылдамдықтың әрбір интервалында M_1 қозғалтқыштың және $M_{\text{ат}}$ атқарушы мүшесінің орташа мәндерін анықтаймыз.

(2.36) формуласы бойынша әрбір жылдамдық интервалына сәйкесінше уақыт интервалын Δt_i санаймыз. Саналған уақыт интервалдарын қосқан кезде, өтпелі процесстің уақытының t_i ағымдағы мәнін табамыз.

2.1 кестесінің ақпаратын қолдана отырып, өтпелі процесстің тәуелділігін құрамыз $\omega(t)$ – 3- қисық және $M(t)$ – 4- қисық 2.13, б суретінде

2.1 Кесте

$\Delta\omega$, рад/с	$\omega_i = \omega_{i-1} + \Delta\omega_i$, рад/с	M_i , Н*м	M_{ci} , Н*м	Δt_i , с	$t_i = t_{i-1} + \Delta t_i$, с
10	10	136	20	0,015	0,015
10	20	124	21	0,020	0,035
10	30	108	22	0,023	0,058
10	40	96	25	0,028	0,086
10	50	84	29	0,036	0,124
10	60	74	34	0,050	0,174
10	70	64	40	0,083	0,257
10	80	54	47	0,0286	0,543

Жылдамдық интервалын таңдауды қамтамасыз ететін Эйлердің әдісі оңай, көрнекті әрі сұралатын есептеудің анығын алуға мүмкіндік береді.

Қисық өтпелі процесстің графоаналитикалық тәсілінің құрылуы механикалық жылдамдықпен атқарушы орган графикалық түрде берілген жағдайда қолданылады. ЭЖ теориясында бұндай бірнеше тәсіл жасалған (мысалға, аудандар мен пропорциялар) және де (2.16) сияқты теңдеулерді шешуге арналған. Бұл тәсілдер толығымен [1, 2, 4] қарастырылған.

2.20 есеп. 2.12 -суретте көрсетілген механикалық сипаттама АҚ 2 мен атқарушы органның 4 жылдамдығының өзгеру уақытын сапалы бейнелеп $\omega(t)$ жылдамдығын және қозғалқыштың $M(t)$ қосылу кезіндегі моментін бейнелеңіз.

Бақылау сұрақтары

1. ЭЖ механикалық бөліктеріне қандай элементтер жатады ?
2. Механикалық элементтердің айналмалы және ілгермелі қозғалы-

сын сипаттайтын тендеуді жазыңыз.

3. Қандай қозғалыс орныққан және орнықпаған болып аталады?
4. Келтіру операциясы не үшін орындалады?
5. ЭЖ механикалық бөлігінде энергия ағынының бағыты әртүрлі болған жүктеменің келтірілген моментін есептеудің ерекшелігін көрсетіңіз.
6. Қозғалыс тендеуіндегі моменттердің белгілерін анықтау ережесін түсіндіріңіз.
7. ЭЖ динамикалық моменті дегеніміз не?
8. ЭЖ көпмассалы есептеу сұлбаларының қолданылуы немен қамтамасыз етілген?
9. Қозғалтқыштың және атқарушы органның механикалық сипаттамасына мысал келтіріңіз.
10. Механикалық сипаттаманың қатаңдығы дегеніміз не?
11. Атқарушы орган мен қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының көмегімен орныққан қозғалыстың жылдамдығын қалай анықтауға болады?
12. Қозғалыстың тұрақтылығын қалай бағалауға болады?
13. ЭЖ орнықпаған қозғалысы қандай жағдайларда туындайды?
14. Орнықпаған қозғалыстың қарастырылу мақсаты қандай?
15. Орнықпаған қозғалыс қандай тендеулермен суреттеледі?
16. ЭЖ динамикалық моменті дегеніміз не?
17. Жалпы жағдайда ЭЖ динамикалық моменті қандай факторларға тәуелді болады?
18. Өтпелі процесс қисықтары бойынша электрмеханикалық тұрақты уақытпен оның анықталу тәсілінің физикалық мағынасын түсіндіріңіз.
19. ЭЖ динамикалық моментінің негізсіз мінездегі өтпелі қисық процесін алу тәсілдерін атаңыз.

3 тарау. ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІҢ КООРДИНАТТАРЫН РЕТТЕУ

Талап етілетін тәртіпті қамтамасыз ету үшін көліктердің жұмысы, өндірістік механизм және ЭЖ өзі олардың жұмысын сипаттайтын кейбір айнымалылар реттеліп тұру керек. ЭЖ координаттары деп жиі аталатын бұндай айнымалылар болып мысалға, жылдамдық, тездету, АО жағдайы немесе кез келген басқа механикалық элементтің жетегі саналады.

Координаттарды реттеудің қажеттілігінің қарапайым мысалы болып ЭЖ жолаушылар лифті болып табылады. Лифт бөлмесінің тоқтатылу және іске қосылу кезіндегі ыңғайлылықты қамтамасыз ету үшін тездету мен баяулату бәсеңдетіледі. Кабинаның жылдамдығы токтар алдында баяулатылуы тиіс, яғни реттелуі керек. Берілген нақтылықпен кабина керекті қабатта тоқтатылуы тиіс. Бұндай лифтің кабина қозғалысының басқарылуы ЭЖ лифтінің тиісті координаттардың реттелуіне байла-

нысты.

Қозғалыс координаталарын реттеу процесі қозғалтқыштың жасанды (реттелетін) сипаттамаларын алумен әрдайым байланысты екенін айта кетейік, бұл қозғалтқышқа бағытты әсермен қол жеткізіледі. ЭЖ негізгі координаттарын реттеуді тереңірек қарастырайық.

3.1. ЖЫЛДАМДЫҚТЫ РЕТТЕУ

Атқарушы органдардың қозғалыс жылдамдығын реттеу көптеген жұмыс машиналары мен механизмдерінде – илемдік білдек, көтеру-транспортты механизмдер, тау-кен байыту және қағаз жасағыш машиналарда, металл өңдеуші білдектерде және т.б. қажет етіледі. ЭЖ көмегімен олардың АО қозғалыс жылдамдығын реттеу мен тұрақтандыру жүзеге асырылады, сондай-ақ берілетін сигнал (байқау) немесе алдын-ала берілген программа бойынша еркін өзгеруімен сәйкес АО жылдамдығының өзгерісі. ЭЖ көмегімен қалайша жұмыс машиналарының АО жылдамдығын реттеуді қамтамасыз етуге болатынын қарастырайық.

ЭЖ-нің жалпы сұлбасынан көретініміздей (1.1-суретті қараңыз) қозғалтқыш пен АО айналмалы немесе ілгерілемелі қозғалыстары кезінде жылдамдықтары өзара келесідей қатынаспен байланысқан

$$\omega_{AO} = \omega / i \text{ немесе } y_{AO} = \omega p \quad (3.1)$$

(3.1) өрнегінің талдау АО қозғалу жылдамдығын механикалық беріліс немесе қозғалтқышқа немесе екеуіне де бір мезетте әсер ете отырып реттеуге болатынын көрсетеді.

Бірінші жағдайда әсер і беріліс санының немесе қозғалтқыштың тұрақты жылдамдығы кезіндегі механикалық берілісті келтіру радиусының p өзгерісімен анықталады, сол себепті бұл реттеу әдісі механикалық деген атауға ие болған. Оның жүзеге асырылуы үшін беріліс қорабы (сатылы реттеу кезінде), вариаторлар, электрмагнитті жалғастырғыш (бірқалыпты реттеу үшін) қолданылады. Механикалық әдіс мұндай технологиялық процестердің автоматтандырылу қиындығынан, берілген типтегі реттелетін механикалық берілістің аз жиынтығы, және олардың жоғары емес сенімділігі мен үнемділігі үшін шектеулі қолданылады.

Электрлік деген атау алған АО жылдамдығын реттеу әдісі механикалық берілістің өзгеріссіз параметрлері кезіндегі қозғалтқышқа әсерін қарастырады. Бұл әдіс заманауи ЭЖ-де оның үлкен реттеуші мүмкіндіктерінің, қарапайымдылығы, технологиялық процестерді автоматтандырудың жалпы сұлбасында қолдану ыңғайлылығы және

үнемділігінің арқасында кең қолданыс тапты.

АО жылдамдығын реттеудің біріктірілген әдісі көбінесе ЭЖ-гі металл өңдеуші білдектерде қолданылады.

Сонымен, заманауи жұмыс машиналары мен механизмдерінің атқарушы органның қозғалысын басқару көп жағдайларда сәйкес жасанды сипаттамаларды алу мақсатында оның басқару жүйесінің көмегінің есебінен электрқозғалтқышқа бағытты әсер есебінен жүзеге асырылады.

3.1-суреттегі мысал үшін тұрақты токтың тәуелсіз қозу қозғалтқышының табиғи механикалық сипаттамасы және екі жасанды – тізбекке енгізу кезінде R (2 түзуі) резистордың кедергілері және якорьға берілетін кернеудің (2 түзуі) басылуын баяулату азаюы көрсетілген. Бұл екі жасанды сипаттамалар және M_c төмендегіге ие екі жасанды сипаттамаға қамтиды.

Жылдамдықты реттеудің әртүрлі әдістеріне келтіру және сандық талдау үшін келесі көрсеткіштерді қолдану керек.

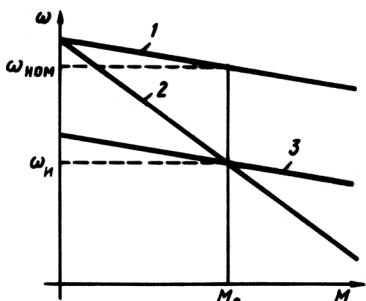
Жылдамдықты реттеу диапазоны, максималды жылдамдықтың минималдыға қатынасымен анықталады, яғни $D = \omega_{\max} / \omega_{\min}$. 3.1-суретке сәйкес M_c жүктеу моменті берілген кезде реттеуші диапазон $\omega_{\text{ном}} / \omega_{\text{и}}$ қатынаспен анықталады.

Жылдамдық қозғалтқыш білігіндегі жүктеме моментінің мүмкін болатын тербелістері немесе оның механикалық сипаттамаларының қатаңдығымен анықталатын кезінде қолданылуымен сипатталатын *жылдамдық тұрақтылық* анықталады. Ол өскен сайын жүктеме моментінің өзгеруі кезіндегі жылдамдық тұрақтырақ болады, және керісінше. Қарастырылып жатқан мысалда үлкен тұрақтылық жасанды сипаттамасы 3 кезінде қамтамасыз етіледі.

Бір жасанды сипаттамадан басқасына өту кезінде жылдамдықтың түсуімен анықталады. Берілген диапазонда жасанды

сипаттамалар қабылданған болуы мүмкін жылдамдық реттеулер көбірек болған сайын жылдамдықты реттеу байсалдырақ жүреді.

Жылдамдықты реттеу бағыты. Қозғалтқышқа әсер әдісіне және алынатын жасанды сипаттамалар түрлеріне тәуелді, оның жылдамдығы табиғи сипаттамадағы берілген жүктеме моменті кезіндегі жұмыспен салыстырғанда өсіп немесе кемуі мүмкін.



3.1-сурет

Алғашқы жағдайда жылдамдықты негізгі сипаттамадан жоғарыға қарай реттеу туралы айтылады, ал екіншісінде – жоғары. Жылдамдықты жоғарыға реттеу табиғидан жоғары орналасқан алынған жасанды механикалық сипаттамаларға байланысты деп айтуға болады, ал жылдамдықты төменге реттеу табиғидан төмен орналасқан сипаттамалармен қамтамасыз етіледі.

Қозғалтқыштың рұқсат етілетін жүктемесі. Электр қозғалтқышы номиналды жылдамдықпен, токпен, момент және қуатымен табиғи сипаттамада жұмыс істей отырып, бірақ ол оның оқшаулануына сәйкестелген белгілі бір температурадан жоғары көтерілмейтін болса есептеліп жобаланады. Бұл жағдайда оның жұмыс істеу мерзімі әдетте 15-20 жылды құрып нормативті болып табылады. Қозғалтқышты қыздыру кезіндегі энергия жоғалтулары ток квадратына пропорционалды болғандықтан нормативті қыздыру оның бойынан номиналды ток өтуі кезінде орын алады. Айта кететін жайт қыздыру сондай-ақ қозғалтқышты суыту (желдетулерден) шарттарымен анықталады.

Жылдамдықты реттеу кезінде қозғалтқыш жасанды сипаттамаларда, яғни паспорттық шарттардан өзгеше болған кездегі шарттарда жұмыс істейді. Сол себепті оның нормативті қыздыруын, және қозғалтқыш жүктемесінің жұмыс істеуінің есептік мерзімін сақтау (оның салқындауының есептік шарттары кезінде) үшін ол оның боймен номиналдыдан жоғары емес болатындай бола алады, және ол рұқсат етілетін деп аталады.

Жылдамдықты реттеудің барлық әдістері осы қасиет бойынша екіге бөлінеді. Олардың біріне номиналды моментке тең рұқсат етілетін жүктеме тән болса, екіншісіне – қозғалтқыштың номиналды қуатына тең. Жылдамдықты реттеу әдісін дұрыс таңдаған жағдайда оның өзгеруінің барлық диапазонындағы мүмкіндіктеріне сәйкес қозғалтқыш толығымен қолданылады.

Жылдамдықты реттеу үнемділігі. Сол бір көрсеткіштерді (диапазон, тұрақтылық және т.б.) алуды қамтамасыз етуге әртүрлі ЭЖ мен олардың жылдамдықтарын реттеу әдістерінің көмегімен мүмкіндік береді. Реттелетін ЭЖ рационалды түрін таңдап алу үшін әртүрлі техника-экономикалық көрсеткіштер – оның жүзеге асырудың капиталды шығындары, эксплуатациялық шығындар, өзін ақтау мерзімі, сенімділік, ыңғайлылық және эксплуатация қарапайымдылығы, сериялығы және басқару құралдарының унификациясы және т.б. қолданылады. Экономикалық көрсеткіштердің бағасы немесе салыстыруы берілген ЭЖ-нің жылдамдығын реттеу мүмкін болатын әдістерді таңдау кезінде жүргізіледі. Барлық мүмкін болатын нұсқаларды талдау нәтижесінде экономикалық негізделген

шешім қабылданады.

Әдетте реттелетін ЭЖ нұсқаларын салыстыру капиталды шығындар мен өзін ақтау мерзімін ескергендегі эксплуатациялық шығындар бойынша жүзеге асырылады. Егер ЭЖ жүзеге асырылуының капиталды шығындары берілген эксплуатация мерзіміндегі шығындарды азайту есебінен ақталса, онда мұндай техникалық шешім экономикалық негізделген болып табылады. Дәл осы мақсатпен басқа да техника-экономикалық көрсеткіштер қолданыла алады. Экономикалық салыстыру мен бағалау жылдамдықты реттеудің әртүрлі әдістерін, сондай-ақ реттелетін ЭЖ тек жұмыс машинасы мен механизмінің берілген техникалық сипаттамаларын қамтамасыз етілетін жағдайында ғана құқылы екенін атап өтейік.

3.2. ЭЛЕКТР ТОҒЫ МЕН УАҚЫТТЫ РЕТТЕУ

Атқарушы органдардың берілген қозғалыс кестесін қалыптастыру кезінде оның баяулатуын немесе жеделдетілуін орындау талабын қамтамасыз ету жағдайы жиі қажет болады. (2.3) және (2.4) суреттерде көрсетілгендей, сәйкесінше бұл ЭЖ уақыты немесе күші жағынан атқарушы органдарға қолдануды реттеу арқылы қол жеткізіледі.

Кейбір технологиялық процестерде (металл дайындауда, кабельдер мен желілерді дайындауда, қағаз және текстиль өндірісінде) атқарушы органдар жұмыс көліктерінің қажетті өңдеуден өткен материалдан немесе сол талапқа сай өнімнен жасалуларын талап етеді. Сондай-ақ атқарушы органдарда сәйкесінше жұмыс көліктері мен механизмдердің өздері қалыптастырған уақыт пен күшті реттеуді ЭЖ көмегі арқылы қамтамасыз етеді.

Кейбір жағдайларда атқарушы органдар қозғалысының кенеттен тыс тоқтауында (мысалы, жерді қазу кезінде, ұңғымаларды қазуда, механикалық сыналау берілу кезінде және т.б.) жұмыс көліктерінің немесе механизмдердің жарамсыз болып қалуының алдын алу үшін ЭЖ тасымалдау уақытын шектеу талап етіледі. Дәлдік пен үнемділік уақытты реттеуді (шектеуді) бағалау үшін аталған немесе басқа да тәсілдердің негізгі көрсеткіштері болып табылады.

ЭЖ уақытын қандай тәсілмен өзгертуге болады? Бұл сұраққа жауап беру үшін электр қозғалтқыштарының шығарған уақыты магнитті ағым мен электр якорь туындысына пропорционал екенін еске түсіреміз, яғни

$$M = k \Phi I, \quad (3.2)$$

мұндағы k – қозғалтқыштың конструктивті коэффициенті.

Осылайша, якорь тоғын I немесе Φ магнитті ағымдарды өзгерте отырып, уақытты реттеуге (шектеуге) болады.

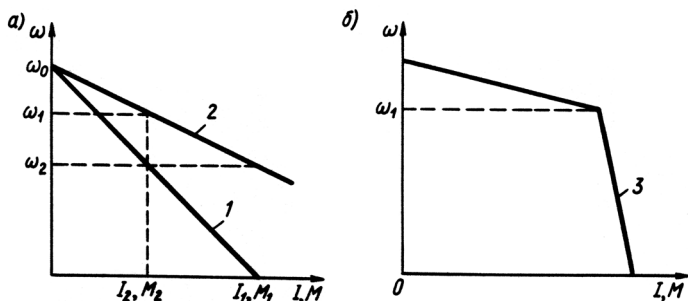
Қозғалтқыштың қалыптың жұмысын қамтамасыз ету үшін

қозғалтқыш уақыты мен тоқты реттеу талап етіледі. Осылайша, тұрақты тоқ көзінде тұратын қозғалтқыштардың қалыпты жұмысын қамтамасыз ету үшін әдеттегі орындарла олардың коллекторлық-щеткалық желілеріндегі тоқ $3I_{\text{ном}}$ мәнінде шектеулі болу қажет.

Тұрақты және айнымалы тоқтағы қуатты қозғалтқыштарды іске қосқан жағдайда электр тоғын шектеулер қажеттілігі пайда болады, себебі қуатты қозғалтқыштар өте көп мөлшердегі энергия жұмсайтындықтан, басқа желілердегі электр қысымының төмендеуіне әкеліп соқтыруы мүмкін.

Тоқ реттеу мүмкіндігін талдау үшін оның жылдамдығы тоқтан (Т) тәуелді қозғалтқыштың электрмеханикалық сипаттамасы пайдаланылады. Тұрақты (реттелмейтін) магниттік ағым кезінде тәуелсіз қозатын тұрақты тоқ қозғалтқыштары үшін электрмеханикалық сипаттама механикалық сипаттаманы қайталайды. Уақытты реттеу әдетте бәрінен бұрын қозғалтқышқа келетін қысымның тікелей өзгеруімен немесе оған қосымша резисторлар тізбегінің іске қосылуынан қозғалтқыштағы тоқ әсерінен жүргізіледі. Айта кету керек, қозғалтқыштың бекітілген тәртібіндегі уақыт пен тоқ оның механикалық жүктемесін анықтайтындықтан, уақыт пен тоқты реттеу тек ЭЖ жұмысының динамикалық (ауыспалы) тәртібінде ғана жүзеге асырылады.

3.2 а суретінде якорь тізбегінде қосымша резисторлар көмегі іске қосылған кезде уақыт M пен тоқты I реттеуге (шектеуге) мүмкіндік беретін тәуелсіз қозатын тұрақты тоқ қозғалтқыштарының электрмеханикалық және механикалық типтік сипаттамалары мысал үшін көрсетілген. Резистор қозғалтқыш тізбегіне ол жүрген кезде (I тік) іске қосылады, ал одан кейін басқару кестесі арқылы шығарылады (тұйықталады) – тік 2. Бұдан байқағанымыздай, электр тоғы мен уақытты реттеу $I_1 \dots I_2$ и $M_1 \dots M_2$ шектеулерде және шамалы дәлдікпен сәйкесінше сатылап жүргізіледі. Дәлдіктің артуы үшін бірнеше сатылы резисторларды пайдалану қажет, бұл жағдайда электр тоғы I мен уақыттың M қарқыны азаяды. Параметр атауына ие болған аталмыш тәсіл шамалы



3.2-сурет

дәлдікпен емес, жүзеге асу қарапайымдылығымен сипатталады.

3.2. б суретінде сипаттама «түрленуші-қозғалтқыш» тұйықталған жүйесінде электр тоғы мен уақытты реттеу кезінде типтік болып табылады. Түрленушінің көмегімен қозғалтқышқа сәйкес іс-әрекеттер есебінен 3 сипаттаманың тік және жақын бөлікшелері қалыптасады. (3 бөлікшенің сипаттамасы шектікте тік желі алынуы мүмкін.

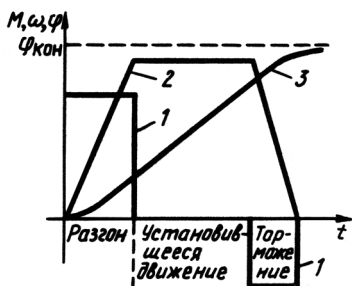
3.3. ОРНАЛАСУДЫ РЕТТЕУ

Технологиялық үрдістер қатарын орындауды қамтамасыз ету үшін берілген дәлдікте берілген кеңістік нүктесі немесе жазықтығына олардың сол жерге (тіркелуі) орнатылуы жұмыс көліктері мен механизмдердің атқарушы органдарының ауыстырылуын талап етеді. (Мысалы, роботтар және манипуляторлар, көтеру-тасымалдау механизмдер, қақпақтар, ысырмалар, білдектердің механизмдерін беру және т.б.). Атқарушы органдардың бір нүктелі жазықтықтан немесе кеңістіктен басқа нүктеге немесе кеңістікке ауысуы тұрғыландыру деп аталады және қозғалтқыш белдіктің жағдайын реттеуді сәйкестендірумен қамтамасыз етіледі.

Тура дәлдік пен сапалы қозғалыс талап етілмейтін жағдайларда тұрғыландыру әдетте жолдағы және соңғы сөндіргіштердің көмегімен қамтамасыз етіледі. Олар берілген бағдарларда орнатылады және оларға атқарушы органдар келген кезде ЭЖ электр тоғынан ажыратуды жүргізеді. Атқарушы орган тежеледі де, кейбір дәлдікпен тоқтайды.

Тұрғыландыруды жоғары дәлдікпен қамтамасыз ету кезінде ЭЖ $\varphi(t)$ қозғалысының 3-інші оптималды (немесе оған жақын) кестесі қалыптасады (3.3 сурет). Қозғалыстың мұндай типтік кестесі үш бөлікшеден тұрады – қарқыннан, яғни жылдамдық пен шектеуден тұратын қозғалыс және қозғалыстың сол кездегі сәйкесінше уақыты $M(t)$ мен оның 1 және 2 жылдамдығының $\omega(t)$ кестелерін қалыптастыруды қарастырады. Аздаған орын ауыстырулар кезінде кезінде қозғалыс бекітілген бөлікше болмауы мүмкін.

Нақты тұрғыландыру, ережеге сәй-

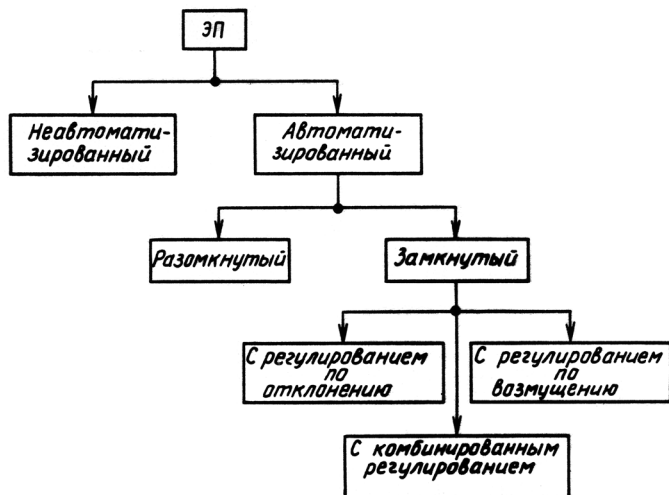


3.3-сурет

кес, түрленуші – қозғалтқыш» тұйықталған жүйесінде іске асады.

3.4. КООРДИНАТТАРДЫ РЕТТЕУ КЕЗІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРДІҢ ҚҰРЫЛЫМДАРЫ

Атқаратын функцияларының саны мен түріне байланысты реттелуші координаттар, технологиялық үрдістердің автоматтандыру



3.4-сурет

деңгейінде ЭЖ жүзеге асыру әртүрлі болуы мүмкін (3.4 сурет).

Барлық ЭЖ автоматтандырылған және автоматтандырылмаған болып бөлінеді. Автоматтандырылмаған ЭЖ-тер – бұлар қарапайым адамның (оператордың) қол күшімен басқарылатын құрылғылар. Ол берілген технологиялық жүйеге сәйкес ЭЖ іске қосылуы мен тоқтатылуы, жылдамдығы мен кері жүруін жүзеге асырады. Операторға көмек үшін ЭЖ қажетті қорғаныш құралдарымен, бұғатталу мен дабылмен қамтамасыз етілген.

Ал автоматтандырылған ЭЖ басқару операциялары технологиялық үрдістер талаптарына сәйкес басқару жүйесімен орындалады (1.1 суретті қараңыз). Операторға ЭЖ-ті іске қосу және тоқтату, оның жұмысын жөндеу және бақылау функциясы жүктеледі (айта кету керек, жалпы автоматтандырылған өндірісті кешенде ЭЖ жұмыс кезінде ішкі бұйрықтар, АБЖ өндіріс секілді жоғары деңгейлі құрылғы басқарушыларынан келіп түседі). Байқап отырғанымыздай, автоматтандырылған ЭЖ тиімді әрі экономикалық түрде үйлесімді болып табылады, ол адамдарды шаршаңқы және бірқалыпты жұ-

мыстан арылтады, жұмыс көліктері мен механизмдердің өнімділігін арттырады, сондай-ақ олар орындалатын технологиялық үрдістер мен операциялардың сапасын арттырады. Сондықтан да ЭЖ теориясындағы дәл осы себеп бойынша және аталмыш оқулықта барлық зейін автоматтандырылған ЭЖ қарастыруға арналады.

Барлық автоматтандырылған ЭЖ-дар өз кезегінде тұйықталмаған және тұйық болып бөлінеді. Тұйықталмаған ЭЖ жұмысындағы сыртқы ауытқулар (мысалы, M_c жүктемесін тиеу кезінде) оның шығыстық координатына, мәселен жылдамдығына ықпал етеді және осымен сипатталады. Бір сөзбен айтқанда, тұйықталмаған ЭЖ сыртқы ауытқулар әсерінен қорғалмаған, сондықтан, қарапайым сызбамен ерекшеленсе де, жоғары сапалы реттеу координатын қамтамасыз ете алмайды.

Тұйықталмаған ЭЖ әдетте қозғалтқыштардың реверсін, тежеуішін, іске қосылуын қамтамасыз ету үшін қолданылады. Бұдай кестелерде ЭЖ жылдамдықтың, уақыттың, электр тоғының немесе жолдың ағымдық мәндері туралы ақпаратты қолданады, бұл көрсетілген үрдістерді автоматтандыруға мүмкіндік береді. Тұйықталмаған ЭЖ – тің нақты кестесі 10 тарауда қарастырылған.

Автоматты реттеудегі кез-келген жүйе секілді тұйық ЭЖ, кері байланыстарды қолданумен ауытқу принциптері бойынша немесе сыртқы ауытқушылықтар компенсациясының принциптері бойынша жүзеге асырылуы мүмкін. Тұйық ЭЖ-тің негізгі ерекше белгісі реттеуші координаттарға сыртқы ауытқулар әсерін толықтай немесе жартылай жою болып табылады, мысалы, мұндай ЭЖ жылдамдығы жүктеме тиеу кезіндегі пайда болуы мүмкін тербелістерде кезінде де өзгеріссіз қала алады. Бұл жағдайдан бөлек, тұйық ЭЖ-тер атқарушы органдарды сапалы қозғалысын басқаруды қамтамасыз етеді, әйтсе де олардың кестелері өте күрделі.

Ауытқу әрекеттеріндегі компенсация принципін жүзеге асыру үшін, ауытқуға пропорционал қосымша сигнал, ЭЖ кірер кезде тапсырыс сигналымен бірге беріледі. Нәтижесінде, сыртқы ауытқулар компенсациясы жүзеге асырылған кезде және осылайша оның реттеуші координаттарға ықпал етуін жою кезінде жиынтық сигналдар мұндай басқарудағы ЭЖ-ді қамтамасыз етеді. Барлық көрсетілген жетістіктеріне қарамастан, M жүктемесі кезінде ауытқу әрекеттері сигналы жүзеге асырудың күрделілігінен бұл әдіс ЭЖ-де кең қолданысқа ие болған жоқ.

Ауытқу принциптері бойынша құрылған ЭЖ-дің ерекшелігі кері байланыстағы тізбегінің бар болуы. Реттеуші координат туралы ақпарат кері байланыс сигналы түрінде ЭЖ-ге кірер кезде беріледі, ол әсер ететін дабылдармен салыстырылады және алынған нәтижелі сигнал (оны қате, немесе ауытқу, келісілмеген дабыл деп те атайды) ЭЖ үшін басқару сигналы болып табылады. Егер де ауытқушылықты әрекеттер әсерінен реттеу координаттары өзгере бастаса, онда күш

және бағытты таңдай есебінен кері байланыс әрекетінде ЭЖ-тің жұмыс кестесінде сәйкесінше өзгерістер жүреді және оның деңгейіне толық немесе жартылай қалыптасуы жүреді, яғни бұндай жағдайларда реттеу жүйесі реттеу нәтижесі есебінен жүргізіледі.

Тұйық ЭЖ-терде барлық мүмкін болатын кері байланыстар түрлері – оң және теріс, сызықтық және сызықтық емес, қатаң және иілгіш, сондай-ақ, реттеуші координаттар түрлері бойынша жүзеге асырылатын – жылдамдық, электр тоғы, орналасуы және т.б. қолданылады. Тұйық ЭЖ-де реттеуші координаттар саны бойынша бірнеше кері байланыстар саны пайдаланылуы мүмкін. Кері байланысты ЭЖ олар атқаратын барлық функциялар жиынтығының қамтамасыз етуде техникалық түрде қарапайым және сапалы болғандықтан, дәл қазіргі уақытта ең көп таралған жүйе болып табылады. Атқарушы органдардың сапасындағы өте көп және арнайы талаптар кезінде кейбір жағдайларда басқарудың екі принципі де қолданылатын тұйықталған аралас ЭЖ құрылады.

Бақылау сұрақтары

1. Атқарушы органдарды басқару кезінде ЭЖ-дың қандай координаттары (ауыспалы) реттеледі?
2. ЭЖ координаттарын жүзеге асыру қандай тәсілдермен жүргізіледі?
3. Жылдамдықты реттеу қандай көрсеткіштермен бағаланады?
4. Қозғалтқыш уақыты қандай жағдайларда, қандай тәсілмен реттеледі?
5. Қозғалтқыштың электр тоғын реттеу қажеттілігі қандай жағдайларда туындайды?
6. ЭЖ жағдайын реттеудің маңыздығы неде?
7. ЭЖ құрылыстық құрылымын түсіндіріңіз.
8. Тұйық ЭЖ қандай құру принциптері бар?
9. Кері байланыстар түрін атаңыз?
10. Автоматтандырылған ЭЖ дегеніміз не?

4 тарау. ТҰРАҚТЫ ТОҚТЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫҢ ЭЛЕКТРЖЕТЕГІ

ЭЖ-де тұрақты электр тоғы бар (ТҚТТҚ), бірізді (БҚТТҚ), аралас (АҚТТҚ) қозулық, сонымен қатар өз сипаттамасымен тұрақты электр тоғына жақын тұрақты магниттерден қозушы қозғалтқыштар қолданылады.

ТҚТТҚ электр жетектері осы кезге дейін ЭЖ реттеудің негізгі түрі болып келді. «Басқарушы тіктеуіш-қозғалтқыштар» (УВ-Д) базасында құрылған тұйық ЭЖ жұмыстың барлық режимінде жоғары сапалы көрсеткішті атқарушы органдардың жұмыс көліктері мен ме-

ханизмдер қозғалысының координаттарын реттеуді қамтамасыз едіді.

Электртехникалық өндіріс ең бірінші кезекте ЭЖ жұмыстарын реттеуге арналған әртүрлі әдістердегі желдетулер мен диапазон күштілігі 0,13-тен 20 кВт-қа дейін баратын әртүрлі конструктивті атқарулардағы негізгі жалпы өндірістік сериясы 2П болатын тұрақты электр тоқты қозғалтқыштар шығарады. Жекелей алғанда бұл қозғалтқыштарда – арнайы орнатылған жылдамдық құрылғысы – тахогенератор мен тиристорлы қайта өңдеуге бағытталған жылдамдық құрылғысы орнатылған.

Тұрақты электр тоқты қозғалтқыштардың жетілдірілуі 110 және 220 В қысымға есептелген, жылдамдығы 750-ден 3000 айн/минут болатын және номиналдық уақыты 2-ден 15000 Н·м болатын жекелеген энергиялық көрсеткіштері және динамикалық – виброакустикалық қасиеттері жақсартылған жаңа сериялы 4П жасалуына алып келді. Одан басқа да, оларды дайындаудағы жұмыс көлемі 2П сериясын жасауға кеткен уақытқа қарағанда 2,5-3 есе, ал кеткен шығын мөлшері 25-30%-ға дейін азайтылған

ЭЖ үшін бірқатар жұмыс көліктері мен механизмдері ТҚТТҚ арнайы серияларда шығарылады. Металкесуші білдекті ЭЖ үшін 2П және 4П серияларыран бөлек, ПБСТ және ПГТ (жұмсақ якорлы) сонымен бірге тұрақты магниттерден козушы ДК2 және ДК1, ПБВ жоғары моментті сериялы қозғалтқыштары қолданылады,

Кран механизмдері үшін оларға қойылатын талап пен олардың жұмыс жағдайларын шектік деңгейде ескере отырып, қоздырылуы тәуелсз және бірізді Д сериялы қозғалтқыштар шығарылады. Кранды-металлургиялық ЭП үшін сондай-ақ қоздырылуы тәуелсіз, аралас, бірізді ДП сериялы қозғалтқыштар шығарылады..

ТТҚ-ның арнайы сериялары металлургиялық өндірісте (мысалы, НП және ПП сериялы илемдек қозғалтқыштары), текстилді өндірісте және басқа да халық шаруашылығы саласында қолданылады.

4.1. ТӘУЕЛСІЗ ҚОЗДЫРЫЛАТЫН ТҰРАҚТЫ ТОҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫНЫҢ СТАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ ЖӘНЕ ҚОСУ СҰЛБАСЫ

ТҚТТҚ-тың негізгі қосылу сұлбасы 4.1. а суретінде көрсетілген, мұндағы кейбір мәндерді дұрыс қабылдаған жөн: I , I_B – якорьды орау тізбегіндегі козу мен электр тоғының сәйкестігі; E – ЭҚК якорьлар, В; ω және M – сәйкесінше бұрыштық жылдамдық, рад/с, және уақыт, Н·м, қозғалтқыштар; $R_y = r_{o.y} + r_{д.п} + r_{к.о} + r_{ш}$ Ом есептік байланыстар мен компенсациялық ораулар, үстеме полюстер, якорь байламдарының кедергілерінен тұратын якорь кедергілері; $R_{o.b}$ – козу байламдарының кедергілері (OB),

Ом; $L_{я}$ және $L_{о.в}$ в козу мен якорь байламдарының индуктивті сәйкестігі.

Сұлбада якорьдың R және козудың $R_{о.в}$ орау тізбегіндегі үстемелі резисторлары көрсетілген U и U_B сәйкес қысымды және якорь мен козу байлауларының жекелеген қорек көздері көрсетілген.

Қозғалтқыштың статикалық сипаттамы үшін теңдікті шығару кезінде келесілер рұқсат етіледі: якорь реакциясы есептелінбейді; қозғалтқыш белдегінің уақыты электрмагнитті уақытқа тең. Онда қысым, якорлы ЭҚК электрмагнитті уақыт үшін мынандай сұлба пайдаланылады:

$$U = E + IR; \quad (4.1)$$

$$E = \kappa \Phi \omega; \quad (4.2)$$

$$M = \kappa \Phi / \quad (4.3)$$

мұндағы $R = R_{я} + R_{д}$ – якорь тізбегінің толық кедергісі, Ом; Φ – магнитті ағым, Вб; U – якорьға жақындатылған қысым, В; $\kappa = pN / (2na)$ – қозғалтқыштың конструктивті коэффициенті; p – полюстер жұбының саны; N – якорь орамаларының белсенді желілер саны; a – якорь орамаларының параллельді бұтақтарының саны.

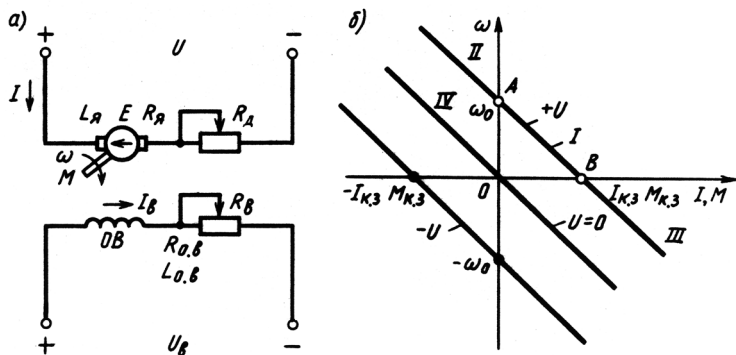
(4.2)-ті (4.1)-ге қоя отырып, электрмеханикалық сипаттама үшін мына формуланы аламыз $\omega(T)$:

$$\omega = (U - IR) / (\kappa \Phi). \quad (4.4)$$

БҚТТҚ механикалық сипаттамасы үшін $\omega(M)$ (4.4)-тен (4.3)-ті пайдалана отырып, мына формуланы аламыз:

$$\omega = U / (\kappa \Phi) - MR_{д} / (\kappa \Phi)^2. \quad (4.5)$$

БҚТТҚ-тың (4.4) және (4.5) сәйкесінше электрмеханикалық және механикалық сипаттамасында электр тоғы мен уақытқа бұрыштық жылдамдықпен (бұдан әрі қарай жылдамдық) сызықтық тәуелді, сырттай қарағанда әртүрлі кереғарлықта көрсетілген якорь



4.1-сурет

қысымы 4.1, б суретте көрсетілген. Бұл жерде электрмеханикалық және механикалық сипаттамалар біріктірілген, яғни сәйкесінше (4.3) $k\Phi = \text{const}$ болған жағдайда дұрыс. Олардың сипаттамалық нүктесі бос жүрістегі А болып табылады, ондағы $\omega = \omega_0$, а $I = M = 0$, және В нүктесі қысқа тұйықталу болып келеді, мұндағы $\omega = 0$, ал $I = I_{\text{к.з}}$ және $M = M_{\text{к.з}}$. Ескере кетер жайт, электр көлігі үшін қысқа тұйықталу сұлбасы оның электрлі тізбегінің өзара немесе корпуста тұйықталуы емес, қозғалтқышқа қысым берген кезде, якорьдың қозғалыссыз жағдайы сәйкес келеді, қысқа тұйықталу сұлбасы іске қосу сұлбасы деп те аталады, себебі ол қозғалтқышты іске қосу кезінде бастапқы болып табылады.

(4.4) және (4.5) теңдіктерін қысқартылған формада да жазуға болады:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega, \quad (4.6)$$

мұндағы ω_0 – қозғалтқыштың мінсіз бос жылдамдығы,

$$\omega_0 = U / (k\Phi); \quad (4.7)$$

$\Delta\omega$ – мінсіз бос жылдамдық жүрісіне бұрыштық жылдамдықтың өзгеру қатынасы,

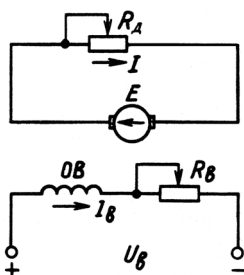
$$\Delta\omega = IR / (k\Phi) = MR / (k\Phi)^2. \quad (4.8)$$

4.1, б суретте $U = 0$ кезінде (4.4) және (4.5)-тен теңдік алынатын БҚТТҚ сипаттамсы көрсетілген:

$$\omega = -IR / (k\Phi); \quad (4.9)$$

$$\omega = -mR / (k\Phi)^2. \quad (4.10)$$

$U = 0$ болған жағдайдағы $\omega(T)$ және $\omega(M)$ теңдік сызықтық болып табылады. Осындай сипаттамасы бар БҚТТҚ динамикалық кідіріс сұлбасы 4.2 суретте келтірілген (ол сондай-ақ R_d автономды жүктемеге жұмыс істейтін генератор сұлбасы деп аталынуы мүмкін).



4.2-сурет

(4.4) және (4.5) өрнегі ЭЖ координаттарын реттеу үшін қолданылатын БҚТТҚ жасанды сипаттамасын іске асырудың негізгі әдістерін табуға көмектеседі. Оларға магнитті ағымның Φ якорь R тізбегіне үстемелі резистор қарсылығын өзгерту мен якорьға жіберілген қысым U жатады. Айта кетер бір жайт, бұл мағыналарға жататын электр тоғы мен уақытты тек қозғалтқыштың механикалық жүктемесі ғана анықтайды, және олардың қысық ор-

натылулары мүмкін емес.

Тапсырма 4.1*. БҚТТҚ-ның келесідегідей номиналды мәліметтерін пайдалана отырып, оның табиғи сипаттамасын құрып есептеп шығарыңдар: $P_{\text{ном}} = 300 \text{ кВт}$; $U_{\text{ном}} = 440 \text{ В}$; $n_{\text{ном}} = 1250 \text{ об/мин}$; $I_{\text{ном}} = 750 \text{ А}$.

Тік сызықты сипаттамаларды құру үшін екі нүкте координаттарын: номиналды режим мен бос жүрісті есептеген жеткілікті. Номиналды жылдамдық пен қозғалтқыш уақытын табамыз:

$$\omega_{\text{ном}} = 2\pi n_{\text{ном}} / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1250 / 60 = 131 \text{ рад/с};$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 300\,000 / 131 = 2306 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

(4.3) бойынша келесіні анықтаймыз:

$$kF_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} / I_{\text{ном}} = 2306 / 750 = 3,08 \text{ В}\cdot\text{с},$$

Онда бос жүріс жылдамдығы

$$\omega_0 = U_{\text{ном}} / (k\Phi_{\text{ном}}) = 440 / 3,08 = 144 \text{ рад/с}.$$

Бос жүрістер ($\omega = \omega_0$, $I = M = 0$) мен номиналды кестенің ($\omega = \omega_{\text{ном}}$, $I = I_{\text{ном}}$, $M = M_{\text{ном}}$) координат нүктелері бойынша электрмеханиканың $\omega(I)$ және механиканың $\omega(M)$ табиғи сипаттамасын құрайық:

4.2. Тапсырма. $R = 0,01$ якор тізбегінің үстемелі кедергісі мен динамикалық тежегіш кезіндегі $\omega(I)$ және $\omega(M)$ сипаттамасын тауып, құрыңыздар. БҚТТҚ номиналды мәліметтерін 4.1 тапсырмада қараныздар.

4.2. ТӘУЕЛСІЗ ҚОЗАТЫН ТҰРАҚТЫ ЭЛЕКТР ТОҒЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫ ЖҰМЫСЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ РЕЖИМІ

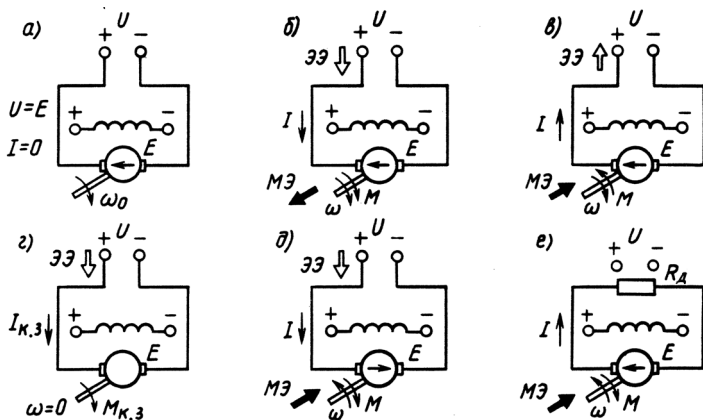
Электр машиналарының қайтымдылық қасиеттері бар, яғни, ол механикалық түрде электр энергиясын шығара отырып, қозғалтқыш ретінде жұмыс істейді, әрі энергияны кері айналдыра отырып, генератор ретінде жұмыс істейді. Оған қоса, бір режимнен екінші бір режимге көшіп қосылу сұлбаларының ешбір өзгеруінсіз іске асырылады. Қозғалтқыш генераторлық режимде жұмыс істеген кезде электрлі машинаның білдігінде ЭЖ қозғалысына интенсивті бағындыру тежегіш уақыты туындайды, және атқарушы органның қозғалыс басқарушысы ретінде оның мүмкіндіктері өседі (жекелей алғанда, тежегіш кезінде және реверсте).

Электр машинаның энергетикалық жұмыс режимін өзара екі ауыспалы бағыт арқылы анықтауға болады: электрлі (ЭҚК E және ток I) немесе механикалық (M уақыты мен ω жылдамдығында). Жылдамдық пен уақыттың бірдей бағыты кезінде және әртүрлі бағыттағы электр тоғында ЭҚК-те қозғалмалы жұмыс режимінің орнына ие, ал

жылдамдық пен уақыттың қарам қарсы бағыттарында және ЭҚК пен токтың бірдей бағытында – генераторлы. Қозғалтқыштар мен генераторлар арасындағы шектесулер бір механикалық, бір электрлік ауысулар нөлге тең, қысқа тұйықталулар мен бос жүріс режимдері болып табылады. Бос жүріс кезінде уақыт пен электр тоғы ғана нөлге тең, ал қысқа тұйықталуда – ЭҚК пен жылдамдық нөлге тең.

U полярлы жағдайдағы қысым кезінде әртүрді бөлікшелердегі қозғалтқыш (4.3) сипаттамаларының (4.1, б сурет) жұмыс режимін қарастырайық:

Бос жүріс режимі (A нүктесі). Қозғалтқыш электр жетектерден (козудағы электр энергиясын алып тастағанда) немесе біліктен ток алмайды. Бұл режимде $I = 0$, $E = U = \kappa\Phi\omega_0$, $M = 0$, $\omega = \omega_0$ (4.3, а су-



4.3-сурет

ретін қара).

Қозғалтқышты режим (I сипаттамасының бөлікшесі 4.1, б суретте келтірілген) $0 < \omega < \omega_0$ диапазонында, яғни, бірінші квадрантта, ω және M бағыттары бойынша сәйкеседі. Бұл режимге $E < U$, ток $I = (U - E)/R$ U қысымымен бір бағытта сәйкеседі, және ЭҚК-пен сәйкеспейді. электрэнергиясы (ЭЭ) желіден алынады, ал механикалық энергия (МЭ) қозғалтқыш білігінен атқарушы органға жіберіледі. (4.3, б суретті қара).

Генератордың жұмыс режимі желімен немесе желідегі рекуперация энергиялы тежегішпен (II учасок сипаттамасы 4.1, б суретте көрсетілген) *параллелді*. Бұл бөлікшеде $\omega > \omega_0$, сондықтан ЭҚК уақыт, ток және желідегі көп қысымнан өзінің бағытын кері бағытқа ауыстырады. Қозғалтқыштар механикалық энергияны жұмыс машинадан алады және

оны желіге электроэнергия түрінде береді (4.3, в суретті қара).

Қысқа тұйқыталу режимі $\omega = 0$ и $E = 0$ болған кезде пайда болады. Бұл режимде, (4.1) $I = I_{\text{кз}} = U/R$ келісілген, желіден келіп түсетін электр энергиясы, якорь тізбегінің резисторларында жылу ретінде тарап кетеді. ТТҚ білігінен механикалық энергия берілмейді, себебі $\omega = 0$ (4.3, з суретті қара).

Генераторды желімен байланыстырудағы нәтиже режимі немесе тежегіштің қосылмауы $\omega < 0$ кезінде басталады (III бөлікше 4.1, б суретінің сипаттамасы). ЭҚК жылдамдық бағытын өзгерту есебінен өзінің қарама-қарсылығын жояды. Якорьдағы ток қысым бағыты бойынша ЭҚК сәйкес келеді де, олардың суммалық қатысы анықталады, яғни $I = (U + E)/R$. Нәтижесінде жұмыс машинасының механикалық энергия есебінен қозғалтқыштың өзі шығаратын және желіге келіп түсетін электрэнергиясы, якорь тізбегінің резисторларында жылу ретінде таралады. (4.3, д суретті қара).

Автономды генератор режимі немесе динамикалық тежегіш 4.2. суреттегі сұлба бойынша қозғалтқыш іске қосылу кезінде пайда болады. Бұл жағдайда якорьдағы ток ЭҚК әрекеті бойынша ағып кетеді де, онымен бірге бір бағытта сәйкеседі. Электрэнергия жұмыс машинасының механикалық энергия білігіне келіп түскенде шығарылып, якорь тізбегінен қозғалтқыштың өзі шығаратын якорь тізбегінің резисторларында жылу ретінде таралады. (4.3, е суретті қара).

Осылайша, ЭЖ тежегіші БҚТТҚ генератордың үштүрлі жұмыс режимі кезінде жүзеге асырылады.

Қозғалтқыш энергияларының электрмеханикалық қайта қалыптасуының тиімділігі пайдалы әрекет коэффициентімен (ПЭК) бағаланады: яғни оның білігіне $P_{\text{мех}} = M\omega$ $P_{\text{эк}} = UI + U_{\text{в}}I_{\text{в}}$ электр желілерінің қуаттылығынан пайдаланылатын механикалық қуаттылық қатысын анықтайды:

$$\eta = P_{\text{мех}} / P_{\text{эл}} = P_{\text{мех}} / (P_{\text{мех}} + \Delta P),$$

мұндағы ΔP – қозғалтқыштағы қуаттың шығыны.

4.3. ТӘУЕЛСІЗ ҚОЗАТЫН ТҰРАҚТЫ ЭЛЕКТР ТОҒЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ЯКОРЬ ТІЗБЕГІНДЕГІ РЕЗИСТОРЛАР КӨМЕГІ АРҚЫЛЫ РЕТТЕУ

Бұл әдіс жылдамдық сапасын реттеу көрсеткіштерінде онша қатаң талап етілмейтін орындарда қолданылады, әйтсе де, қарапайым жүзеге асырылуы мен жан-жақтылығымен ерекшеленеді (4.1, а суретті қара).

(4.7) анықталғандай, жылдамдық $\omega_0 R_{\text{д}}$ -ге тәуелді емес, ал (4.8.) шығатындай сипаттамалар еңісі, $R_{\text{д}}$ артқан сайын, арта түседі. Бұл қысқа талдама әртүрлі иілгіш (қатаңдық) сызықтар (4.4 сурет)

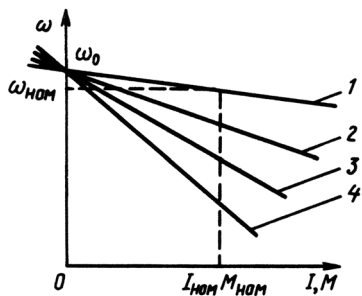
жиынтықтарындағы БҚТТҚ механикалық сипаттамасын суреттеуге мүмкіндік береді, яғни ол, ω_0 ординатасымен жылдамдық осіне сол бір нүкте арқылы өтеді. 1 сипаттама $R_d = 0$ болған кезде және табиғи жасанды сипаттамалар болып табылады, 2 – 4 қарсылықты сәйкесінше $R_{d1} < R_{d2} < R_{d3}$ якорь тізбегіндегі резисторлар жағдайына сәйкес келеді,

Негізгі көрсеткіштер бойынша аталмыш жылдамдықты реттеу әдісін 3.1. бөлімде көрсетілмей, бағалайық. Реттеу жылдамдығының диапазоны баяу (әдетте 2-3). Мұның себебі R_d артуы бойынша қатылық сипаттамасының төмендеуі болып табылады. Жылдамдықты реттеуді бағыттау – табиғи сипаттамдан төмен. Жылдамдықты реттеудің әртүрлілігі R_d сипаттамасының өзгеруімен анықталады. Егер де қарсылық иілгішті түрде өзгерсе, онда аталмыш әдіс басты жылдамдықты реттеуді қамтасыз етеді. Жылдамдық тұрақтылығы диапозонды арттыру кезінде төмендейді. Ең жиі қарастырылатын әдіс – жылдамдықты сатылап қамтамасыз ету болып табылады. Жылдамдық тұрақтылығы реттеуші диапозонның артуы бойынша төмендейді, себебі сипаттамаларды реттейтін қатаңдық азаяды.

Реттеу кезіндегі қуат бағасының шығыны мен аталмыш әдісті жүзеге асыруда талап етілетін капиталды шығындарды салыстыра отырып, жылдамдықты реттеудің үнемділігін бағалайық. Үстемелі резисторларға кететін капиталды шығындар көп емес, себебі олардың бағасы арзан. Алайда ЭЖ-ның өндірістік емес шығындары және күштілігін жоғлтуы, электр энергиясы мен оның бағасы айтарлықтай өте жорғары. Якорь тізбегінің қуат шығынын бағалай отырып, көретініміз – қозғалтқышта шығынның негізгі үлесі.

Якорь тізбегіндегі $\Delta P_{\text{я}}$ қуат шығыны қуаттың айырмасымен анықталады: $P_1 = P_{\text{эл}} = UI$ желісінен тұтынатын және біліктегі пайдалы механикалық $P_2 = P_{\text{мех}} = M\omega$. (4.3) және (4.7) қатынастарын есепке ала отырып келесіні анықтаймыз

$$\Delta P_{\text{я}} = UI - M\omega = k\Phi\omega_0 I - k\Phi\omega I = k\Phi\omega_0 I(\omega_0 - \omega)/\omega_0 = P_1 \delta, \quad (4.11)$$



4.4-сурет

мұндағы $\delta = (\omega_0 - \omega)/\omega_0 = \Delta\omega/\omega_0$ – жылдамдықтың айтарлықтай азаюы.

(4.11) суретте көрсетілгендей, ω_0 мінсіз бос жүріс жылдамдығымен салыстырғанда жылдамдық екі рет азайған, яғни, $\delta = 0,5$ және $D \sim 2$, кезінде P_1 желісінен алынған барық қуаттың якорь қозғалтқышында шығындалып кетеді, қозғалтқыштың ПӘК 50% аспайды. Диапозонды реттеуді одан сайын арттыру кезінде ПӘК одан сайын өте көп мөлшермен

азаяды.

Жасанды сипаттамалардағы қозғалтқыш жұмысы кезінде берілетін жүктеме нормадан артық асып кетпейтін, одан әрі қарай дами алатын берілетін шектік уақытпен анықталады. Себебі берілген әдіс кезінде магнитті ағымдарды реттеу өзгермейді және номиналға тең, сондықтан, (4.3) қойған кезде $\Phi = \Phi_{\text{ном}}$ и $I = I_{\text{ном}}$ аламыз:

$$M_{\text{доп}} = k\Phi_{\text{ном}} I_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} \quad (4.12)$$

(4.12) суретте көрсетілгендей, БҚТТҚ қарастырылатын жылдамдықты реттеу әдісі номиналға тең жүктеме уақытына бастап, кез-келген табиғи сипаттамада ешбір қызып кетусіз жұмыс істей алады. Айта кетейік, ЭЖ теориясында $M_{\text{доп}} = M_{\text{ном}}$ болған жағдайда жылдамдықты реттеу әдісі тұрақты уақыттағы жылдамдықты реттеу деп аталады.

Мүмкіндік жүктемелерінің сипаттамалары туралы қорытынды жылдамдықты азайтуда суықтаудан нашарлап кетпейтін БҚТТҚ үшін әділ. Тек БҚТТҚ өзінің білігіндегі желдеткіш көмегі арқылы ғана суытылғанда, жылдамдықты төмендету кезіндегі жүктеме уақытын қозғалтқыш желдеткішінің нашарлауынан төмендету қажет.

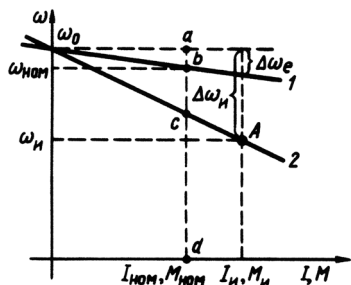
Атқарушы органдардың қозғалысының жылдамдығын реттеу үшін қарастырылған әдістер шағын реттеу диапазондарында немесе аз уақытта қозғалтқыштың жұмысының төменгі жылдамдығында пайдаланылады.

4.4. ЯКОРЬ ТІЗБЕГІНДЕГІ РЕТТЕУШІ РЕЗИСТОРЛАРДЫ ЕСЕПТЕУ

ЭЖ теориясында якорь тізбегіндегі реттеуші резисторларды есептеудің бірнеше әдістері көрсетілген.

Айталық, қозғалтқыштың табиғи электрмеханикалық немесе механикалық сипаттамасы I мен оның құжаттық мәліметтері (4.5 сурет) көрсетілген.

Іске қосу кезінде якорь тізбегіне жасанды сипаттама (ω_n, I_n) немесе (ω_n, M_n) берілген координаттары арқылы А нүктесінен өткен кезде резистор R кедергісін есептеу керек. Және де бұл реостатты сипаттама жылдамдықты реттеу жағдайлары бойынша ғана емес, сондай-ақ ауыспалы процестерде



4.5-сурет

қозғалтқыш уақыты мен тоқты шектеу үшін берілуі мүмкін.

Пропорция әдісі (4.8 сурет) жылдамдықтың түсуін анықтау үшін формуланы қолдануға негізделген. Сипаттамаларда жасанды $\Delta\omega_{\text{и}}$ уақыт $M_{\text{и}}$ немесе ток $I_{\text{и}}$ кезінде жылдамдықтың құлау қатынасын жазайық:

$$\Delta\omega_e/\Delta\omega_{\text{и}} = I_{\text{и}} R_{\text{я}} / (I_{\text{и}} (R_{\text{я}} + R_{\text{и}})) = (R_{\text{и}} = R_{\text{д}}), \quad (4.13)$$

бұдан

$$R_{\text{д}} = R_{\text{я}} (\Delta\omega_{\text{и}}/\Delta\omega_e - 1). \quad (4.14)$$

Алынған формула кез-келген квадратта орналасқан нүктелерде қосымша резисторлардың кедергісін есептеуге мүмкіндік береді.

Кесу әдісі пропорция әдісіне қарағанда, құжатта көрсетіле бермейтін қозғалтқыш якорының кедергісі туралы мәліметтерді талап етпейді, қайта оны белгілі табиғи сипаттама бойынша анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл әдістің есептік формуласын алу үшін номиналды токта, уақытта, магнитті ағымда және қысымда берілген табиғи сипаттамада (4.5 суретті кара) ТТҚ жылдамдығы үшін (4.4) мәнін

$$\omega_{\text{и}} = U_{\text{ном}} / (k\Phi_{\text{ном}})(-I_{\text{ном}} R/U_{\text{ном}}), \quad (4.15)$$

немесе (4.7) есбімен

$$\omega_{\text{и}} = \omega_0(1 - R/R_{\text{ном}}), \quad (4.16)$$

мұнда $R_{\text{ном}} = U_{\text{ном}}/I_{\text{ном}}$ - номиналды кедергі деп аталатын, есептеулер кезінде базалық шама болып табылады, Ом.

(4.16)-дан арақатынасын аламыз:

$$R/R_{\text{ном}} = (\omega_0 - \omega_{\text{и}})/\omega_0 = \delta, \quad (4.17)$$

ол БҚТТҚ маңызды қасиетін анықтайды: жылдамдықтың айтарлықтай құлдырауы $\delta = \Delta\omega/\omega_0$ якорь тізбегінің белсенді кедергісінің қатынасына тең $R/R_{\text{ном}}$. Айта кету керек, бұл қасиет басқа да түрлі қозғалтқыштарға да тән (көбінесе, асинхронды).

(4.17) қатынасын 4.5 суретінде көрсетілген сипаттамалардың көмегі арқылы шешуге болады, мұндағы a, b, c, d – сипаттамалық нүктелер. Сондай-ақ $(\omega_0 - \omega_{\text{и}}) = \Delta\omega = ac$, $\omega_0 = ad$. Онда:

$$R = R_{\text{ном}} \Delta\omega/\omega_0 = R_{\text{ном}} ac/ad; \quad (4.18)$$

$$R_{\text{д}} = R_{\text{ном}} bc/ad; \quad (4.19)$$

$$R_{\text{я}} = R_{\text{ном}} ab/acd. \quad (4.20)$$

Осылайша, $R_{\text{д}}$ мәнін табу үшін алдымен қозғалтқыш сипаттамсы бойынша номиналды тоқ немес уақыт кезінде кесінділер bc және ad ұзындығын анықтау қажет, ал одан кейін (4.19) формуланы қолдану керек.

Көп жағдайда реттеуші резисторларды есептеу кезінде якордың $R_{\text{а}}$ жеке кедергісін білу қажет. Ол үшін каталогтар бойынша анықтап, анықтама әдебиеттерді қарап (мәселен, [24]-те, бұл жерде якорь $R_{\text{я}}^* = R_{\text{я}}/R_{\text{ном}}$ кедергісінің P қуаттан тәуелділігі жан жақты айтылған) немесе қозғалтқыш щеткалары арасындағы кедергіні тікелей эксперименталды өлшеу, номиналды құжат мәліметтері үшін осыған ұқсас формуламен есептеу:

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 U_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}) / I_{\text{ном}} = 0,5 R_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}), \quad (4.21)$$

мұндағы $\eta_{\text{ном}}$ - қозғалтқыштың номиналды ПӘК, және ол номиналды режим нүктесі үшін (4.3) және (4.4) формулалары көмегімен кесу әдісі бойынша эксперименталды түрде алынған электрмеханикалық және механикалық сипаттама.

4.3* тапсырма. ПБСТ-53 түріндегі БҚТТҚ мынадай мәліметрег ие: $P_{\text{ном}} = 4,8$ кВт; $n_{\text{ном}} = 1500$ об/мин; $U_{\text{ном}} = 220$ В; $I_{\text{ном}} = 24,2$ А; $R_{\text{я}} = 0,38$ Ом; $I_{\text{в ном}} = 0,8$ А. координаттары $\omega_{\text{и}} = 90$ рад/с, $M_{\text{и}} = 25$ Н·м болатын жасанды сипаттамалардың өту нүктесін қамтамасыз ететін резистор кедергісін табу.

Қозғалтқыштың номиналды уақыты мен жылдамдығын алдын ала анықтай отырып. Пропорция әдісін қолданамыз:

$$\omega_{\text{ном}} = 2\pi n_{\text{ном}} / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1500 / 60 = 157 \text{ рад/с};$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 30,6 / 24,2 = 1,3 \text{ В} \cdot \text{с};$$

Осыны біле отырып келесіні табамыз:

$$k\Phi_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} / I_{\text{ном}} = 30,6 / 24,2 = 1,3 \text{ В} \cdot \text{с};$$

Бос жүріс жылдамдығы

$$\omega_0 = U_{\text{ном}} / (k\Phi_{\text{ном}}) = 220 / 1,3 = 163 \text{ рад/с};$$

табиғи сипаттаманың $M_{\text{и}} = 25$ Н·м

$$\Delta\omega_{\text{е}} = M_{\text{и}} R_{\text{я}} / (k\Phi_{\text{ном}})^2 = 25 \cdot 0,38 / 1,3^2 = 6 \text{ рад/с}.$$

кезінде жылдамдығының азаюы, дәл сол уақыттағы жасанды сипаттамының жылдамдығының жоғалуы

$$\Delta\omega_{\text{и}} = \omega_0 - \omega_{\text{и}} = 163 - 90 = 73 \text{ рад/с}.$$

Енді (4.14.) бойынша қосымша резистор кедергісін табамыз:

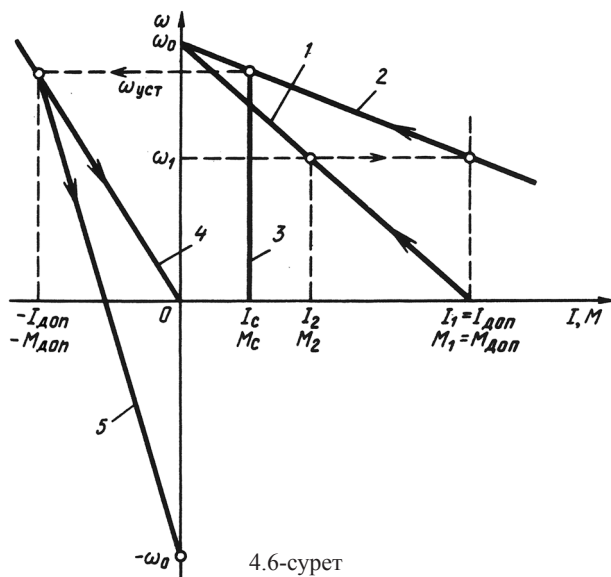
$$R_{\text{д}} = R_{\text{я}} (\Delta\omega_{\text{и}} - 1) - 0,38(73/6 - 1) = 4,62 \text{ Ом}.$$

тапсырма 4.4. 4.3 тапсырмасы үшін кесу әдісі арқылы резистор кедергісін табыңыз.

тапсырма 4.5. Якорь қозғалтқышының кедергісімен салыстырғанда, берілген ток кезінде жылдамдықтың бәсеңдеуі үш есеге көбеюі керек, қосымша резисторлар кедергісі қандай болады, соны анықтаңыздар.

4.5. ІСКЕ ҚОСУ КЕЗІНДЕ ТЕЖЕГІШ ПЕН РЕВЕРСТІҢ, ЭЛЕКТР ТОҒЫ МЕН УАҚЫТЫН РЕТТЕУ

Жоғарыда айтап өттік, БҚТТҚ якорындағы электр тоғы ауыспалы режимдерде берілген кейбір мәндерден асып түспеу керек. Қарапайым жағдайларда осылайша электр тоғы мен уақытты реттеу якорь тізбегіне қосымша R_d резистор енгізілуімен жүзеге асырыла-



4.6-сурет

ды. Ауыспалы режимдердегі электр тоғы мен уақытты анықтау үшін қозғалтқыш сипаттамасындағы жағдай. 4.6 суретте келтірілген.

Қозғалтқышты іске қосу алдымен іске қосу деп аталатын якорь тізбегіндегі 1 резистормен R_d жасанды сипаттама бойынша жүреді. Қозғалтқышты іске қосқан кезде оның электр тоғы мен уақыты берілген (рұқсат етілген) деңгейге $I_1 = I_{доп}$ и $M_1 = M_{доп}$ дейін шектеледі. Жылдамдық пен сәйкестікті арттыру жағдайында қозғалтқыштың ЭҚК-ндегі электр тоғы якорда төмендетіледі және резистор ω_1 жылдамдығы кезінде тіпті қысқартылуы мүмкін (якорь тізбегінен шығарылады). Қозғалтқыш жұмысқа 2 табиғи сипаттама бойынша көшеді, оған қоса, берілген электр тоғы мен уақыт берілген деңгейден асып кетпейді. Қозғалтқыштың іске қосылуы олардың оуст жылдамдығы-

на қол жеткізгеннен кейін, 2 қозғалтқыштың кесу нүктесі мен 3 атқарушы органдардың сипаттамалырын анықтағаннан кейін аяқталады.

Динамикалық тежегіш, 4.2 суретте көрсетілген, сұлба бойынша жүзеге асырылатын, 4 сипаттама бойынша жүретін (4.6 суретті кара) якорь мен резистордың R_d тұйықталуы. Оның кедергісі ЭЖ баяулауы немесе қозғалтқыш коммутациясының шарттарымен анықтауда $I_{доп}$ немесе $M_{доп}$ берілген мәндерде.

БҚТТҚ реверс немесе қарама қарсы тежегіш, якорь резистерін R_d іске қосқан кезде 5 сипаттамасы бойынша жүретін қозуды байлаудың немесе якорь қысымының полярлығын өзгеруімен жүзеге асырылады.

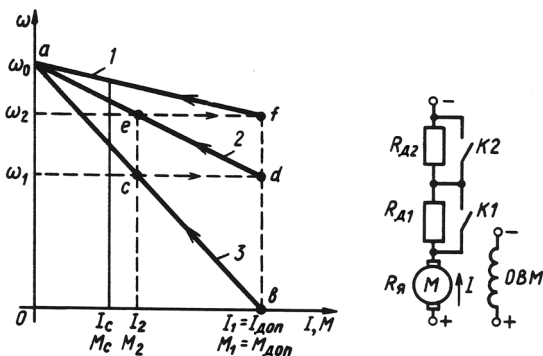
Кейде тоқ пен уақытты реттеу үшін якорь тізбегіне реттелуші резистор енгізіледі, ол екі немесе одан да көп жасанды сипаттамаларды жүзеге асыруға мүмкіндік береді, ауыспалы процестерде тоқ пен уақтың өзгеру шеңберін тарылтады, осылайша олардың реттеу дәлдігін көтереді. Бұл жағдайларда резистор сатылардағы сәйкес сандарда секционалады. Осы сатылар, қозғалтқыштың екпін алу немесе тежеу кезінде, бірізді тұйықталады

m қосымша резисторлардың сатылық саны (немесе қолданушы жасанды сипаттамалар секіллі) якорды $I_1 = I_{доп}$ тоқ өзгеруінің шектеулеріне байланысты мынадай келесі қатынастармен байланысты

$$m = 1g(I_2/I_1)/1g(I_1R_{я}/U). \quad (4.22)$$

Қозғалтқышты іске қосқан кезде қолданылатын екі немесе үш жасанды сипаттамалар жиынтығы іске қосу диаграммасы деп аталады. Оны есептеу және құру кезіндегі берілген параметрлер келесі: рұқсат етілетін тоқ $I_{доп}$ немесе момент $M_{доп}$, жүктеме моменті M_c , токтың (моменттің) өзгеру шектері немесе қосу резисторының сатыларының сандарына сәйкес келетін t жасанды сипаттамаларының саны.

Егерде I , M_c берілсе және сипаттамалар саны $m = 2$ (айталық, бұл сипаттамалардың барлығы жылдамыдықты реттеу үшін қолда-



4.7-сурет

Алдымен қозғалтқыштың табиғи сипаттамасы I жасалып және абсциссаға $I_1 = 1_{\text{доп}}$ немесе $M = M_{\text{доп}}$ сәйкес тік сызық жүргізіледі. $(\omega_0, 0)$ және $(0, I_1)$ координаттарымен f және b нүктелері арқылы R_{01} және $R_{д2}$ якорь тізбегіне екі сатылы қосу резисторлардан табиғи сипаттама 3, жүргізіледі. Одан кейін жақындатылған қатынас $1_2 = (1, 1 \dots 1, 2)_{I_c}$ бойынша тоқ қосылады да, осы тоқ көзіне сәйкес келетін тік сызықты орнатады. Бұл сызықты 3 сипаттамамен нүктеден кесіп өту үшін I_1 абсциссасы бар d нүктесімен тік тоғысады. a және d нүктелері арқылы жасанды сипаттама 2, ал e нүктесі үшін I табиғи сипаттамалы f нүктесінің қиылысуына дейін тағы бір горизонтал сызық орнатылады. I_1 және I_2 абсциссалы тік сызықтарға c, d, e, f тура келу үшін I тоқ мәніне таңдау жүргізіледі.

Қозғалтқыштың қосылуы 3 сипаттамасынан басталады. ω_1 жылдамдығы кезінде тоқ I_2 мәніне дейін төмедегенде KI кілті арқылы $R_{д1}$ сатысы тұйықталып қозғалтқыш 2 сипаттама бойынша өзінің екпінін алады. ω_2 жылдамдығы кезінде кілт арқылы $R_{д2}$ сатысы тұйықталып қозғалтқыш өзінің жұмысын I табиғи сипаттамасы бойынша істей бастайлы.

Динамикалық тежегішті жүзеге асыру үшін тежегіш 4.2. суретте келтірілгендей, сұлба бойынша қосылады да, оған қоса, 2 сипаттамадан жұмысқа 4 сипаттама бойынша көшіріледі. 4 (4.6 суретті қараңыз).

Қарама-қарсы қосу арқылы тежеуді немесе қозғалтқыш реверсі якорьдағы немесе қоздыру орамаларындағы кернеу полярылығының өзгеруінен жүзеге асырылады (соңғысы өте сирек қолданылады). Оған қоса, қозғалтқыш 2 сипаттама бойынша жұмыстан 5 сипаттамадағы жұмысқа ауыстырылады (см. рис. 4.6). Көрсетілген қосуларда және резисторларды шунттауда кілт ретінде әдетте контакторлар қолданылады. Реле-контакторлы басқару кестесі, ТТҚ берілген қосу тәртібін қамтамасыз етуде 10 тарауды қараңыз.

4.6. және 4.7. суретте көрсетілген көрсеткіштерді алуға мүкіндік беретін резисторлар кедергісінің есебі (4.14. және (4.19) формуласы бойынша жүргізіледі. Сонымен қатар, реверс, тежеу және қосу кезінде берілген тоқ пен момент бойынша кедергіні тікелей табатын формулалар қолданылуы мүмкін. Осы жағдайда рұқсат етілген $M_{\text{доп}}$ моментімен немесе қозғалтқыштың қосу, реверсі және тежеу жағдайларымен анықталатын максималды рұқсат етілетін I тоғы бастапқысы болып табылады.

Бір сатыны іске қосқан кезде үстемелі резистордың кедергілері (4.6 суретті қара) (4.1), $E = 0$ кезінде, бойынша есептелінеді.

$$R_{\text{д}} = U/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}}. \quad (4.23)$$

Динамикалық тежелу кезінде қосымша резистор кедергісі

$$R_{\text{д}} = E/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}} - U/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}}. \quad (4.24)$$

Қарама қарсы тежегіште немесе реверс кезінде динамикалық тежелу кезінде қосымша резистор кедергісі.

$$R_{\text{д}} = (U + E)/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}} = 2U/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}}. \quad (4.25)$$

4.6 тапсырма*. ПБСТ-53 қозғалтқыштары үшін (4.3 тапсырмасы үшін) қосқан кезде тоқты шектейтін және тежегішті $I_{\text{доп}} = 3 I_{\text{ном}}$ деңгейіне дейін резисторлар кедергісін анықтау.

Қосу резисторының кедергісін анықтайық (4.23):

$$R_{\text{д}} - U/I_{\text{доп}} - R = 220/(3 \cdot 24.2) - 0.38 = 2,65 \text{ Ом}.$$

Тежегішті қолдану кезіндегі резистор кедергісі. Оны 4.25 бойынша анықтайық:

$$R_{\text{д}} = 2U/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}} = (2 \cdot 220)/(3 \cdot 24,2) - 0,38 = 5,7 \text{ Ом}.$$

Тапсырма 4.7. ПБСТ-53 (4.3 тапсырманы қараңыз) қозғалтқышы үшін $m = 2$; $I_{\text{доп}} = 2,8 I_{\text{ном}}$; $M_{\text{с}} = 30 \text{ Н-м}$ жағдайларында косу диаграмма жасау, қосымша резисторлардың кедергісін есептеу.

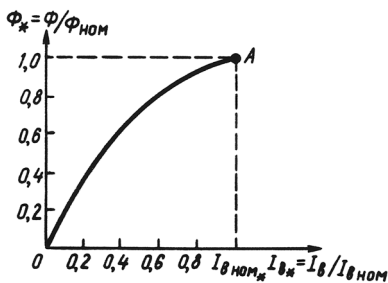
Тапсырма 4.8. ПБСТ-53 (4.3 тапсырманы қараңыз) қозғалтқышы үшін m косу диаграммасының сипаттамалық санын анықтау үшін тоқты өзгерту $I_1 = 60 \text{ А-дан}$ $I_2 = 10 \text{ А-ға}$ дейін кезінде жүргізіледі.

Тапсырма 4.9. қозғалтқыш сипаттамасы динамикалық кедергі режимі кезінде $\omega_{\text{н}} = 100 \text{ рад/с}$, $I_{\text{н}} = -20 \text{ А}$. Координатты нүктелері арқылы өтетін резистор кедергісін есептеңіз (4.3 тапсырманы қараңыз)

4.6. МАГНИТТІК АҒЫМНЫҢ ӨЗГЕРУІМЕН ТӘУЕЛСІЗ ҚОЗУЛАРДАҒЫ ТҰРАҚТЫ ТОҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ.

Магнитті ағымның өзгеруі жылдамдықты реттеу үшін ғана қолданылады. Бұл әдіс ЭЖ-де оның жүзеге асырылу қарапайымдылығы мен үнемділігі өте кеңінен қолданысқа ие, себебі, реттеу тек аздаған тізбектердегі қозғалтқыштардың қозуы жүзеге асады және өте көп деңгейде қуатты жоғалтпайды.

Жылдамдықты реттеудегі магниттік ағым әдетте номиналдармен салыстырғанда азаяды, (магниттелу қисығындағы A нүктесі. 4.8 суретті қараңыз).

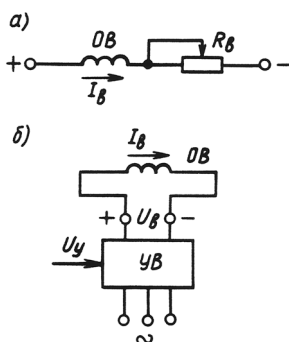


4.8-сурет

Тізбек қозуындағы тоқты реттеу қосымша резистордың R_6 (рис. 4.9, а) немесе қозуды байлаудағы коектік қысымның өзгеруі көмегімен жүреді, яғни, басқарушы тіктеуіштерді БТ(4.9. б с уретті қараңыз) көмегімен басқару U_B сигналдары бойынша реттелетін шығыс кернеулер. Екінші сұлба тұйық ЭЖ құрылымдарында жұмыс істейтін қуатты қозғалтқыштардың тоқ қозуын кең көлемінде реттелу үшін қолданылады. Оны қолдану кезінде реверсивті басқару тіктегіштерінде қоздырғыш тоқ бағытының өзгеру жүреді.

(4.7) сәйкес, магниттік ағымдарды кішірейту, нақты бос ω_Q жүрістердің жылдамдықтарының артуына әкеліп соқтырады. Қысқа тұйықталудағы тоқ $I_{к.з} = U/R_{я}$, яғни магниттік ағымға тәуелді емес, оны түрлендірген кезде өзгеріссіз қалады. осылайша, $\Phi_{ном} > \Phi_1 > \Phi_2$ әртүрлі мағыналар кезінде электрмеханикадақ сипаттма $I-3$ тік түрін қабылай алады. 4.10, а суретте көрсетілген.

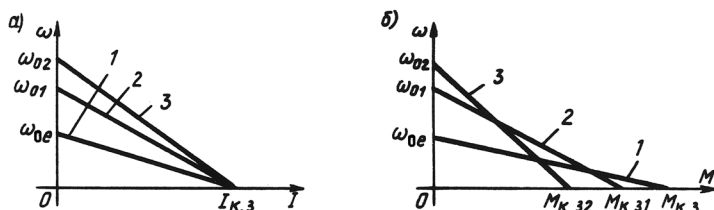
Қысқа тұйықталу моменті $M_{к.з} = k\Phi I_{к.з}$, яғни, магниттік ағымдарды (Φ) азайтқан кезде олда азаяды, өйткені $I_{к.з} = \text{const}$. Демек, қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары 4.10, б. суретте көрсетілгендей тік болады.



4.9-сурет

Қозу, тоқтың төмендеуі есебінен жүргізіледі, себебі оның номиналдан артық жоғарылауы қозуды ораудың қосымша қызуын тудырады. Қозғалтқыштардың есептік және конструкциялық орналасуы оның магнитті жүйесі толығына жақын тұрады. Сондықтан қозудан тоқтың артуы магниттік ағымның айтарлықтай артуына әкелмейді.

БҚТТҚ жылдамдығын реттеудегі аталмыш тәсіл көрсеткіштері мынадай: реттеуші –диапазондар 3-4; бағыттаушы реттеушілер –табиғи сипаттамадан жоғары, реттеу тұрақсыздығы қозу тоғын реттеу тұрақсыздығымен анықталады, жылдамдық тұрақтылығы айтарлықтай жоғары, әйтсе де ол магниттік ағымдар кезінде азаяды. Қодану тәсілі үнемді, себебі жылдамдықты реттеу кезінде қуат айтарлықтай шығындалмайды. Ал оны жүзеге асыру үлкен шығындарды талап етпейді.



4.10-сурет

ТТҚ жасанды сипаттамаларда жұмыс жасаған кезде, $I = I_{\text{вном}}$ кезінде, оның рұқсат берілетін жүктемесін (4.3) жағдайы бойынша анықтаймыз:

$$M_{\text{доп}} = k \Phi_{\text{и}} I_{\text{ном}} \quad (4.26)$$

Мұндағы $\Phi_{\text{и}}$ – жасанды сипаттамадағы магнитті ағым

Берілген реттеу әдісінде реттеу тек $\Phi_{\text{и}} < \Phi_{\text{ном}}$ болғандықтан, $M_{\text{доп}} < M_{\text{ном}}$. Яғни, қызудың шарты бойынша қозғалтқыш номиналды уақытпен жасанды сипаттамаға жүктеме жасай алмайды. Қозғалтқыштың рұқсат етілетін жүктемесін анықтау үшін қосымша есеп жасаймыз. Якорь ЭҚК-і үшін номиналды тоқ кезіндегі табиғи және жасанды сипаттаманы жазамыз:

$$E_{\text{е}} = k \Phi_{\text{ном}} \omega_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} R_{\text{я}};$$

$$E_{\text{и}} = k \Phi_{\text{и}} \omega_{\text{и}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} R_{\text{я}}.$$

$U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} R_{\text{я}} = \text{const}$ тең болғандықтан, алынған теңдіктен $E_{\text{е}} = E_{\text{и}}$ келесі қатынас шығады:

$$\Phi_{\text{и}} = \Phi_{\text{ном}} \omega_{\text{ном}} / \omega_{\text{и}}, \quad (4.27)$$

Мұндағы $\omega_{\text{и}}$, $I = I_{\text{ном}}$ кезіндегі табиғи сипаттама жылдамдығы. (4.27) –ні (4.26)–ға қоя отырып, мынаны аламыз:

$$M_{\text{доп}} \omega_{\text{и}} = M_{\text{ном}} \omega_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} = \text{const}. \quad (4.28)$$

(4.28)–де көрсетілгендей, жасанды сипаттамалардағы қозғалтқыштармен жұмыс кезінде ол өзінің номиналды қуатына жүктеуі мүмкін. Бұл магниттік ағымы азайғанда жүктеме моменті де төмендетіледі, бірақ сол мезетте қозғалтқыштың жылдамдығы артады, ал механикалық қуатты анықтайтын олардың көбейтінідісі өзгеріссіз қалады және номиналды қуатқа тең болып қалады. Осылайша, магнитті ағымның жылдамдық өзгерісін реттеу үшін тұрақты механикалық қуатты жүктемелерді максатты түрде қолданады, себебі барлық жасанды сипаттамаларда оның толықтай қолданылуын қамтамасыз етеді.

Тапсырма 4.10*. БҚТТҚ-ның құжаттық мәліметтері 4.3. тапсырмада көрсетілген. $\omega_n = 250$ рад/с, $M_n = 15$ Н-м. Координат нүктелері арқылы өтетін жасанды механикалық сипаттама кезінд магнитті ағымдар мен козу тоғын анықтаңыздар.

(4.5)-ті есептей отырып, біз $R = R_{я}$ и $U = U_{ном}$, аламыз:

$$\omega_n (k\Phi_n)^2 - U_{ном} k\Phi_n + M_n R_{я} = 0.$$

бұл теңдіктің екі жауабы бар: $k\Phi_{n1} = 0,85$ В·с; $k\Phi_{n2} = 0,027$ В·с. Алынған екі нәтиженің талқылай отырып, мақсатты түрде тек біреуін ғана таңдау керек, себебі бұл жағдайда қозғалтқыш моменті M_n якорь тоғының аз шамасымен қамтамасыз етіледі.

Тоқ қозғалтқышыын $I_{e,n}$ анықтау үшін табылған магниттік ағымның қатыстық мәнін есептейміз: $(k\Phi_n)/(k\Phi_{ном}) = \Phi^* = 0,85/1,3 = 0,61$, қисық магниттің көмегі арқылы (4.8 суретті қараңыз) нақты козу тоғының қатынасын анақтаймыз. $I_{e,n}^* = I_{e,n}/I_{e,ном} = 0,38$ А, $I_{ном} I_{e,ном}^* I_{e,n}^* = 0,8 \cdot 0,38 = 0,3$ А.

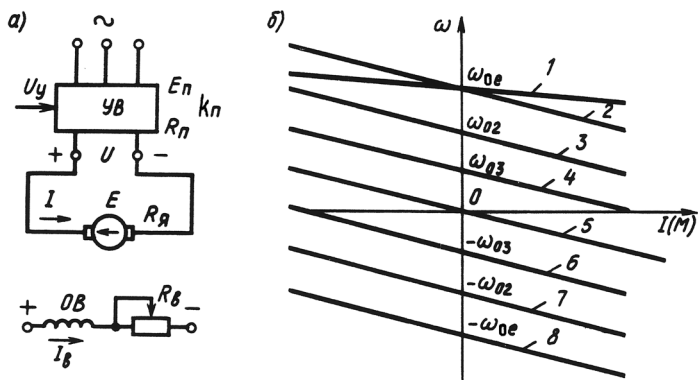
Тапсырма 4.11. 4.3 тапсырмада қарастырылғандай, БҚТТҚ-ның магнитті ағымын, тізбектегі козуды орауда және тежегіштердің қосымша резисторларың кедергісін анықтау қажет, себебі мінсіз таза жүріс жылдамдығы кезінде жасанды механикалық тоғы табиғи сипаттамаға қарағанда 75% жоғары жылдамдықпен жүреді..

1.8. ТӘУЕЛСІЗ ҚОЗАТЫН ТҰРАҚТЫ ТОҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫНДАҒЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕКТЕР КООДИНАТТАРЫН ЯКОРЬ КЕРНЕУІН ӨЗГЕРТУ АРҚЫЛЫ РЕТТЕУ. «ҚАЛЫПТАСТЫРУШЫ- ҚОЗҒАЛТҚЫШ» ЖҮЙЕСІ

Аталмыш әдіс оның сапалық көрсеткіштерінің жоғары талаптары кезінде ЭЖ кез-келген координаттары үшін өте кең көлемде қолданылады, осы себеп бойынша қазіргі кезде дейін ол ЭЖ тұрақты тоғын реттеуді жасау кезінде негізгі болып саналып келді. Бұл әдісті іске асыру БҚТТҚ якорьдың тоқ көзін мағынасы бойынша реттелетін шығыстық кернеуді және полярлық бойынша қажет болған жағдайда өзгеретін қайта қалыптастурдан алуды қарастырады. Дегенмен ЭЖ негізгі қорек көзі болып, ауыспалы тоқтың желісі қызмет атқарады, осылайша, түрлендіргіш болып басқарушы түзеткіш табылады (БТ).

УВ-Д жүйесі атауын алған БТ якорь қозғалтқышының электр тоғын алу кезіндегі ЭЖ сұлбасы 4.11. а суретте көрсетілген. Мұндағы E_n - ЭҚК БТ; R_n -БТ-тің ішкі кедергісі; $\kappa_n = E_n / U_y$ - БТ-тің күшею коэффициенті, U_y - басқарудың кіріс сигналы, БТ шығысындағы кернеуді R_n ішкі кедергінің бар болуы әсерінен мына формула бойынша анықтайды.

$$U = E_n - IR_n. \quad (4.29)$$



4.11-сурет

БҚТТҚ қозуды орауда жекелеген тұрақты ток көзінен қуат алады, мысалы, басқарылмайтын және басқарылатын түзеткіштен.

Электрмеханикалық және механикалық сипаттамаларды анықтауға арналған формулаларды (4.29)-ды (4.4) және (4.5)-ке қоя отырып, мынаны аламыз:

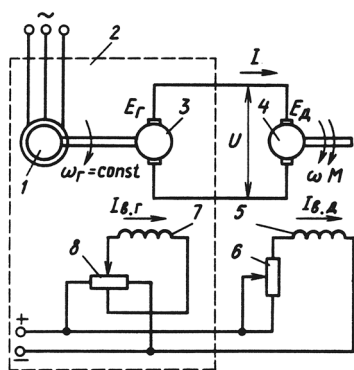
$$\omega = E_n / (k\Phi) - I(R_{\gamma} + R_n) / (k\Phi) = \omega_0 - \Delta\omega; \quad (4.30)$$

$$\omega = E_n / (k\Phi) - M(R_{\gamma} + R_n) / (k\Phi)^2 = \omega_0 - \Delta\omega; \quad (4.31)$$

(4.30) және (4.31) көріп отырғанымыздай, E_n өзгерген кезде ω_0 мінсіз бос жүріс жылдамдығы пропорционалды түрде өзгереді, ал 2...8 жасанды сипаттамалар (4.11, б суретін қараңыз), бір біріне сызықтық және параллелді болып қала отырып, R_n еңкейтілген үлкен кедергінің бар болуынан 1 БҚТТҚ берілген мәндегі $\Delta\omega$ жылдамдығының азаюын анықтайды. (айталық, 1 табиғи сипаттама ішкі нөлдік кедергілермен көзден қозғалтқыштың қоректенуін сәйкестендіреді). Сипаттамалардың барлығы да төрт квадрантта бір біріне параллелді орналасады; $E_n = 0$ кезінде ТТҚ динамикалық тежегіш режимінде жұмыс істейді.

2...8 сипаттамалары мынадай келесі қатынастарға сәйкес келеді: ЭДС УВ: $E_{n2} > E_{n3} > E_{n4}$; $E_{n5} = 0$; $E_{n6} = E_{n4}$; $E_{n7} = -E_{n3}$; $E_{n8} = -E_{n2}$.

Бәрінен бұрын басқарушы түзеткіш «генератор-қозғалтқыш» (Г-К) немесе «тиристі қайтақалыптастырушы – қозғалтқыш» (ТП – К) электрмашинаны түрі жүйесінде орындалады, электрмашинаны түзеткіш желілік қозғалтқыштармен бірге 2 үш фазалы айнымалы ток



4.12-сурет

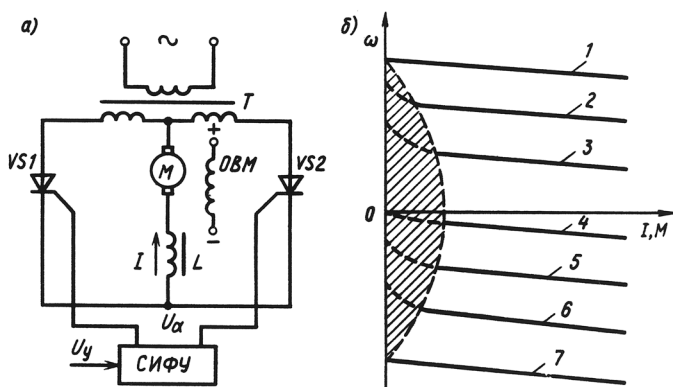
көзі, ω_r жылдамдығымен айналатын тұрақты ток 3 генератор якорын қалыптастырып, соған қосылады. Қозғалтқыш якорындағы кернеуді реттеу 8 потенциометрдің көмегімен $I_{B,Г}$ генератордағы ток көзі қозуы есебінен жүреді, соынмен бірге E_c ЭҚК генераторы, және сәйкесінше U якорь қозғалтқышындағы кернеуде өзгереді. Бұл аталмыш жүйеде кернеуді реттеу қозғалтқыштың магнитті ағым әсеріне сәйкес келуі мүмкін, ол жылдамдықтың екі зоналы реттелуін қамтамасыз етеді.

Қозғалтқыштың магнитті ағымын реттеу, тізбекті I орау есебінен 5 қозғалтқыш резисторының 6 қозуының өзгеруімен жүзеге асырылады. Тұйықталған ЭЖ-да ораудың қорек көзі 7 генератордың қозуы тұрақты ток көздерінің үнемі реттелуінен жүзеге асырылады. мысалы, жартылай өткізгіш БТ. Г-Қ жүйесінің сипаттамасы 4.11 б суретте көрсетілгендерге сәйкес келеді.

Г-Қ жүйесінің негізгі жетістіктерінің бірі үлкен диапазон және қозғалтқыш жылдамдығын реттеудің балқымалылығы, жоғары қатаңдық және сызықтық сипаттама болып табылатын барлық энергетикалық жұмыс режимдерінің алу мүмкіндігі, оның ішінде рекуперативті тежелу де бар. Дәл осы кездерде оған тән кемшіліктер, орнатылған жүйенің қуаты үш есе төмен, ПӘК төмен, жұмыс кезіндегі шу, жылдамдықты реттеу процесінің инерттігі және т.б.

«Тиристорлы қайта қалыптастырушы – қозғалыс» жүйесі. Дәл қазіргі уақытта қолданылатын тұрақты токтағы ЭЖ реттегіш, түрлендіргіштердің негізгі түрі, жартылай өткізгіш статикалық түрлендіргіштер болып табылады, ең бірінші кезекте олар тиристорлы. Олар өздерімен бірге сұлба бойынша нөлдік немесе асылғыш бір фазалы және үш фаза бойынша жиналған реверсті немесе реверсті емес түзеткіштерді ұсынады. Нақты перспективалар олардағы күш транзисторларын қолданумен байланысты, дәл қазіргі уақытта төмен күштілікті ЭЖ импульстық кернеуді реттеу үшін қолданылады.

ТП-Қ жүйесінің іс-әрекет принципі, қасиеті және сипаттамасын 4.13 а суретте келтірілген сұлбадан көреміз, онда бір фазалы, екі жартылай периоды, реверсивті емес тиристорлы түзеткіш нөлдік сұлбада жинақталған.



4.13-сурет

Басқарушы түзеткіштер (түрлендіргіштер) өзімен бірге екі орамдары бар, $VS1$ және $VS2$ екі *тристорлы*, L тегістегіш индуктивті реактор және импульсты фазалық басқару жүйесі ИФБЖ бар. OBM қозғалтқышының қоздыруын байлау өзінің коректену көзінен жүреді.

Түзеткіш өзінің орташа мәні өзгеруі есебінен ЭҚК E_n қозғалтқыштағы кернеуді реттеуді қамтамасыз етеді. Бұл U сигналы бойынша басқару бұрыштарының тристорларға өзгертетін ИФБЖ көмегі арқылы жүзеге асырылады (ашық тристорды бекіту бұрышы $VS1$ және $VS2$ уақытқа қатысты, олардың анодтарындағы потенциал катодты потенциалмен салыстырғанда оң бағыт береді). $\alpha = 0$, болғанда, яғни тиристорлар $VS1$ және $VS2$ көрсетілген уақытта ИФБЖ-дан U_a басқару импульстарын алады, қайта өңдеуші екі жартылай кезенді тіктеуді жүзеге асырады және қозғалтқыш якорына толық кернеу беріледі. Егер де ИФБЖ көмегі арқылы $VS1$ және $VS2$ тиристорларға басқару импульстерін беру тиристорлар онда бұрышқа қарай жылжып, $\alpha \neq 0$ бұрышында онда ЭҚК қайта өңдеушісі төмендейді, сәйкесінше, қозғалтқышқа келтірілген орташа кернеу төмендейді.

Көпфазалы түрлендергіштің ЭҚК-тің орташа тәуелділік мәні тиристорлардың α басқару бұрышынан мынадай түрге ие болады:

$$E_{cp} = E_{max} \sin(\pi/m) \cos(\alpha/\pi) = E_{cp0} \cos \alpha, \quad (4.32)$$

мұндағы m – фазалар саны; E_{max} – ЭҚК түрлендіргіштің амплитудалық мәні; E_{cp0} – $\alpha = 0$ кезінде түрлендіргіштің ЭҚК-і.

ЭҚК якорь тізбегіндегі токты басқарушы болып табылады, ол қозғалтқыштың жұмысына кері әсерін тигізеді, оның коллекторлы жұмыс жағдайының төмендеуіне, қосымша жылу мен энергия шығынына әкеліп соқтырады. Якорь тізбегіндегі ток желісіне кері әсер етеді, әдетте якорьларда тегістегіш реакторлар қосылады, ал индуктивтілігі L ток пулсінің қол жетімді деңгейінің тәуелділігіне байланысты таңдалады.

Тиристорлы түрлендіргіштен қоректенетін қозғалтқыштың электрмеханикалық және механикалық сипаттамалары үшін теңдеулерді (4.13 б суретті қараңыз) (4.30)-ды (4.31)-мен айырбастап, E_n (4.32)-дегі E_{cp} айырбастап, одан (4.32) аламыз:

$$\omega = T_{cp0} \cos \alpha / (k\Phi) - I(R_{\gamma} + R_n) / (k\Phi); \quad (4.33)$$

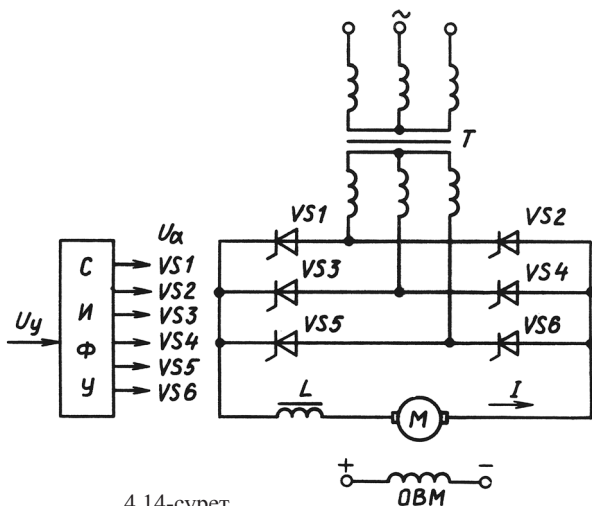
$$\omega = T_{cp0} \cos \alpha / (k\Phi) - M(R_{\gamma} + R_n) / (k\Phi). \quad (4.34)$$

мұндағы $R_n = x_m / (2\pi) + R_m + R_L$ – түрлендіргіштің эквивалентті кедергісі; x_m , R_m – екінші орамға сәйкесінше келтірілген индуктивті қашықтықтың таралуы және трансформатор орамдарына белсенді қарсылық таныту, R_L – жиналмады реактордың белсенді кедергісі.

БТ-дан қоректену кезінде қозғалтқыштың негізгі сипаттамасы аумақтың бар болуы болып табылады, (4.13, б суретінде штрихпен көрсетілген), онда оның сипаттамалары сызықтық емес. Бұл аумақта қозғалтқыш үзілмелі тоқ режимінде жұмыс жасайды, ол қатаңдық сипаттамаларында айтарлықтай өзгерісті (кішіреюді) анықтайды,

Түрлендіргіштің өткізгіштігі тек бір жаққа қарай болғандықтан сипаттама нәтижесі тек бірінші ($\alpha = 0, 30, 60^\circ$; кезінде $1 \dots 3$) және төртінші ($\alpha = 90, 120, 150, 180^\circ$ кезінде $4 \dots 7$) квадранттарда орналасады. Кішігірім бұрыштарда басқару жүйесі өте үлкен E_n сәйкес келеді, әрі қозғалтқыштың жоғары жылдамдығының артуы; $\alpha = \pi/2$ кезінде БТ ЭҚК $E_n = 0$ тең болады, және қозғалтқыш динамикалық тежеуіш режимінде жұмыс істейді.

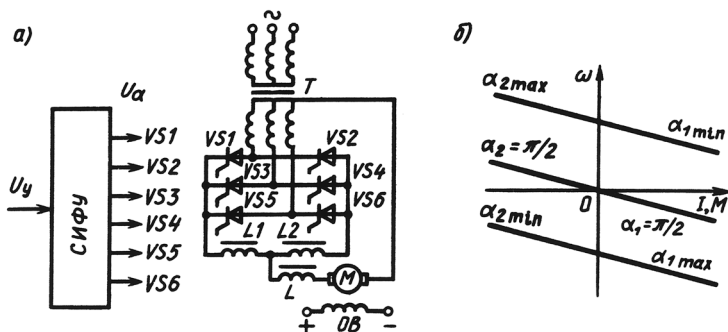
4.14 суретте реверсивті емес үшфазалы БТ-ші бар ЭЖ сұлбасы келтірілген. Осындай түрдегі тіктеуішті қолдану кезінде қозғалтқыш



4.14-сурет

сипаттамасы 4.13. б суретте талдамалы түрде көрсетілген. Сонымен қатар, қозғалтқыш якорындағы электр тоғы пульсі мұндай сұлбасы пайдалану 4.13 а суретте келтірілген сұлбаны қолданумен салыстырғанда, өте аз екенін көреміз. Кейбір жағдайларда Т келісім трансформаторларын қолданбауға болады.

Қозғалтқыш сипаттамасын алу үшін барлық 4 квадранттарда екі реверсивтелінген түзеткіштен тұратын реверсивті басқарушы түзеткіштер қолданылады, мәселен, нөлдік шығарылыммен (4.15, а суретті қараңыз). 4 квадранттарда ТТҚ сипаттамасын алу қозушы қозғалтқыш тоғы бағытының өзгеруі есебінен реверсивті емес түрлендіргішті қолдану кезінде қолдануға болады



4.15-сурет

Реверсивті БТ-да вентиль кешендерін басқарудың екі негізгі принципі қолданылады: біріккен және жеке.

Біріккен басқарма импульстар басқармасы U_a бір уақытта $VS1$, $VS3$, $VS5$ (катодты группа) және $VS2$, $VS4$, $VS6$ (анодты группа) екі комплекстерді де тиристорлармен импульсты-фазалық басқару жүйесінен беріледі қадағалайды. Сонымен қатар, екі комплектті тиристорлардың басқару импульстары арасындағы бұрыштың жылжуы есебінен олардың біреуі түзетілген режимде жұмыс істеп, ток көзін өткізсе, ал екіншісі, инверторлы режимде жұмыс істейді, бірақ ток өткізбейді. ЭҚК орташа мәндер арасындағы мұндай басқаруды қамтамасыз ету үшін түзеткіш пен инвертор арасында $E_{ср.и} > E_{ср.б}$ қатынасы болу керек, алайда, ЭҚК кезеңдердегі мәндер әртүрлілігі тиристорлар комплекттері арасында салыстырмалы ток жүреді. 4.15 а суретінде келтірілген, оны сұлбада шектеу үшін L_1 және L_2 деңгейлік реакторлары келтірілген.

Қозғалтқыштың сипаттама күші екі комплектті тиристорлардың басқару бұрыштарының сәйкес қажеттілігі амалына тәуелді. Сызықтық, келісім кезінде түзеткіш бұрыштардың суммасы α_1 және

инверторлардікі α_2 Қозғалтқыш желілері сипаттамасы (4.15 б суретін қараңыз) сызықтықы болып келеді. Г-Қ аналогиялық сипаттама жүйесі сызықтық болып келеді

Салыстырмалы ток көздерін азайту үшін кейбір жағдайларда сызықтық емес келісімдер қолданылады, ол кезде бұрыштар суммасы α_1 және α_2 π -дан айтарлықтай айырмасы бар, бұл жағдайда қозғалтқыштық режимнан генераторлық режимге көшіп, қозғалтқыш жылдамдығын сәл арттыру қажет. Аталмыш жағдайда сызықтық емес келісім жағдайы өте сирек қолданылады.

Жеке басқару БТ реверсивті тиристорлар комплекттері арасындағы салыстырмалы ток көздерін толықтай ажырату үшін қолданылады. оның маңыздылығы, басқару импульсі дәл қазіргі уақытта ток жүретін комплекттердің тек біреуіне ғана келіп түседі. Екінші комплектке импульстар берілмейді, сондықтан ол жұмыс істемейді (жабық). Бұл жағдайда түрленуді басқару арнайы логикалық құрылғыны қайта қосу (ЛҚКК) арқылы жүзеге асырылады. бұл құрылғы осындай түрлендіргішке бақылау жүргізе отырып, 5...10 мс үзіліспен тиристорлар комплектілерін сөндіру мен іске қосуды қамтамасыз етеді. Нәтижесінде жылдамдық осі төңірегінде үздіксіз ток көздері режимі орындары бар, ол қозғалтқыштың сызықтық емес сипаттамасына сәйкес келеді.

Қорытындысында, ТП-Д жүйелердің негізгі қасиеттеріне тоқталайық. Қарастырылған жүйенің жетістігіне жылдамдықты реттеудің айтарлықтай диапазоны мен тербелмелігі (10-нан астам тұйықталған ЭЖ); алынған жасанды сипатталардың өте үлкен мөлшердегі қаттылығы, электрожелілердің жоғарғы ПӘК-і, жоғары ПӘК трансформаторлары (0,93...0,98) және УВ (0,9...0,92); жұмыстағы тыныштық, эксплуатацияның қарапайымдылығы мен қызмет көрестуі.

ТП-Қ жүйесіндегі бірқатар жетістіктермен оның кемшіліктері де бар: қайта өңдеуші тоқты тек біржақты ғана өткізе алады. Барлық 4 квадранттардағы сипаттамаларды алу үшін реверсивті екікомплектілі қайда өңдеуді қолдану қажет; якор мен электр тоғындағы кернеудің пульсті сипаттамаға ие, олар қозғалтқыш жұмысының жағдайын нашарлатады; электр тоғының пульсінің реттеулі үшін көптеген жағдайларда тегістеуші реакторлар қолданылады, немесе түзетудің көпфазалы күрделі түрлері қолданылады; БТ жұмысы қатаңдық сипаттамасы бірден төмендеп кететін, соның салдарынан сызықтық емес болатын үзілісті электр тоғы режимімен сипатталады; реттеу диапазонының өсуімен ЭЖ жылдамдық коэффициентінің күші ($\cos \varphi$) төмендетіледі, яғни ТП-Қ жүйесі үшін $\cos \varphi = \cos \alpha$ жақындатылған формулада; электрожелілерімен жұмыс жасау кезінде ақаулар ток формасына, қорек көзінің кернеуіне, басқа да электрэнергия қабылдағыштарының жұмысына беріледі, тиристорлы қайта өңдеушілер аса үлкен емес, шудан қорағыныштылыққа және ток пен қысымға аз жүктемелі қабылетке бар.

Белгіленген кемшіліктерге қарамастан ТП-Қ жүйесі ЭЖ тұрақты ток кезінде жоғары тиімділікті реттеуші болып табылады, және болатты біліктер, металкесуші білдіктер, экскаваторлар және басқа да отандық жұмыс машиналары мен құралдарында жоғары тиімділік кеңінен пайдаланылады.

Тапсырма 4.12. 2ПФ250 түріндегі БҚТТҚ –ның мынадай құжаттық мәліметтері бар: $U = 220$ В; $P = 45$ кВт; $n = 1000$ об/мин; $I = 233$ А; $R = 0,07$ Ом.

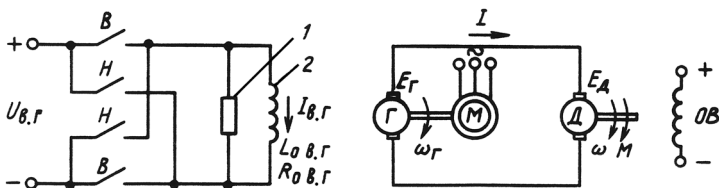
$R_{\Pi} = 0,1$ Ом $E_{\Pi} = u_{\text{ном}}$ ішкі кедергілі ТП-дан қорек алған кезде қозғалтқыштың механикалық және электрмеханикалық сипаттамасын құрып, механикалық сипаттама $\omega_{\Pi} = 30$ рад/с, $M_{\Pi} = 400$ Нм, координат нүктелері арқылы өтетінін есептеу керек, E_{Π} мәнін табу керек. $E_{\text{ср0}} = 220$ В. ретінде қабылдап, тиристорлар басқару бұрыштың E_{Π} есептеп анықтау.

4.8. «ТҮРЛЕНДІРГІШ-ҚОЗҒАЛТҚЫШ» АШЫҚ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ӨТПЕЛІ ПРОЦЕСТЕР

Қозғалтқыштың қуатты түрлендіргіш (түзеткіш) секілді тиімді басқару әдісінің болуы өтпелі процестерде жылдамдықтың, жеделдетудің, күйдің, токтың және моменттің қажетті графиктерін қалыптастыруға мүмкіндік береді.

«Генератор – қозғалтқыш» жүйесіндегі өтпелі процестер. Осы жүйедегі өтпелі процестердің ерекшелігі – электрлік-машиналық түрлендіргіштің – тұрақты ток генераторының елеулі инерциялылығы, бұл оның қоздыру орамдарының үлкен индукциялылығына негізделген, қозғалтқышты басқару осының көмегімен жүзеге асырылады.

Жеңілдетілген сұлбасы 4.16-сур. берілген $\Gamma - \text{Қ}$ жүйесінде қозғалтқышты басқару генераторды қоздыру тогын $I_{\text{вг}}$ реттеудің есебінен жүзеге асырылады. Атап айтсақ, қозғалтқыштың іске қосылуы B (оның алға айналуын шартты бағыттау) немесе H (артқа) контактілері жұптарының бірі тұйықталғаннан кейін, реверс – осы контактілерді ауыстырғаннан кейін, ал тежеу – генератордың 2 қоздыру орамын кернеу көзінен өшіргеннен кейін немесе ол I разрядтық резисторға тұйықталғанда орын алады.



4.16-сурет

Нәтижесінде генератордың ОВ қоздыру орамдары тізбегіндегі процестер ЭЖ үшін айқындаушы, ал оның қалған координаталарын – тогын, моментін, жылдамдығын өзгерту процестері якорь тізбегінің параметрлері мен ЭЖ механикалық бөлігі мен генераторды қоздыру тізбегіндегі процестерге тәуелді болып табылады.

$M_c = 0$ (бос жүрісте) болғанда $\Gamma - \text{Қ}$ жүйесіндегі қозғалтқышты іске қосудың, реверс пен тежеудің өтпелі процестерін сапалы қарастырайық (формулалар тұжырымынсыз және толық талдаусыз). Жүйедегі өтпелі процесс генератордың ЭДС $e_v(t)$, қозғалтқыштың ЭДС $e_d(t)$ уақытқа қарай өзгеруімен сипатталады, бұл $E = k\Phi\omega$ формуласына сәйкес қозғалтқыштың моментіне $M(t)$ пропорционал жылдамдығы $\omega(t)$ пен якорь тогын $i(t)$ өзгерту графигін басқа масштабта көрсетеді.

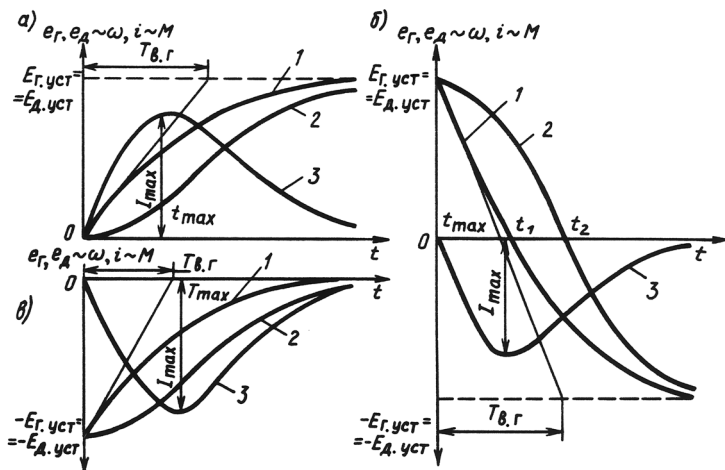
Өтпелі процестерді талдау үшін ауыспалы ЭЖ арасында екі негізгі ара қатысын қолданамыз, оның алғашқысы 4.16-сур. берілген сұлбадан, ал екіншісі – $M_c = 0$ болғандағы (2.16) және (4.3) теңдеулерден шығады:

$$i = (e_r - e_d)/R_d; \quad (4.35)$$

$$dw/dt = M/J = k\Phi i/J. \quad (4.36)$$

4.17-сур. іске қосудағы (а), реверс (б) пен тежеудегі (в) $\Gamma - \text{Д}$ жүйесіндегі өтпелі процестер графигі көрсетілген.

Қозғалтқыштың іске қосылуы В (немесе Н) контактілері тұйықталғаннан (4.16-сур. қараңыз) кейін басталады және экспоненциалдық заң бойынша (4.17-сур. қараңыз, а) қоздыру тогы мен



4.17-сурет

генератордың ЭДС өсуімен қоса жүреді. Іске қосардың алдында $E_{\text{гнач}} = 0$ ескере отырып, генератордың ЭДС $e_r(t)$ экспоненциалды тәуелділігі $T = L/R$ тұрақты уақытпен сипатталады.

Токтың $i(t)$ 3 қисығын қозғалтқыштың білігіндегі M_c күш моментінің болмауын ескере отырып құрамыз, мұның салдарынан токтың бастапқы және соңғы мәндері нөлге тең, яғни басқа сөзбен айтсақ, токтың қисығы координаталардың басынан басталады және уақыт осі асимптотасына ие.

Қозғалтқышты іске қосқанда якорьдағы ток өзінің нөлдік бастапқы және соңғы мәндері аралығында уақыт t сәтінде I ең жоғары мәніне жетеді.

e_d (қозғалтқыштың ЭДС 2 қисығын (4.17-сур. қараңыз, а) $i(t)$ шыққан тәуелділікті ескере отырып құрамыз, бұл (4.36) сәйкес da/dt туынды жылдамдығына пропорционал, яғни ол өтпелі процестің бастапқы және соңғы аралықтарында горизонталь жанамаларға ие, ал ток жоғары болғандағы t_{max} уақыт сәтінде ол майысады. (4.35) сәйкес $M_c = 0$ болғанда $E_{d, \text{уст}} = E_{g, \text{уст}}$, ал $E_{d, \text{нач}} = 0$ ескере отырып, 2 қисықты аламыз. (4.35) сәйкесі $I_{\text{max}} = I_{\text{max}}$ болғандағы t_{max} уақыт сәтінде генератор мен қозғалтқыштың ЭДС айырмасы жоғары атап өтейік.

Қозғалтқыштың реверсі $u_{\text{вг}}$ қоздыру кернеуінің полярлығын өзгерту арқылы жүзеге асырылады, ол үшін В контактілері ажыратылады және Н контактілері тұйықталады. Осының салдарынан экспоненциалды заң бойынша тұрақты уақыттан $T_{\text{вг}}$ генератордың ЭДС $E_{g, \text{уст}}$ бастапқы мәнінен $E_{g, \text{уст}}$ соңғы мәніне дейін өзгере бастайды (4.17-сур. 1 қисық, б).

Реверс барысында 3 қисық нүкте іске қосудағы қисық нүктені сапалы қайталайды, бірақ бұл жағдайда ең жоғары ток іске қосудағы ең жоғары токтан екі есеге артады, ал токтың өзі қарама-қарсы бағытқа ие болады.

Іске қосудағы секілді қозғалтқыштың $e(t)$ ЭДС 2 қисығы (бұл басқа масштабта $g_a(t)$ жылдамдығының қисығы болып табылады) реверстің басында және соңында горизонталь жанамаларға ие, ал токтың ең жоғары сәтінде майысады.

Қозғалтқышты тежеу қоздыру орамын қуат көзінен өшіру және оны R_p кедергісіне ие 1 разрядтық резисторға тұйықтаумен жүзеге асырылады (4.16-сур. қараңыз). Осының нәтижесінде экспоненциалды заң бойынша қоздыру тогы мен генератордың ЭДС тұрақты уақыты $T_{0.6.г.} = L_{\text{овг}} / (R_{\text{овг}} + R_p)$ азая бастайды.

Тежегенде генератордың ЭДС азаю процесі 4.17-сур. в көрсетілген. Бұл жағдайда токтың өзгеру ерекшелігі іске қосу мен реверс режимдерінде токтың өзгеру сипатына ұқсас: токтың бастапқы және соңғы мәні нөлге тең, ал t_{max} моментінде I тогы ең жоғарыға көтеріледі.

Қозғалтқыштың 2 ЭДС іске қосу мен реверске ұқсас сипатқа ие (және оның пішінін қайталайтын жылдамдық қисығы). $M_c \neq 0$ болғандағы $\Gamma - \text{Қ}$ жүйесіндегі өтпелі процестер, сондай-ақ олардың математикалық сипаттамасы [14, 19] қарастырылған.

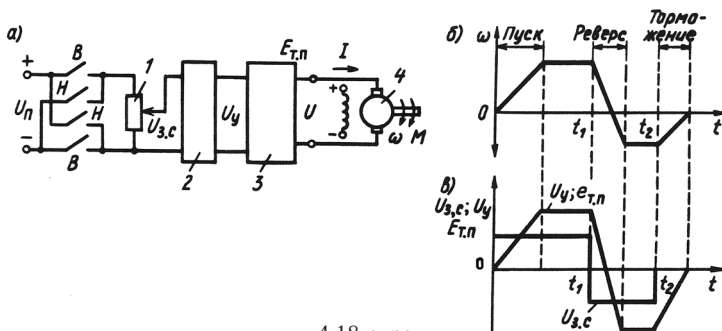
$\Gamma - \text{Қ}$ жүйесіндегі өтпелі процестердің ерекшелігі олардың бірталай уақыты болып табылады. Демек, егер қозғалтқыш пен генератор якорының орам уақытының электромагниттік тұрақтысы әдетте секундтың жүзінші үлесін құраса, онда қозғалтқыштың қуаты 15 кВт дейін болғандағы олардың қоздыру орамдары үшін ол 0,1-0,6 с, 75 кВт дейін 0-0,9 с тең, ал 3000 кВт дейін 2-4 с құрайды. Бұл жағдай егер арнайы шаралар қолданылмаса, онда $\Gamma - \text{Қ}$ жүйесіндегі өтпелі процестердің өте ұзаққа созылуына алып келеді. Мұндай күй қажетсіз болып табылады, әсіресе өтпелі процестері технологиялық циклдің негізгі бөлігін құрайтын жұмыс машиналары үшін. Мысалы, технологияның шарттары бойынша металлургия өндірісінің реверсивтік илемдеу орнақтары минутына 15-20 реверс өндіруі тиіс, яғни баяу өтпелі процестер олардың өнімділігінің барынша төмендеуіне алып келеді. $\Gamma - \text{Қ}$ жүйесіндегі осы кемшілікті жою үшін өтпелі процестерді жеделдетуді (тездетуді) жүзеге асырады. Жалпы жағдайда ол тұйықталған жүйелердегі кері байланыстардың көмегімен немесе тұйықталғандардағы аталмыш параметрлік тәсілдермен қамтамасыз етіледі және екі жағдайда да генераторды қоздыру процесін жеделдетуді қарастырады.

$\Gamma - \text{Қ}$ жүйесіндегі өтпелі процестерді жеделдету тәсілдері [14, 19] қарастырылған.

«Тиристорлық түрлендіргіш – қозғалтқыш» жүйесіндегі өтпелі процестер. Электрлік-машиналықпен салыстырғанда жартылай өткізгіш тиристорлық түрлендіргіш (ТТ) аз инерциялыққа ие. Демек, практикалық есептеуде ТТ уақытының тұрақтысы (СИФУ және күш бөлігі) секундтың бірнеше жүздеген үлесіне тең деп қабылданады, бұл осы жүйедегі өтпелі процестердің тиісті сипатын тиімді қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Тиісті динамикалық сипаттамаларды алудың қарапайым тәсілдерінің бірі қарқындылықтың задатчигі деп аталатын арнайы құрылғыны қолдануды қарастырады. Қарқындылық задатчигі ТТ – Қ жүйесі бойынша орындалған тұйықталған, сондай-ақ ашық ЭЖ қолданылады (4.18-сур., а).

Өтпелі процестерде ЭЖ координаталарын өзгертудің тиісті графиктерін алу қозғалтқышты жалпы басқару секілді E_m түрлендіргіштің ЭДС және сол арқылы қозғалтқыштың якоріне жалғанатын U кернеуін сәйкес реттеудің есебінен ТТ – Қ жүйелерінде жүзеге асырылады. ТТ – Қ жүйесіндегі қозғалтқыштың жылдамдығы 4.18, б сур. көрсетілген график бойынша өзгеруі тиіс делік, бұл ретте ток пен момент шекті деңгейден аспауға тиіс.



Осы графикке сайкес $t = 0$ уақыт моментінде қозғалтқышты іске қосу (4.18, а сур. контактілер тұйықталады), t_1 уақыт моментінде реверс (B контактілері ажыратылады және H контактілері тұйықталады), ал t_2 моментінде тежелу (H контактілері ажыратылады) жүзеге асырылады. Жылдамдықтың осындай графигін іске асыру үшін $t = 0$ уақыт моментінде ЭЖ кірісіне $i_{зс}$ жылдамдығы бойынша жетекші сигналы секіртпелі түрде беріледі, t_1 уақыт моментінде ол секіртпелі түрде өзгереді және $i_{зс}$ тең болады, ал t_2 уақыт моментінде бұл сигнал басылады.

Егер жылдамдық графигін қалыптастыру бойынша арнайы шаралар қолданбаса, онда ЭЖ өтпелі процестер белгіленгендерден барынша ерекшеленеді, ал түрлендіргіштің төмен инерциялығына байланысты ток пен моменттің жол берілмейтін үлкен лақтырулары орын алады.

Өтпелі процестердегі айнымалы ЭЖ талап етілген графиктерін алу үшін 1 потенциометр мен 3 тиристорлық түрлендіргіштің жетекші сигналының көзі арасына 2 қарқындылық задатчигін орналастырады. Задатчиктің кірісіне U_{3c} сатылы сигналын бергенде оның шығысындағы сигнал уақытқа қарай бірсарынды өзгере бастайды (мысалы, сызықтық немесе экспоненциалды заң бойынша) және белгілі уақыт аралығында кірме сигнал деңгейіне жетеді. 2 қарқындылық задатчигінің шығысындағы сигналдың сәйкесінше біртіндеп өзгеруі және сол арқылы U_{3c} жылдамдықты беру сигналының полярлығын ауыстырғанда немесе оны алып тастағанда 3 тиристорлық түрлендіргіштің кірісіндегі сигналдың өзгеруі орын алады. Кірме сигналдың уақытқа қарай жайылу аралығы, яғни оның өзгерістерінің қарқындылығы қарқындылық задатчигінде реттеледі және кең шегінде – секундтың үлесінен бірнеше ондаған секундқа дейін белгіленуі мүмкін.

4.18, в сур. графикте $U(t)$ басқару сигналының уақытқа қарай талап етілген өзгерісі көрсетілген, бұл тиристорлық түрлендіргіштің аз инерциялығына байланысты оның е. ЭДС дәл осындай өзгерісін туғызады. ЭДС пен 4 қозғалтқыштың U кернеуінің баяу өзгеруіне байланысты жылдамдық графигі белгіленгенге жуық болады (4.18, б сур. қараңыз),

Ал U кернеуінің сәйкес өзгерісіне байланысты ЭЖ өтпелі процестеріндегі ток пен момент өзінің шекті мәнінен аспайды.

Енді $M_c = 0$ болғандағы (қозғалтқышқа күш түспеген) ең қарапайым жағдай үшін қарқындылық зататчигінің көмегімен өтпелі процестерді қалыптастырудағы жылдамдықтың, ток пен моменттің графиктерін барынша толыққанды қарастырамыз, ал тиристорлық түрлендіргіш пен қозғалтқыш якорі тізбегінің электромагниттік инерциясы ескерілмейді.

Бұл жағдайда жылдамдықтың өзгеруі дифференциал теңдеумен сипаттамалады

$$T da / dt + \omega = \omega_{уст}, \quad (4.37)$$

Бұл қарқындылық зататчигі болғандықтан қозғалтқыштың кернеуі секірмелі түрде өзгермей, керісінше уақыттың берілген функциясында баяу өзгертіндіктен (2.29) теңдеуінен оң жағындағы белгіленген жылдамдықтың уақыттың константасы емес, кейбір функциясы болып табылатындығымен ерекшеленеді. $M_c = 0$ жағдайына қатысты

$$\omega_{уст}(t) = \omega_0(t) = e_{т.п}(t)/(k\Phi) - e_{т.п}(t) \quad (4.38)$$

яғни $\omega_0(t)$ бос жүрістің жылдамдығын өзгерту заңы $e_{т.п}(t)$, түрлендіргіштің ЭДС өзгертумен айқындалады, бұл өз кезегінде $u_y(t)$ графигімен айқындалады (4.18, б сур. қараңыз).

Енді u басқару сигналы және, сәйкесінше түрлендіргіштің ЭДС сызықтық уақыт заңы бойынша өзгертінін, ал $M_c = 0$ ескере отырып, $\omega(t)$ жылдамдықтың өзгеруінің математикалық өрнегін аламыз:

$$e_{т.п} = E_{т.п.нач} + k_c t, \quad (4.39)$$

мұндағы $E_{т.п.нач}$ – түрлендіргіштің ЭДС бастапқы мәні; k_c – уақытқа қарай ЭДС өзгеру жылдамдығын сипаттайтын коэффициент, В/с.

(4.38) мен (4.39) ескере отырып, (4.37) жылдамдықтың бастапқы дифференциал теңдеуі былай түрленеді

$$T_m d\omega / dt + \omega = \varepsilon t + \omega_0, \quad (4.40)$$

Мұндағы $\omega_0 = E_{т.п.нач} / (k\Phi)$.

$\omega(t)$ тәуелділікті алу үшін (4.40) теңдеуінің жекелей шешімінің жиынтығы мен (2.31) жалпы шешімінің жиынтығын табу керек. (4.40) жекелей шешімі өзінің оң бөлігіндегі түрге сәйкес былай түрленеді

$$\omega_{пр} = \varepsilon t + A. \quad (4.41)$$

(4.40) қойып, мынаны табамыз

$$A = \omega_{0нач} - T_m \varepsilon. \quad (4.42)$$

$\omega_{\text{св}} = C e^{-t/T_M}$ былай

$$\omega = \varepsilon t + \omega_{\text{нач}} - T_M \varepsilon + C e^{-t/T_M}, \quad (4.43)$$

түрленетінін ескере отырып, (4.40) теңдеуін шешу мұндағы оң бөліктегі соңғы мүшесі өтпелі процестің еркін құрамдасын білдіреді.

Тұрақты C табу үшін бастапқы шарттарды қолданамыз: $t = 0$ болғанда $\omega = \omega_{\text{нач}}$, сәйкесінше

$$C = \omega_{\text{нач}} - \omega_{\text{нач}} + T_M \varepsilon \quad (4.44)$$

(4.44) ескере отырып, (4.40) теңдеуінің соңғы шешімі былай түрленеді

$$\omega = (\varepsilon t + \omega_{\text{нач}} - T_M \varepsilon)(1 - e^{-t/T_M}) + \omega_{\text{нач}} e^{-t/T_M} \quad (4.45)$$

$M_c = 0$ болғанда (2.16) қолдана отырып уақытқа қарай қозғалтқыш моментінің өзгерісін табамыз:

$$M = JE + J(\omega_{\text{нач}} - T_M \varepsilon)/T_M e^{-t/T_M} \quad (4.46)$$

(4.46) екі бөлігін де $\kappa\Phi$ бөліп, уақытқа қарай қозғалтқыш тогының өзгеруі үшін өрнек шығарамыз:

$$I = (T_M \varepsilon + (\omega_{\text{нач}} - T_M \varepsilon)) e^{-t/T_M} / \omega_{0\text{уст}} \quad (4.47)$$

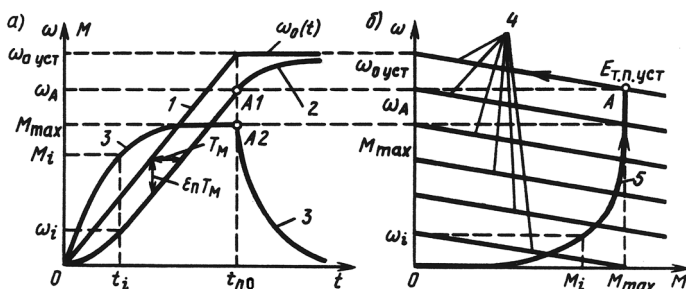
(4.45)-(4.47) өрнектері түрлендіргіштің ЭДС уақытқа қарай сызықтық өзгеріске ұшырағанда және $M_c = 0$ болғандағы түрлендіргіш пен қозғалтқыш якорі тізбегінің электромагниттік инерциясын ескерестен ТТ – Қ жүйесіндегі өтпелі процестерді сипаттайды. $\varphi(t)$ уақытқа қарай қозғалтқыш білігінің айналу бұрышының өзгеруін оған (4.45) өрнегін енгізгеннен кейін $d\varphi = \omega dt$ теңдеулерін біріктіру жолымен табуға болатынын атап өтейік. (4.45) және (4.46) көмегімен өтпелі процестердің нақты түрлерін қарастырайық.

Іске қосуда уақытқа қарай $U_y(t)$ басқару сигналының, $e_{\text{тп}}(t)$ түрлендіргіштің ЭДС және $\omega_0(t)$ қозғалтқыштың бос жүрісі жылдамдығының өзгеру графиктері екі учаскеден тұрады. Бірінші учаскеде бұл шамалар сызықтық заң бойынша нөлден белгіленген (номиналды) мәнге дейін өзгереді, ал екінші учаскеде өзгеріссіз қалады. Бос жүрістің жылдамдығы

$$\left. \begin{aligned} \omega_0(t) &= \omega_{0\text{уст}} & 0 < t < t_{\text{п0}} \text{ болғанда;} \\ \omega_0 &= \omega_{0\text{уст}} & \text{егер } t \geq t_{\text{п0}}, \end{aligned} \right\} \quad (4.48)$$

Мұндағы $\omega_{0\text{уст}}$ – жоғарғы сипаттамадағы бос жүрістің жылдамдығы; $t_{\text{п0}}$ – бос іске қосуда $\varepsilon_{\text{п}}$ туындыдан U_y басқару сигналының үдеу жылдамдығы.

4.19, а сур. қарқындылық задатчигін қолдану арқылы ТТ – Қ жүйесінде ДПТ бос іске қосудағы өтпелі процестің қисықтары көрсетілген. $\omega_0(t)$ тәуелділігі 1 сынық сызық түріне ие.



4.19 -сурет

Нөлдік бастапқы шарттармен іске қосқанда және $M_c = 0$, ($\omega_0 = \omega_{нач} = 0$) болғанда $0 < t \leq t_{n0}$ өтпелі процестің бірінші аралығына арналған (4.45) және (4.46) өрнектері былай түрленеді

$$\omega = \varepsilon_{\pi} t - T_M \varepsilon_{\pi} (1 - e^{-t/T_M}) ; \quad (4.49)$$

$$M = J \varepsilon_{\pi} (1 - e^{-t/T_M}) , \quad (4.50)$$

(4.49) және (4.50) сәйкес $\omega(t)$ және $M(t)$ тәуелділіктері сәйкесінше 2 және 3 қисықтармен 4.19, а сур. бейнеленген.

$t > 3T_M$ және $e^{-t/T_M} \sim 0$ болғандықтан (4.49) және (4.50) өрнектерін былай түрлендіруге болады

$$\omega = \varepsilon_{\pi} t - T_M \varepsilon_{\pi} ; \quad (4.51)$$

$$M = J \varepsilon_{\pi} = M_{max} , \quad (4.52)$$

яғни $t > 3T_M$ болғанда қозғалтқыштың жылдамдығы сызықтық уақытша заң бойынша (2-қисық) өзгереді, ал моменті тұрақты болып қалады (3-қисық).

(4.51) және (4.52) өрнектерінен $t < t_{n0}$ болғандағы қозғалтқыштың жылдамдығы бос жүрістің жылдамдығынан $\omega_0 - \omega = T_M \varepsilon_{\pi}$ шамасына аз, ал оның уақыт бойынша артта қалуы санмен T_M механикалық тұрақты уақытқа тең. $M(t)$ моментінің 3-қисығы басқа масштабта $i(t)$ тогының графигі болып табылатынын атап өтейік.

$t > t_{n0}$ болғандағы өтпелі процестің екінші кезеңінде түрлендіргіштің ЭДС $e_{\pi} = E = \text{const}$; $\omega_0(t) = \text{const}$ және жылдамдық пен моменттің тәуелділіктері (2.30) және (2.32) өрнектеріне сай келеді.

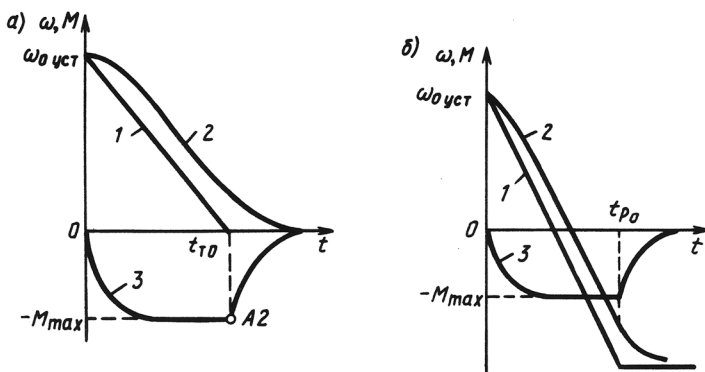
4.19, б суретте 5 қозғалтқышты іске қосудағы өтпелі процестің қисығы оның 4 механикалық сипаттамаларының кеңістігінде құрылған.

Ол үшін 4.19, а сур. келтірілген $\omega(t)$ және $M(t)$ қисықтары бойынша t_i уақыттың бір моменті үшін ω_i және M_i мәндері айқындалады, және механикалық сипаттамалардың жазығына осы координаталардың нүктесі сызылады. Өртүрлі моменттері үшін осы нүктелердің жиынтығы t_i қозғалыстың фазалық траекториясы деп аталатын 5-қисықты түзеді. Бұл қисықтың да 4.19, а сур. сәйкес екі учаскесі бар, бұл ретте екінші участогі түрлендіргіштің ЭДС $E_{\tau, \text{п.уст}}$ белгіленген мәніне жеткенде A нүктесінен басталады.

Қозғалтқышты тежеу мен реверс сызықтық заң бойынша түрлендіргіштің ЭДС азайтудың және осы арқылы $0-t_{\tau 0}$ тежеу уақыттарының аралығында мінсіз бос жүрістің жылдамдығын және ε_{τ} туындысы бар $0-t_{\rho 0}$ реверсін өзгертудің есебінен жүзеге асырылады:

$$\omega_0(t) = \omega_{0\text{уст}} - \varepsilon_{\tau} t = \omega_{0\text{уст}} - \varepsilon_{\tau} t, \quad 4.53$$

Бұл тежеу (4.20, а сур.) мен реверс (4.20, б сур.) режимдерінде қарқындылық задатчигін қолдану арқылы бос жүрісте жүйедегі өтпелі процестің графиктеріндегі 1 сызықтарға сәйкес келеді. Тежегенде ω_0 соңғы мәні нөлге тең, ал реверсте $\omega_{\text{оуст}}$.



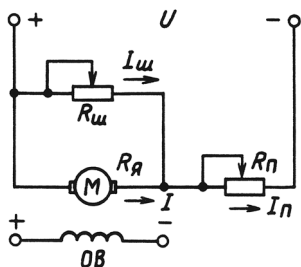
4.20-сурет

2 және 3 қисықтары $\omega(t)$ жылдамдығы мен $M(t)$ моментіне сәйкес (4.53) ескеру арқылы (4.45) және (4.46) бойынша құрылады. Олардың өзгерісінің сипаты мен негізгі заңдылықтары іске қосу процесіндегі секілді.

ТТ – Қ жүйесіндегі өтпелі процестер M_c күшінің моменті болғанда және қарқындылық задатчигін қолданғанда [19] толық қарастырылған.

4.9. ЯКОРЬДІ ТҮЙЫҚТАУ СҰЛБАСЫНДАҒЫ ТӘУЕЛСІЗ ҚОЗДЫРҒЫШ ТҰРАҚТЫ ТОКТЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ

Атқарушы органдардың қозғалыс жылдамдығының төмендетілген (түсірілетін) жылдамдығын алу мақсатында көтеріп тасымалдаушы машиналар мен механизмдерінің бірқатарының ЭЖ үшін аталмыш ТҚТТҚ якорьді тұйықтау сұлбасы қолданылады (4.21-сур.). Осы сұлбада қозғалтқыштың якоріне параллель түрде $R_{ш}$ тұйықтаушы резисторы қосылған, ал бұдан әрі – $R_{п}$ резисторы қосылған.



4.21-сурет

Осындай сұлба үшін қозғалтқыш сипаттамаларының теңдеулерін (4.2) және (4.3) өрнектерінің және сұлбаны талдаудан шығатын келесі арақатынастардың негізінде алуға болады:

$$U = E + IR_{я} + I_{п}R_{п}; \quad (4.54)$$

$$U = I_{ш}R_{ш} + I_{ш}R_{ш}; \quad (4.55)$$

$$I_{п} = I + I_{ш} \quad (4.56)$$

(4.54) және (4.55) өрнектеріне (4.56) $I_{п}$ тогын қойып, осыдан кейін шыққан екі $I_{ш}$ теңдеуден алып тастап, электромеханикалық пен механикалық сипаттамаларға сай өрнектерді аламыз:

$$\omega = a\omega_0 - I(R_{я} + aR_{п})/c; \quad (4.57)$$

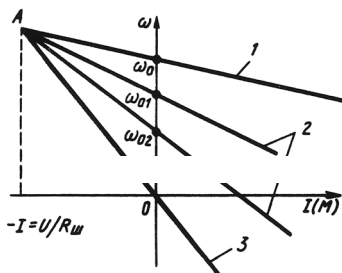
$$\omega = a\omega_0 - M(R_{я} + aR_{п})/c^2 \quad (4.58)$$

Мұндағы $a = R_{ш} / (R_{ш} + R_{п})$; $c = k\Phi$.

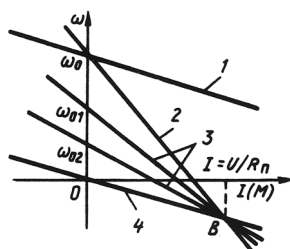
(4.57) және (4.58) якорьді тұйықтау сызбасында мінсіз бос жүрістің жылдамдығы төмендей тіні және қозғалтқышты

қосудың негізгі сұлбасымен салыстырғанда сипаттамалардың қаттылығы түсетінін атап өтейік. Бұл ТҚТТҚ жасанды сипаттамаларын көрсетеді. 4.22-сур. $R_{ш} = \text{const}$, $R_n = \text{var}$ (0-ден ∞ дейін) болғандағы 1...3 сипаттамалар, ал 4.23 сур. $R_n = \text{const}$, $R_{ш} = \text{var}$ (0-ден ∞ дейін) болғандағы 2... 4 сипаттамалар көрсетілген.

Бұл тәуелділіктерді (4.57) және (4.58) формулаларын талдау арқылы немесе $R_{ш}$ және R_n резисторларының кедергілерінің шекті мәндеріне (нөл мен шексіздік) сәйкес шекаралық жасанды сипаттамаларды құру арқылы алуға болады.



4.22-сурет



4.23-сурет

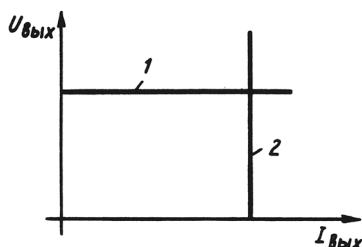
Жылдамдықты реттеудің қарастырылған тәсілі келесі көрсеткіштерге ие: 5...6 жылдамдықты реттеу диапазоны, бұл $R_{ш}$ және R_n кедергілерінің өзгеру бәсеңдігімен айқындалады. Реттеу жүктеменің тұрақты моментінде негізгі жылдамдықтан төмен қарай жүзеге асырылады; шығатын жасанды сипаттамалардың қаттылығы аз жылдамдық аймағында барынша жоғары.

Якорь тізбегіндегі күшті едәуір жоғалтуларға байланысты осы тәсілдің үнемділігі жоғары емес, сондықтан ол күші аз қозғалтқыштардың жылдамдығын реттеу үшін немесе ЭЖ төмендетілген жылдамдықта қысқа уақыт жұмыс істеуде қолданылады.

4.10. «ТОК КӨЗІ – ҚОЗҒАЛТҚЫШ» ЖҮЙЕСІНДЕ КООРДИНАТАЛАРДЫ РЕТТЕУ

«Түрлендіргіш – қозғалтқыш» жүйесінің бұрын қарастырылған сұлбаларында якорь кернеу көзінің қасиеттеріне ие түрлендіргіштен қуат алды. Мұндай түрлендіргіш шағын (шындығында нөлдік) дербес ішкі кедергіге ие, осының есебінен ток жүргенде мұндағы кернеудің түсуі мардымсызжәне қозғалтқышқа берілетін кернеу аз өзгереді. Түрлендіргіштің нөлдік ішкі кедергісіндегі шекте оның аузындағы кернеу тұрақты

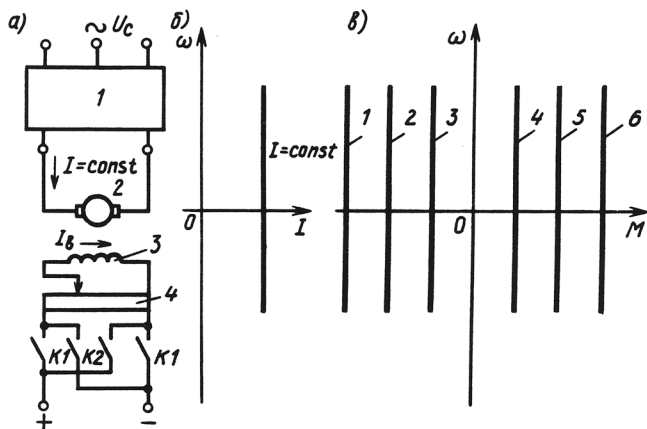
Және жүктеме тогына тәуелді емес. Кернеу көзі қасиеттеріне ие мінсіз түрлендіргіштің вольт-амперлік сипаттамасы 4.24-сур. 1 горизонталь сызықпен көрсетілген.



4.24-сурет

Соңғы жылдары электр жетегінде ток көзі қасиетіне ие түрлендіргіштер кеңінен таралуда. Олар жүктемеге аз өзгертін (шындығында тұрақты) ток беретіндігімен сипатталады (4.24-сур. 2-түзу). Осындай түрлендіргіштен қуат алған қозғалтқыш спецификалық сипаттамаға және координаталарды [6] және ең алдымен моментті реттеу бойынша мүмкіндікке ие болады.

«Ток көзі – қозғалтқыш» (ТК – Қ) атауына ие болған жүйенің схемасы 4.25, а сур. көрсетілген. Бұл сұлбада 2 қозғалтқыштың якорі 1 ток көзіне жалғанған және тұрақты токпен айналдыра қоршалады. 3 қоздыру орамындағы токтың мәні мен оның бағыты 4 потенциометрмен К1 және К2 контактілерінің көмегімен өзгеруі мүмкін. $I = \text{const}$ болғандықтан қозғалтқыштың электрлік-механикалық сипаттамасы вертикалды тік сызықты білдіретін болады (4.25, б сур. қараңыз).



4.25-сурет

(4.3) формуланың негізінде механикалық сипаттамалар тобын алу оңай. Бұдан $I = \text{const}$ болғандағы қозғалтқыштың моменті мен оның бағыты сәйкесінше магниттік түйдектің мәнімен және оның таңбасымен анықталатынын көруге болады. Осылайша, егер 4 потенциалометрдің (4.25, а сур. қараңыз) және K1 және K2 контактілерінің көмегімен қоздыру тогының мәні мен оның бағытын өзгертіп, осы арқылы Φ магниттік түйдегін өзгертетін болсақ, онда әртүрлі магниттік түйдектерде $-\Phi_1$ -ден $+\Phi_6$ дейін (4.25, с сур. қараңыз) 1...6 тұзулер түріндегі механикалық сипаттамаларды алуға болады. Мұндай сипаттамалар кез келген жылдамдықта қозғалтқыштың білігіндегі моменттің тұрақтылығын қамтамасыз етеді, ал ЭЖ қоздыру тізбегі бойынша басқарылатын момент көзінің қасиетіне ие болады.

Осындай механикалық сипаттамалар қандай жағдайда талап етілуі мүмкін. ЭЖ функцияларының бірі жұмыс машинасының атқарушы органында өңделетін немесе дайындалатын материалдың немесе бұйымның (табақ металл, сымдар, қағаз, тоқыма төсем өндірісі) талап етілген керілісін шығару үшін мәні бойынша реттелетін күшті немесе моментті қамтамасыз етуге байланысты екенін еске түсіріп көрейік. Осындай механикалық сипаттамаларға ие ЭЖ осы функцияның орындалуын барынша жеңіл қамтамасыз етеді, сондай-ақ мәні бойынша қозғалыстың тұрақты жеделдеуін немесе баяулауын алуға мүмкіндік береді. «ТК – Қ» жүйесінде жылдамдықты реттеу үшін механикалық сипаттамалардың горизонталь участогы да қалыптастырылуы мүмкін. Бұған кері байланыстарды енгізумен қол жеткізеді (атап айтсақ, қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша сызықтық емес жағымсыз кері байланыспен). ЭЖ осындай тұйық сұлбасы 11-бөлімде берілген.

4.11. ТӘУЕЛСІЗ ҚОЗДЫРЫЛАТЫН ТҰРАҚТЫ ТОКТЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫМЕН ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН ИМПУЛЬСТІК РЕТТЕУ

Соңғы жылдары жартылай өткізгіш техниканың дамуына байланысты ЭЖ жылдамдығын реттеудің импульстік тәсілі кеңінен таралды, оны қолдану бірқатар жағдайларда оның күш сұлбасын жеңілдетуге және оның жұмысының сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл қозғалтқышты тұрақты токтың реттелмейтін көзінен қуаттандырудың жалғыз тәсілі болып табылады (аккумуляторлық батарея, басқарылмайтын түзеткіш және т. б.).

Осы жағдайда жылдамдықты реттеу якорь тізбегіндегі резистордың кернеуін, магниттік түйдегін немесе кедергісін импульстік өзгерту арқылы жүзеге асырылады, яғни қозғалтқыштың жасанды сипаттамаларын алудың бұрындары қарастырылған негізгі тәсілдерімен.

Импульстік реттеу кез келген үлгідегі басқарылатын жартылай кізгіш кілттердің көмегімен жүзеге асырылады. Кілт жұмысының кізгі көрсеткіші коммутация кезеңінде оның тұйық күйінің уақыт-н арақатынасымен анықталатын толтыру (оның жұмысының ғыз еместігі) болып табылады:

$$\gamma = t_3 / T_k = t_3 / (t_3 + t_0) \quad (4.59)$$

Мұндағы t_0 – кілттің ажыратылған күйінің уақыты; t_3 – кілттің йық күйінің уақыты.

Практикада кілтті басқарудың екі негізгі тәсілі қолданыла- і ендік-импульстік және жиілік-импульстік модуляциялар. дік-импульстік модуляцияда T_k кілттің коммутация периоды рақты болып қалады, ал оның тұйық күйінің t уақыты өзгереді, ни оларды сақтаудың өзгермейтін периодында (жиілігінде) исл- стердің ені өзгереді.

Жиілік-импульстік модуляцияда t_3 уақыты өзгеріссіз қалады, T_k кілттің коммутация периоды өзгереді, бұл коммутация жиілі- е кері пропорционал. Байқағанымыздай, кілтті басқарудың қос ілінде де у толтыруы өзгереді, яғни толтыру бірегей көрсеткіш лады және координаталарды реттеудің импульстік тәсілін талдау- оны қолданған ыңғайлы.

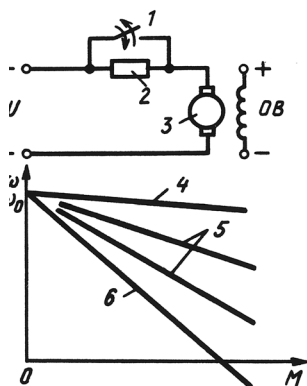
Якорь тізбегіндегі қосалқы резистордың кедергісін импуль- ік реттеу, мұны іскеасыру схемасы мен сәйкес сипаттамалары 6-сур. келтірілген, ол R кедергісіне ие 2 резисторына параллель лғанған 1 кілттің белгілі заңы бойынша периодтық коммутация йықталу және ажырату) жолымен жүзеге асырылады.

Импульстік реттеуде 7 кілт жұмысының шекаралық режимдерін дау арқылы ТҚТТҚ механикалық сипаттамалар тобын шығара- із: оның үнемі ажыратылған және үнемі тұйықталған күйі. $y = 1$

болғанда 2 резистор 3 якорь тізбегінен шығарылды және қозғалтқыш осыған сәйкес табиғи механикалық сипатта- мамен жұмыс істейді

4. Егер $y = 0$ болса, 2 резистор якорь тізбегіне енгізілген және қозғалтқыш 6 жасанды сипаттама бойынша жұмыс істейді. $0 < y < 1$ болғанда 5 механикалық сипаттама- лары екі шекті сипаттамалар арасына орналасады.

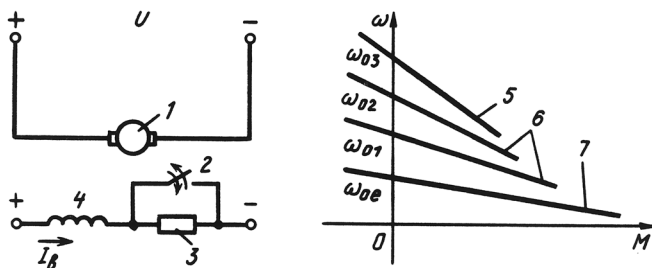
4.26-сур. көрсетілген сипаттамалар тобына арналған математикалық өрне- кті тұжырымсыз келтіреміз:



4.26-сурет

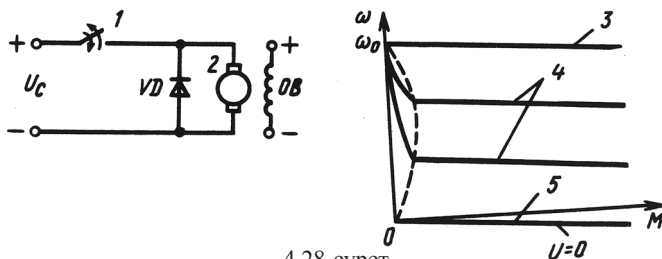
$$\omega = U / (k\Phi) - M (R_d (1 - \gamma) + R_n) / (k\Phi)^2.$$

Сұлба мен сәйкес сипаттамалары 4.27-сур. **келтірілген қозғалтқыштың магниттік түйдегін импульстік реттеуде** 4 қоздыру орамының тізбегіне 2 кілтпен тұйықталған 3 қосалқы резисторы жалғанған. үкілтің толтыру 0-ден 1-ге дейінгі шекте реттелетін болады. Осы жағдайда да 2 кілттің шекті жұмыс режимдерін талдау арқылы жасанды сипаттамалар тобын аламыз. $\gamma = 1$ болғанда кілт үнемі бекітулі, 3 резистор тұйықталған, 4 қоздыру орамы бойынша номинальді ток келеді және 1 қозғалтқыш 7 табиғи сипаттама бойынша жұмыс істейді. $\gamma = 0$ болғанда 2 кілт үнемі ажыратылған, 3 резистор 4 қоздыру орамының тізбегіне енгізілген, қоздыру тогы мен магниттік түйдек азаяды және қозғалтқыш 5 жасанды сипаттама бойынша жұмыс істейді. $0 < \gamma < 1$ мәндерінде қозғалтқыш 6 аралық сипаттамаларда жұмыс істейді.



4.27-сурет

Сұлбасымен сәйкес сипаттамалары 4.28-суретте келтірілген **қозғалтқыштың якоріндегі кернеуді импульстік реттеуде** 2 якорь 1 кілтпен мерзім сайын U кернеулі көзге жалғанады. 1 бекітулі кілтте якорьдағы ток көздің U_c кернеуінің әсерімен жүреді, ал ажыратылғанда $-VD$ диоды арқылы тұйықталып, өзіндік индукция ЭДС якорындағы туралаудың әсерімен жүреді.



4.28-сурет

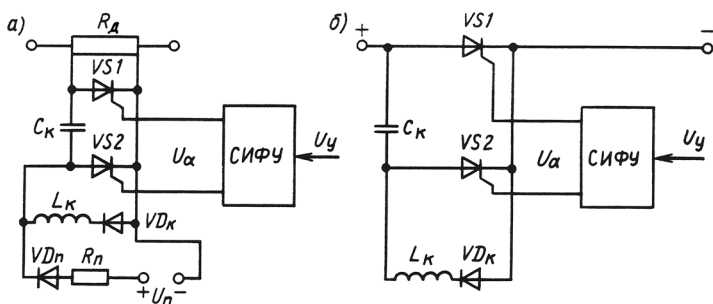
Бұл ретте якорьдағы ток жүріп тұрған сипатқа ие болады. Кілттің толтырылуын реттей отырып, қозғалтқыштың әртүрлі механикалық сипаттамаларын алуға болады.

$\gamma = 1$ болғанда якорьға үнемі көздің толық кернеуі беріледі және қозғалтқыш 3 табиғи сипаттама бойынша жұмыс істейді. Егер $\gamma = 0$ болса, онда якорьға кернеу түспейді, қозғалтқыш динамикалық тежеу схемасы бойынша қосулы күйде қалады және оның 5 механикалық сипаттамасы координаталардың басы бойынша өтеді. $0 < \gamma < 1$ толтырудың аралық мәндеріне екі шекті сипаттамалар арасында орналасқан 4 механикалық сипаттамалардағы қозғалтқыштың жұмысы сәйкес келеді.

Кернеуді импульстік реттеуде үзілмелі ток режимі мүмкін, ол орналасқан аймақта (штрих сызығынан сол жақта) қозғалтқыштың сипаттамалары қисық сызықты. Қозғалтқыш сипаттамаларының тік сызықты участоктары үшін математикалық өрнек былай түрленеді

$$\omega = \gamma U_c / (k\Phi) - MR_a / (k\Phi)^2.$$

Заманауи ЭЖ импульстік реттеу сұлбаларында контактісіз жартылай өткізгіш кілттер, әдетте тиристорлық кілттер қолданылады. Мұндай кілттің жұмысын тұрақты ток тізбегіне жалғанған қосалқы резистордың кедергісін импульстік реттеу сұлбасының мысалымен түсіндіреміз (4.29, а сур.). Осы сұлбада кілттің рөлін R резисторына параллель жалғанған $VS1$ тиристоры атқарады. Ашылғанда тиристор R_d резисторын тұйықтайды, жабылғанда тиристор осы резисторды электрлік тізбекке енгізеді. $VS1$ тиристорды өшіру үшін анодтың потенциалымен салыстырғанда катодтың барынша жоғары (жағымды) потенциалын қамтамасыз ету керек. Қарастырылатын схемада бұған $VS2$ қосалқы тиристорын және коммутациялаушы элементтерді – C_k конденсаторын, L_k реакторын, VD_k диодын, U_n кернеулі күші аз тұрақты ток көзін, VD_n диодын және R_n резисторын қолдану арқылы жетеді.



4.29-сурет

$VS1$ және $VS2$ тиристорларын басқару СИФУ жүзеге асырылады, бұл олардың тиісті жиілігі мен реттілігі бар U_a басқару импульстерін береді.

$VS1$ тиристоры бастапқы күйде ашық, $VS2$ тиристоры жабық, ал C_k конденсаторы төменгі қоршаудағы «+» таңбалы U кернеуімен қуат көзінен қуаттандырылды делік. $VS1$ тиристорын жабу $VS2$ тиристорына импульс беру арқылы орын алады. Соңғысы ашылады және $VS1$ тиристорының катодына C_k конденсаторының «+» кернеуін, ал анодқа осы «-» кернеуді өткізеді. $VS1$ жапқаннан кейін C_k конденсаторы жоғарғы қоршауындағы плюсімен $VS2$ ашық тиристоры арқылы қуаттандырылады. Егер енді басқару импульсін $VS2$ алсақ, онда ол конденсаторды қуаттаудың соңында жабылады. $VS1$ тағы импульс берілген ол R_d резисторын қысқа уақытқа тұйықтай отырып, қайта ашылады, бұл ретте $C_k - VS1 - VD_k - L_k$ тізбегі бойынша конденсатордың қайта қуатталуы басталады, бұл оның төменгі қоршауының потенциалы жағымдыға айналғанша жүреді. Егер $VS2$ тиристорын қайта ашсақ, сұлбаның сипатталған жұмыс процесі қайталанады және т. б. C_k конденсаторын бастапқы қуаттандыру үшін U_n кернеулі ток көзі мен VD_n және R_n элементтері қызмет етеді.

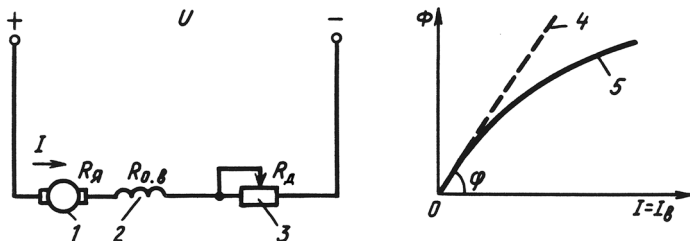
4.29, б сур. тиристорлық кілттің тағы бір кеңінен таралған сұлбасы ұсынылған, бұл әдетте кернеуді импульстік реттеу үшін қолданылады. Осы схемада тұрақты токтың қосымша көзі жоқ, себебі жоғарғы қоршауы плюсті C_k конденсаторын алдын ала қуаттандыру $VS2$ тиристорын ашқанда желі кернеуінен жүреді. Бұл ретте $VS1$ тиристоры ашық және қозғалтқыш желіден ажыратылған. $VS1$ тиристорына U_a басқарушы импульсін бергенде ол ашылады, және қозғалтқышқа кернеу беріледі. Осы тиристор арқылы бір уақытта VD_k және L_k элементтерінің жоғарғы қоршаудағы минуспен C_k конденсаторының қайта қуаттандырылуы басталады. Сондықтан $VS2$ тиристорын келесі жолы ашқанда $VS1$ тиристоры анодының потенциалы оның катодының потенциалына қарағанда барынша кері болады, және $VS1$ тиристоры жабылады. Бұдан әрі цикл қайталанатын болады.

СИФУ көмегімен $VS1$ және $VS2$ тиристорларының басқарушы импульстері арасындағы аралықты өзгерте отырып, қозғалтқыштағы кернеуді импульстік реттеуді қамтамасыз етуге болады.

Жылдамдықты импульстік реттеу көрсеткіштері негізінен үздіксіз реттеудегі секілді. Сонымен бірге тұрақты токтың импульстік электрлік жетектерінің энергетикалық көрсеткіштері бұдан да нашар. Бұл якорь тогының қисығында өзгермелі құрамдастың болуымен түсіндіріледі, бұл қозғалтқышта қосымша энергия жоғалтуға әкеледі.

4.12. БІРІЗДІ ҚОЗДЫРЫЛАТЫҢ ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ҚОСУ СҰЛБАСЫ, СТАТИСТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ ЖӘНЕ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІ

Электрлік көлік пен бірқатар жүк көтергіш машиналар мен механизмдердің ЭЖ бірізді қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштары (БҚТТК) кеңінен қолданылуда, қосу схемасы мен магниттеу қисығы 4.30-сур. көрсетілген. Осы қозғалтқыштардың негізгі ерекшелігі I якорь орамымен және 3 қосалқы резисторымен тізбекті түрле 2 қоздыру орамын қосу болып табылады, осының салдарынан якорьдің тогы бір уақытта қоздыру тогы болады.



4.30 -сурет

(4.1) ... (4.3) сәйкес қозғалтқыштың электрмеханикалық және механикалық сипаттамалары мына формулалармен беріледі

$$\omega = (U - IR) / [k\Phi(I)]; \quad (4.60)$$

$$\omega = U / [k\Phi(I)] - MR / [k\Phi(I)]^2, \quad (4.61)$$

мұнда магниттік түйдектің якорьдің (қоздыру) тогына тәуелділігі қосымша көрсетілген $\Phi(I)$, ал $R = R_{я} + R_{об} + R_{д.}$

Магниттік ағын мен ток өзара 5 магниттеу қисығымен байланысқан, оны жуық талдамалы өрнектің көмегімен сипаттау арқылы қозғалтқыштың сипаттамаларына арналған формулаларды алуға болады.

Қарапайым жағдайда магниттеу қисығын 4 тік сызықпен береді. Мұндай аппроксимация мәні бойынша қозғалтқыштың магниттік жүйесін қанықтыруды елемеуді білдіреді және ағынның токқа тәуелділігін келесі жолмен көрсетуге мүмкіндік береді:

$$\Phi = aI, \quad (4.62)$$

Мұндағы $a = \text{tg}\varphi$.

Сызықтық аппроксимацияда (4.3) шығатын момент токтың квадраттық функциясы болып табылады:

$$M = k\Phi I = kaI^2. \quad (4.63)$$

(4.60)-қа (4.62)-ні қойып қозғалтқыштың электрмеханикалық сипаттамасы үшін келесі өрнекті аламыз:

$$\omega = U/(kaI) - R/(ka). \quad (4.64)$$

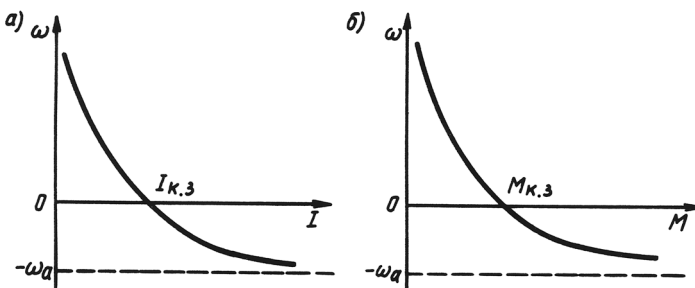
(4.64)-те токты (4.63)-тің көмегімен көрсетіп, механикалық сипаттама үшін мына өрнекті аламыз:

$$\omega = U/\sqrt{kaM} - R/(ka). \quad (4.65)$$

$\omega(I)$ және $\omega(M)$ сипаттамаларын құру үшін (4.64) және (4.65) формулаларына қысқаша талдау жүргіземіз. Шекті мәндерге – нөл мен шексіздікке ұмтылушы ток пен моментте осы сипаттамалардың асимптоталарын табамыз.

$I \rightarrow 0$ және $M \rightarrow 0$ болғанда (4.64) пен (4.65) шығатын жылдамдық шексіз үлкен мәнді қабылдайды, яғни $\omega \rightarrow \infty$. Бұл жылдамдық осінің $\omega(I)$ және $\omega(M)$ сипаттамаларының ізделіп отырған асимптотасы болып табылады. $I \rightarrow \infty$ және $M \rightarrow \infty$ болғанда ω жылдамдығы $-R/(ka)$, яғни $\omega_a = -R/(ka)$ ординаталы түзу осы сипаттамалардың екінші, горизонталь асимптотасы болып табылады.

(4.64) және (4.65) сәйкес $\omega(I)$ және $\omega(M)$ тәуелділіктері бұл ретте гиперболалық сипатқа ие болады, бұл жасалған талдауды ескере отырып, оларды 4.31-сур. көрсетілген қисықтар түрінде көрсетуге мүмкіндік береді.



4.31 -сурет

Шыққан сипаттамалардың ерекшелігі жүктеменің кіші моменттеріне сәйкес келетін қозғалтқыштың азғантай токтары мен моменттерінде оның жылдамдығы үлкен шамаларды қабылдайды, бұл ретте сипаттамалар жылдамдық осін кесіп өтпейді.

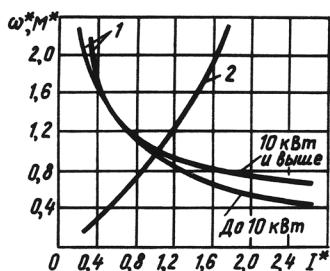
Осылайша, негізгі сұлба (4.30-сур. қараңыз) бойынша жалғанған тізбекті қоздыру қозғалтқышы үшін желімен параллель түрде жұмыс істейтін бос жүріс және генератор режимдері болмайды, себебі екінші квадранттағы сипаттамалар өтпейді.

Бұл $I, M \rightarrow 0$ болғандағы магниттік ағынның $\Phi \rightarrow 0$ болуымен түсіндіріледі, ал осылайша (4.1)-ге сәйкес $E \rightarrow U$ болады. Басқа сөзбен айтсақ, кез келген жылдамдықта $E < U$, осыған байланысты желіге энергияның берілуі орын алмайды. Қозғалтқышта Φ қалдық магниттеу түйдегінің болуына байланысты бос жүрістің жылдамдығы іс жүзінде болады және осы жағдайда $U / (k\Phi_{\text{ост}})$ қатынасына тең.

ТҚТТҚ жұмысының қалған режимдері ДПТНВ жұмыс режимдеріне ұқсас: $0 < \omega < \infty$ болғанда қозғалтқыш режимі, $\omega = 0$ болғанда қысқа тұйықталу режимі орын алады, ал $\omega < 0$ болғанда желіге тізбекті түрде қосылған генератор режимі орын алады (қарсы қосуден тежеу), Сонымен бірге бұдан әрі 4.15-бөлімде толық

карастырылған тұрақты ток желісінен тәуелсіз (динамикалық тежелу) БҚТТҚ генераторлық режимде жұмыс істей алады.

(4.64) және (4.65) өрнектері жуық болып табылады және нақты инженерлік есептер үшін қолданылмайды. Мұның себебі магниттеудің қабылданған сызықтық аппроксимациясына байланысты, сол кезде қозғалтқыштар қанықтырылған магниттік жүйе аймағында нақты



4.32 -сурет

жұмыс істейді. Сондықтан нақты практикалық есептер үшін 4.32-сур. берілген аталмыш ТҚТТҚ эмбебап сипаттамалары қолданылады. Бұлар $\omega^* = \omega / \omega_{\text{ном}}$ қатысты жылдамдық (1-қисық) пен $M^* = M / M_{\text{ном}}$ моментінің (2-қисық) $I^* = I / I_{\text{ном}}$ қатысты тогына тәуелділігін білдіреді. Барынша нақты сипаттама алу үшін $\omega^*(I^*)$ тәуелділігі 10 кВт-қа дейінгі қозғалтқыштар және 10 кВт қозғалтқыштар және бұдан жоғары қозғалтқыштар үшін екі қисықпен беріледі. Осы сипаттамалардың қолданылуын нақты мысалмен қарастырайық.

4.13* есеп. Келесі шамаларға ие Д31 типті ТҚТТҚ табиғи сипаттамаларын есептеу және құру: $P_{\text{ном}} = 8 \text{ кВт}$; $n_{\text{ном}} = 800 \text{ об/мин}$; $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$; $I_{\text{ном}} = 46,5 \text{ А}$; $\eta_{\text{ном}} = 0,78$.

$$\omega_{\text{ном}} = 2\pi n_{\text{ном}} / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 800 / 60 = 83,7 \text{ рад/с};$$

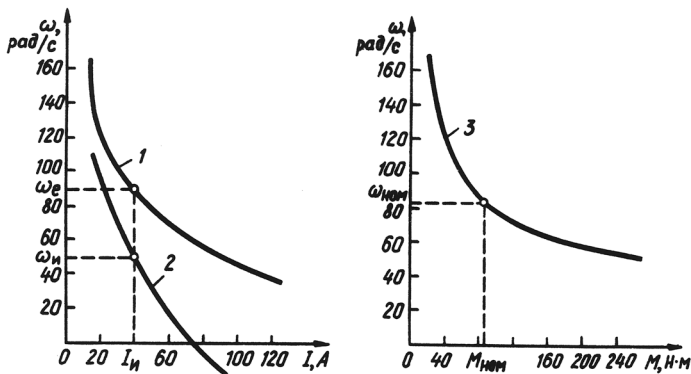
$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 8000 / 83,7 = 95,5 \text{ Н·м}.$$

БҚ ТТҚ бірегей сипаттамалары (4.32-сур. қараңыз) бойынша I^* тоқтың қатысты мәндерін бере отырып, M^* моменті мен ω^* жылдамдығының қатысты мәндерін табамыз. Осыдан кейін айнымалылардың қатысты мәндерін көбейте отырып, қозғалтқыштың ізделіп отырған сипаттамаларын құру нүктесін аламыз:

I^*	0,4	0,8	1,2	1,6	2
M^*	0,3	0,7	1,3	1,9	2,6
ω^*	1,8	,1	0,9	0,8	0,6
$\omega = \omega^* \omega_{\text{НОМ}}$ Н·м	151	92	75	63	50
$M = M^* M_{\text{НОМ}}$ Н·м	28,7	66,9	124	181	248
$I = I^* I_{\text{НОМ}}$ А	18,6	37,22	55,8	74,7	93

По полученным данным построим естественные электрохимическую (кривая 1) и механическую (кривая 3) характеристики двигателя (рис. 4.33), а также искусственную характеристику 2.

1.11.



4.33 -сурет

(4.64) және (4.65) өрнектеріне сәйкес қозғалтқыштың координаталарын реттеу якорь тізбегіндегі қосалқы резисторлардың көмегімен қозғалтқыштың магниттік түйдегі мен оған жүргізілетін кернеуді өзгерту арқылы жүзеге асырылуы мүмкін.

БІРІЗДІ ҚОЗДЫРЫЛАТЫҢ ТҰРАҚТЫ ТОГЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫ БАР ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІҢ КООРДИНАТАЛАРЫН РЕЗИСТОРЛАРДЫҢ КӨМЕГІМЕН РЕТТЕУ. РЕТТЕГІШ РЕЗИСТОРЛАРДЫ ЕСЕПТЕУ

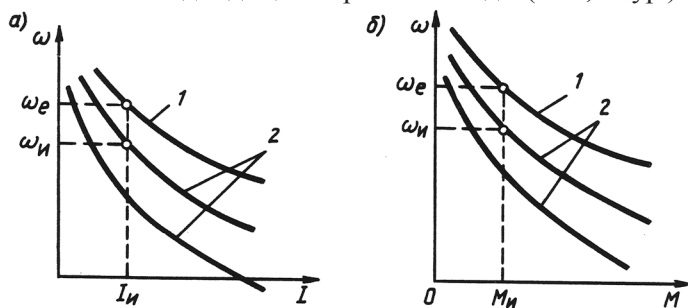
Қозғалтқыштың тогын, моменті мен жылдамдығын резисторлардың көмегімен реттеу ең алдымен өзін іске асырудың қарапайымдылығымен ерекшеленеді (4.30-сур. қараңыз).

$R_d = \text{var}$ болғанда қозғалтқыштың жасанды сипаттамалары топтарын алу үшін (4.64) және (4.65) өрнектеріне талдау жасаймыз.

$I, M \rightarrow 0$ болғанда магниттік түйдек $\Phi \rightarrow 0$, ал $\omega \rightarrow \infty$ болатындықтан, барлық жасанды сипаттамалардың бәрі жылдамдық осін өзінің вертикал асимптотасы ретінде қабылдайды. Табиғи сипаттамаларға қатысты олардың орналасуын анықтау үшін келесі түрлендірулерді орындаймыз. (4.64) қолданып, I_{II} якорінің кез келген белгіленген тогында табиғи және жасанды сипаттамалардағы қозғалтқыш жылдамдығының мәндерін жазып аламыз. Ток бәрінде бірдей болғандықтан, қандай да бір жағдайдағы магниттік түйдек бірдей болатындығын атап өтіп, осы жылдамдықтардың қатынасын табамыз, яғни оны қысқартуға болады. Қарапайым түрлендіруден кейін мынаны аламыз

$$\omega_{II} = \omega_c (U_{\text{ном}} - I_{II}(R_{\text{я}} + R_{\text{о.в.}} + R_d)) / (U_{\text{ном}} - I_{II}(R_{\text{я}} + R_{\text{о.в.}})). \quad (4.66)$$

(4.66) өрнегі табиғиға қатысты жасанды электрмеханикалық сипаттамалардың орналасуын анықтауға мүмкіндік береді, себебі $R_d > 0$ болғанда алымы үнемі бөлгіштен кем, яғни $\omega_{II} < \omega_c$. Басқа сөзбен айтсақ, 2 жасанды электрмеханикалық сипаттамалар якорьға қосалқы резисторды енгізгенде 1 табиғидан төмен орналасады, бұл ретте R_d көп болған сайын жылдамдық та барынша азаяды (4.34, а сур.).



4.34 -сурет

Жасанды механикалық сипаттамалар үшін жүргізілген сәйкес талдау олардың сол заңдылыққа бағынатынын көрсетті (4.34, б сур. қараңыз).

Қозғалтқыштың жылдамдығын осы тәсілмен реттеу келесі көрсеткіштермен сипатталады: 2...3 диапазоны; жылдамдықты реттеу бағыты – төменге; R_d ұлғаюы бойынша төмендейтін жылдамдықтың тұрақтылығы, ұйғарынды жүктеме –номиналдыға тең тұрақты момент; жылдамдықты реттеудің аздаған диапазонындағы немесе төмен жылдамдықтағы қысқамерзімдік жұмыстағы экономикалық мақсаттылық.

Ток пен моментті резисторлардың көмегімен реттеу қарапайым схемалық іске асыруда аса жоғары емес нақтылығымен ерекшенеледі.

Реттегіш резисторларды есептеу тәсілдерін қарастырайық, о талап етілген жасанды (бір немесе бірнеше) электрмеханикалық немесе механикалық сипаттаманы алуға мүмкіндік береді. Бұл жағдайдағы есеп былай тұжырымдалады: қозғалтқыштың мәлім паспорттық деректері мен оның табиғи сипаттамасында (ω , I) немесе (ω , M) координаталарына ие нүкте арқылы электрмеханикалық немесе механикалық сипаттамалардың өтуін қамтамасыз ететін R_d резисторы кедергісінің мәнін анықтау.

Осы есепті шешудің ең қарапайым жолы (4.66) формуласын қолдануды қарастырады, бұдан

$$(1 - \omega_u / \omega_c)(U_{\text{ном}} / I_{\text{ном}} - R_{\text{я}} - R_{\text{о.в.}}). \quad R_d = \quad (4.67)$$

Енді (ω_u , I_u) белгіленген координаталарында R_d есептеу оп-онай: I_u белгіленген тогы үшін табиғи сипаттама бойынша жү жылдамдығын анықтайды және барлық қолда бар деректерді (4.67) көрсетеді.

R_d және $R_{\text{о.в.}}$ мәндерін есептеуге қажеттілері анықтамалықтар бойынша, мына формула бойынша эксперименттік немесе жуық түрде табылуы мүмкін екендігін атап өтейік

$$R_d + R_{\text{о.в.}} \approx 0,75 U_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}) / I_{\text{ном}}. \quad (4.68)$$

Егер (ω_u , M_u) координаталарына ие механикалық сипаттаманың нүктесі берілсе, онда алдымен $M^*(I^*)$ бірегей сипаттамасының көмегімен M_u белгіленген моменті бойынша I тогы анықталады, осыдан кейін жоғарыда қарастырылған есептеу қайталанады.

Кейде іске қосу резисторлары мен іске қосу диаграммаларын есептеуде [1,7]-де толық қарастырылған графоаналитикалық тәсіл қолданылады.

4.14* есеп. Д31 қозғалтқышы үшін (деректерін 4.13 есебінен қараңыз) қосқанда электрмеханикалық сипаттамасы $\omega_u = 50$ рад/с, $I_u = 40$ А координаталарына ие нүкте арқылы өтетін R қосалқы резисторының кедергісін есептеу және осы сипаттаманы құру.

Якорь орамдары мен қозғалтқыш қоздыруының жиынтық кедергісін (4.68) бойынша анықтаймыз:

$$R_d + R_{\text{о.в.}} \approx 0,75 U_{\text{ном}} (1 - \eta) / I_{\text{ном}} = 0,75 \cdot 220 (1 - 0,78) / 46,5 = 0,78 \text{ Ом}$$

1 табиғи сипаттама бойынша (4.33-сур. қараңыз) $I_u = 40$ А тогы үшін $\omega_c = 90$ рад/с табамыз.

Барлық қолда бар деректерді (4.67) қойып,

$$R_d = (1 - \omega_u / \omega_c)(U_{\text{ном}} / I_{\text{ном}} - R_{\text{я}} - R_{\text{о.в.}}) = (1 - 50/90)(220/40 - 0,78) = 2,1 \text{ Ом}.$$

аламыз.

1 табиғи сипаттама бойынша (4.33-сур. қараңыз) бірқатар мәндер үшін ω жылдамдықтың мәндерін анықтаймыз. Бұдан әрі (4.66) бойынша дәл сол токтарда жасанды сипаттамадағы ω жылдамдықты шығарамыз. Шыққан шамаларды 2 жасанды электрмеханикалық сипаттаманы құру үшін

I, A	20	40	60	80	100
$\omega_e, \text{ рад/с}$	130	90	74	60	48
$\omega_n, \text{ рад/с}$	103	50	20	-4	-23

4.15 есеп. Д31 қозғалтқышы үшін (4.13 есепті қараңыз) R есептеу, оны якорь тізбегіне жалғау жүктеменің номиналды моментінде қозғалтқыштың жылдамдығын үш есеге азайтуға мүмкіндік береді.

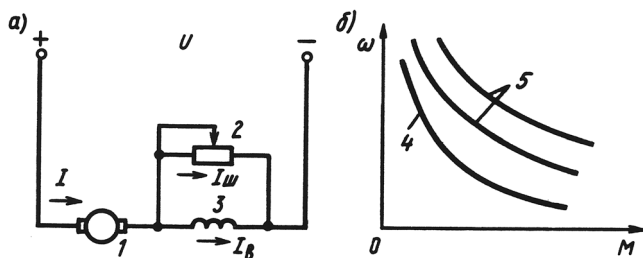
4.16 есеп. Д31 қозғалтқышы үшін (4.13 есепті қараңыз) R резистордың кедергісін есептеу, оны жалғау іске қосудың алғашқы моментінде тоқты $21_{\text{ном}}$ деңгейіне дейін төмендетуге мүмкіндік береді.

4.17 есеп. Д31 қозғалтқышы үшін (4.13 есепті қараңыз) R резисторының кедергісін анықтау, мұны қосқанда қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы $\omega = 0,2\omega$, $M = 0,9 M$ координаталарына ие нүкте арқылы өтеді.

МАГНИТТІК АҒЫНДЫ, КЕРНЕУДІ ӨЗГЕРТУ ЖӘНЕ ЯКОРЬ РЕЗИСТОРЫН ТҰЙЫҚТАУ АРҚЫЛЫ ТІЗБЕКТІ ҚОЗДЫРҒЫШТЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ

Магниттік ағынды өзгерту арқылы жылдамдықты реттеу
4.35, а сур. көрсетілген сұлба бойынша жүргізіледі, мұнда бұл үшін қозғалтқыштың 3 қоздыру орамына параллель жалғанған 2 резистордың кедергісі өзгереді. Тұрақты ток қозғалтқыштарының осы түрі үшін магниттік ағын реттеу толық тәуелсіз болып табылмайды, себебі бұл реттегі қоздыру тогы бұрынғыдай ЭЖ жүктемесімен анықталатын I якорь тогына пропорционал.

2 тұйықтау резисторының әртүрлі кедергілерінде алынатын қозғалтқыштың жасанды механикалық сипаттамаларының түрі мен орналасуын анықтау үшін келесі талдауды жүргіземіз.



4.35 -сурет

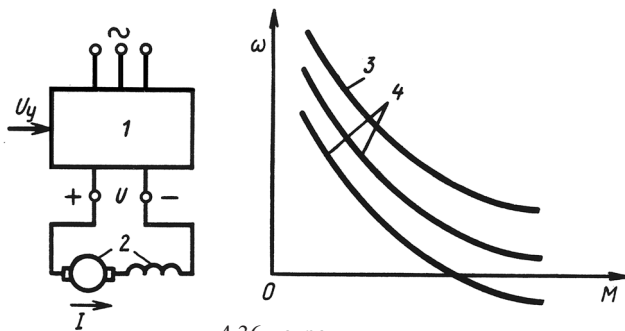
$R_{ш} = \infty$ болғанда (тұйықтау тізбегінің үзігі) қозғалтқыш өзінің негізгі схемасы бойынша қосұлы тұрады, бұған 4 табиғи сипаттамасы сәйкес келеді (4.35, б сур. қараңыз).

$0 < R_{ш} < \infty$ болғанда якорь тогының бір бөлігі ($I \neq 0$) тұйықтау тізбегіне түседі, сондықтан I қоздыру тоғы мен Φ магниттік түйдегі азаяды, бұл (4.60) пен (4.61) сәйкес қозғалтқыш жылдамдығының артуына әкеледі, бұл ретте 5 жасанды механикалық сипаттамалары табиғидан жоғары орналасады.

$M \rightarrow 0, I \rightarrow 0, 1_{в} \rightarrow 0$ болғанда $\Phi \rightarrow 0$ және жылдамдық $\omega \rightarrow \infty$, яғни осы жағдайда да жылдамдық осі барлық жасанды механикалық сипаттамалар үшін асимптотасы болып табылады.

БҚТТҚ жылдамдығын осы тәсілмен реттеу көрсеткіштері ТҚТТҚ көрсеткіштеріне сәйкес келеді.

Іске асыру схемасы мен сипаттамалары 4.36-сур. берілген **кернеуді өзгерту арқылы жылдамдықты реттегенде** 2 қозғалтқыш I басқарылатын түзеткішке қосылады. Осы U түзеткіштің шығыс кернеуі U_y бастапқы сигналының өзгеруіне сәйкес реттеледі. $U = U_{ном}$ болғанда және басқарылатын түзеткіштің ішкі кедергісін ескерместен қозғалтқыш 3 табиғи сипаттама бойынша жұмыс істейді. (4.60) пен (4.61) сәйкес кернеу төмендегенде оның жылдамдығы төмендейді және 4 жасанды сипаттамалары табиғидан төмен орналасады. $M \rightarrow 0, I \rightarrow 0, \Phi \rightarrow 0$ болғанда жылдамдық $\omega \rightarrow \infty$, яғни оның осі қозғалтқыш сипаттамаларының асимптотасы болып табылады.

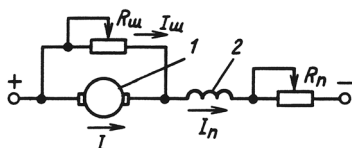


4.36 -сурет

БҚТТҚ кернеуін өзгерту арқылы жылдамдықты реттеу көрсеткіштері тәуелсіз қоздырудың тұрақты тоғы қозғалтқышының көрсеткіштеріне сәйкес келеді.

Якорьді резистормен тұйықтау арқылы жылдамдықты реттеу БҚТТҚ-да ЭЖ төмендетілген жылдамдықтарын және оның мінсіз бос

Жүрісінің белгілі жылдамдығын алу үшін қолданылады. Резистордың I тұйықтау якорі мен тізбекті қосылған $R_{ш}$ резисторы 2 қоздыру орамымен бірге кернеуді бөлгішті түзетін схема кеңінен таралды (4.37-сур.). Осының есебінен қозғалтқыштың якоріне төмендетілген кернеу жүргізіледі және оның сипаттамалары табиғидан төмен орналасады.

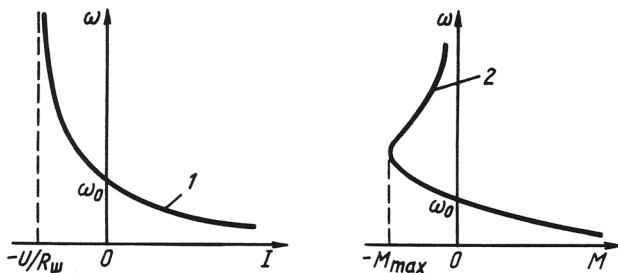


4.37 -сурет

Сондай-ақ қарастырылып отырған схеманың ерекшелігі якорьдің нөлдік тогында қоздыру тогы $R_{ш}$ резисторы болғандықтан нөлге тең емес, сондықтан нөлден ерекше магниттік түйдек пен қозғалтқыш ω_0 мінсіз бос жүрістің белгілі жылдамдығына ие.

Қозғалтқыштың жылдамдығы ω_0 болғанда якорьдегі ток өз бағытын өзгертеді, және қоздыру тогы жылдамдықтың өсуіне қарай азаяды. Якорьдің тогы $I = -U / R_{ш}$ мәніне ұмтылғанда қоздыру тогы мен магниттік түйдек нөлге ұмтылады, ал жылдамдық шексіздікке ұмтылады. Басқа сөзбен айтқанда, $I = -U / R_{ш}$ абсциссалы вертикал сызық I электрмеханикалық сипаттаманың асимптотасы болып табылады (4.38-сур.).

Екінші квадрантта механикалық сипаттама алу үшін қозғалтқыштың электромагниттік моментінің (4.3) формуласына жүгінеміз. $\omega = \omega_0$ болғанда ток $I = 0$ және момент $M = 0$, ал $I \rightarrow -U / R_{ш}$ болғанда түйдек $\Phi \rightarrow 0$ және момент $M \rightarrow 0$, яғни жылдамдық осі механикалық сипаттаманың вертикал асимптотасы болып табылады. $\omega = 0$ және $\omega \rightarrow \infty$ болғанда нөлге тең қозғалтқыш моменті жылдамдықтың аралық интервалында M_{max} ең жоғары



4.38 -сурет

Жүргізілген талдау қозғалтқыштың жасанды механикалық сипаттамасын 2 қисық түрінде көрсетуге мүмкіндік береді

БІРІЗДІ ҚОЗДЫРҒЫШТЫ ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШЫ БАР ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН ТЕЖЕУ

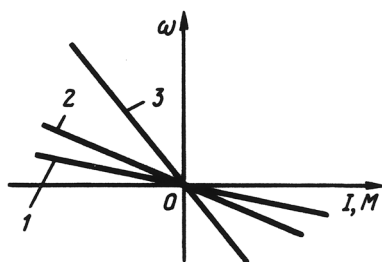
Мәжбүрлі электрлік тежеуді жүзеге асыру үшін генераторлық жұмыс режиміне ауыстыру қажет.

БҚТТҚ динамикалық тежеу екі сұлба бойынша іске асырылуы мүмкін –тәуелсіз қоздырғыш және өзіндік қоздырғыш.

Тәуелсіз қоздырғышты БҚТТҚ динамикалық тежеу 4.2-сур. келтірілген схема бойынша іске асырылады және мәні бойынша ТҚТТҚ динамикалық тежеуіне ұқсас.

Бұл жағдайда қозғалтқыштың сипаттамалары (4.9) және (4.10) теңдеулерімен сипатталадыжәне координаталардың басы арқылы өтетін түрге ие болады (4.39-сур.).

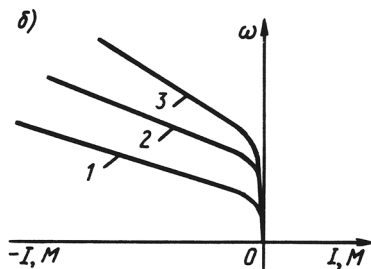
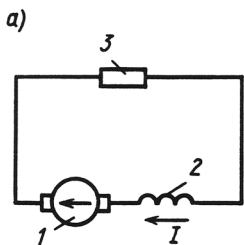
Сондай-ақ осы теңдеулерден R резисторы кедергісінің артуына байланысты сипаттамалардың горизонталь оське көлбеулігі арта түсетіндігін көруге болады.



4.39 -сурет

Өзіндік қозатын БҚТТҚ динамикалық тежеуі 4.40, а суретте келтірілген сұлба бойынша 1 якорь, 2 қоздыру және 3 резистор орамдарын тізбекті жалғауда іске асырылады (резистор болмауы мүмкін).

Өзіндік қозу режимдерін туындату және қолдану үшін келесі шарттарды орындау керек: қозғалтқышта $\Phi_{ост}$ қалдық магнит ағыны-



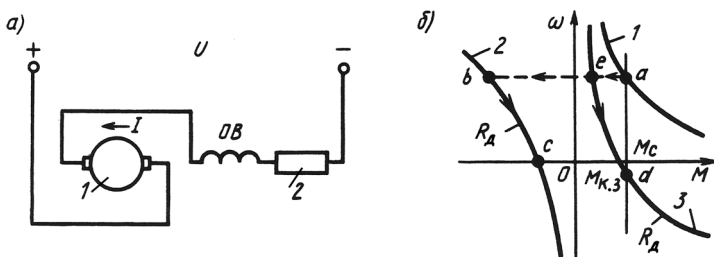
4.40 -сурет

ның болуы; қоздыру тогымен жасалатын $\Phi_{\text{ост}}$ пен Φ магнит ағынының бағыты бойынша сай келуі; якорь орамы тізбегінің кедергісі ($3R$ резистордың кедергісін ескере отырып) ауыспалыдан аз.

Өзіндік қозатын БҚТТҚ динамикалық тежеу келесі жолмен орын алады. Қалдық магниттік өріс болғанда және якорь айналғанда якорьдегі ЭДС тураланады, оның әсерінен якорь мен қоздыру орамы бойыша ток жүре бастайды. Бұл ток Φ негізгі магниттік ағынын құрады, ол бағыты бойынша $\Phi_{\text{ост}}$ қалдық ағынына сәйкес келу арқылы ЭДС ұлғаюына әкеледі, яғни қозғалтқыштағы токтың ұлғаюына әсер етеді. Өзіндік қозудың осындай процесі ЭДС кернеудің жиынтықты төмендеуіне теңеспейінше жалғасатын болады.

$R_{\text{д1}} < R_{\text{д2}} < R_{\text{д3}}$ 3 резистордың әртүрлі кедергілеріне сәйкес келетін тежеу режиміндегі БҚТТҚ 1...3 бірегей сипаттамалары 4.40, б сур. көрсетілген.

Сұлбасы 4.41-сур. келтірілген БҚТТҚ қарсы қосу арқылы тежеу қоздыру орамындағы токтың сол бағытын сақтағанда якорь орамындағы кернеудің полярлығының өзгеруі арқылы жүзеге асырылады (немесе керісінше). Бұл ретте (4.3) сәйкес қозғалтқыш моментінің белгісі өзгереді. Тежеудің осы режимінде токты шектеу үшін 1 якорь тізбегіне 2 қосалқы резистор енгізіледі.



4.41 -сурет

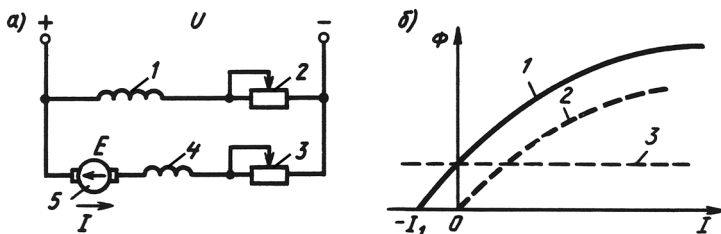
Тежеу процесі 4.41, б сур. көрсетілген сипаттамаларды толықтырады. Тежеуге дейін қозғалтқыш M_c кедергі моментін еңсере отырып, 1 сипаттамасының а нүктесінде жұмыс істеді. Якорь орамындағы кернеудің полярлығы өзгергеннен кейін және оны R_d кедергілі қосалқы резистордың тізбегіне енгізгеннен кейін қозғалтқыш 2 сипаттама бойынша жұмысқа көшеді (b нүктесі). Тежеу процесі қарсы қосуден басталады. Бұған bc , бөлікшесі сәйкес келеді. C нүктесінде тежеу тоқтайды (қозғалтқыштың жылдамдығы нөлге тең), және басқару сұлбасы қозғалтқышты желіден ажыратады.

Сондай-ақ қарсы қосу арқылы тежеу қозғалтқыш $M_{кз}$ қысқа тұйықталу моментінен жоғары M_c белсенді моментімен жүктелген жағдайда да іске асырылады. Тежеудің осы нұсқасын 4.41, б суретінің көмегімен қарастырайық.

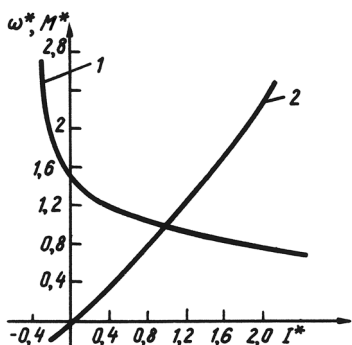
Қозғалтқыш бастапқы режимде M белсенді жүктеме моментін еңсеру арқылы 1 сипаттамасындағы а нүктесінде жұмыс істейді делік. Егер енді якорь орамындағы кернеудің полярлығын өзгертпестен якорь тізбегіне R қосалқы резисторын енгізетін болсақ, онда қозғалтқыш 3 сипаттамасы бойынша жұмыс істейтін болады (e нүктесі). Бұл ретте қозғалтқыш моменті жүктеме моментінен аз болатындықтан, ол алдымен тежеу бастайды, осыдан кейін $M_c > M_{кз}$ белсенді жүктеме моментінің әсерімен жүктеме мен қозғалтқыш моменттері d нүктесінде теңескенше тарқатылады. Бұл ретте қозғалтқыш қарсы қосу арқылы тежеу режимінде жұмыс істейтін болады. Тежеудің осындай тәсілі қозғалтқыштың білігінде белсенді жүктеме моментін қалыптастыратын жүк көтергіш машиналар мен механизмдердің ЭЖ жиі қолданылады.

4.16. АРАЛАС ҚОЗДЫРҒЫШТЫ ТҰРАҚТЫ ТОКТЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫ БАР ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ МЕН СИПАТТАМАЛАРЫ

Қосу схемасы 4.42, а сур. көрсетілген АҚТТҚ екі қоздыру орамына ие – қуат көзіне 2 резистор арқылы жалғанатын 1 тәуелсіз және 3 резистормен және 5 якорь тізбегімен тізбекті түрде жалғанатын 4 тізбекті. Осының салдарынан қозғалтқыштың магнит ағыны екі құрамдастың жиынтығын білдіреді – 1 ораммен жасалатын $\Phi_{овн}$ ағынының және 4 орамымен жасалатын $\Phi_{овп}$ ағынының. Осы ағындар мен Φ жиынтық ағынының якорь тогына тәуелділігі 4.42, б суретте сәйкесінше 3 және 2 штрих сызықтары мен 1 тұтас сызық түрінде көрсетілген. – I_d мәніне ұмтылатын якорь тогында Φ магнит ағынының нөлге ұмтылатынын атап өткен маңызды, яғни қозғалтқыш магнитсіздендіріледі.



4.42 -сурет



4.43 -сурет

АҚТТҚ электрмеханикалық және механикалық сипаттамалары сәйкесінше (4.60) және (4.61) формулаларымен беріледі, мұндағы Φ магнит ағындағы якорь тогының функциясы болып табылады.

Практикалық есептер үшін АҚТТҚ бірегей сипаттамалары қолданылады, бұлар анықтамалық әдебиетте келтірілген және 4.43-сур. көрсетілген. Олар сәйкесінше $I^* = I / I_{\text{ном}}$ якорьдің қатысты тогының $\omega^* = \omega / \omega_{\text{ном}}$ жылдамдығы мен $M^* = M / M_{\text{ном}}$ моментіне қатысты I және 2 тәуелділіктерін білдіреді, бұлар көбіне

БҚТТҚ бірегей сипаттамаларына ұқсас, алайда бір маңызды ерекшелігі бар: мінсіз бос жүрістің белгілі жылдамдығы.

АҚТТҚ сипаттамалары екінші квадрантта да орналасатындықтан, бұл оның барлық мүмкін энергетикалық режимдерде жұмыс істей алатынын білдіреді.

АҚТТҚ осы түрімен ЭП координаталарын реттеу якорь тізбегіндегі қосалқы резистордың кернеуін, магнит ағыны мен кедергісін өзгерту арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Сондай-ақ АҚТТҚ ЭЖ тежеудің келесі режимдерін қамтамасыз етеді: тәуелсіз қозатын және өздігінен қозатын, қарсы қосылатын динамикалық және рекуперативтік.

Екі қоздыру орамының болуы қозғалтқышты дайындауға кететін материалдар шығынын барынша арттыратынын және осы арқылы оның массасын, габариттік өлшемдері мен бағасын көтеретінін атап өтейік. Осы себепке байланысты қазіргі кезде қозғалтқыштың осы түрі оның қолданылуы қандай да бір спецификалық талаптармен қажет болғанда және техникалық-экономикалық есептермен расталғанда ғана қолданылады.

Бақылау сұрақтары

1. Электртехникалық өнеркәсіпте тұрақты ток қозғалтқыштарының қандай сериялары шығарылады?
2. Тәуелсіз қоздырғышты тұрақты ток қозғалтқышын қосудың негізгі схемасын сипаттандар.
3. Тұрақты ток қозғалтқыштарының сипаттамалары үшін формулалар шығарғанда қандай жорамалдар қабылданады?
4. Қозғалтқыштың энергетикалық режимінің түрлерін және сәйкес белгілерін атаңдар.
5. Тәуелсіз қоздырғышты тұрақты ток қозғалтқышы бар ЭЖ координаталарын реттеудің негізгі тәсілдерін атаңдар. ТҚТТҚ жылдамдығын реттеудің негізгі тәсілдерін сипаттандар.

6. Іске қосу диаграммасы дегеніміз не және ол қалай құрылады?
7. Тиристорлық басқарылатын түзеткіштің сұлбасы мен әсер ету қағидасын сипаттаңдар.
8. Г – Қ жүйесінің артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
9. ТТ – Қ жүйесінің артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
10. ЭЖ статикалық және динамикалық сипаттамаларын қалыптастырудың мақсаты мен мәні неде?
11. Тәуелсіз қоздырғышты қозғалтқыш якорін тұйықтау сұлбасын қандай жағдайда қолданған жөн?
12. «Ток көзі – қозғалтқыш» жүйесінің схемасы мен сипаттамалары қандай?
13. ЭЖ координаталарын импульстік реттеудің мәні неде?
14. Бірізді және аралас қозатын тұрақты ток қозғалтқыштарының бірегей сипаттамалары дегеніміз не?
15. БҚТТҚ қосу сұлбасы мен сипаттамаларының ерекшелігі неде?
16. БҚТТҚ жылдамдығын реттеу тәсілдерін атаңдар.
17. БҚТТҚ тежеу тәсілдерін атаңдар.
18. АҚТТҚ қосу сұлбасы мен сипаттамаларының

5-тарау. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРІ

Үш фазалы асинхронды қозғалтқышы бар ЭЖ өнеркәсіптегі, коммуналдық және ауыл шаруашылығындағы ең көп таралған түрі болып табылады. Мұндай күйі ТТҚ салыстырмалы түрде массасы, габариттік өлшемдері мен бағасы төмен, сондай-ақ жұмыста сенімділігі жоғары АД оңай дайындалуы мен пайдаланылуымен анықталады.

4А негізгі жалпы өнеркәсіптік сериясына қуаты 0,06-дан 400 кВт дейінгі және айналу осінің биіктігі 50-ден 355 мм дейінгі АҚ кіреді, олар әртүрлі модификациялармен және конструктивтік орындаулармен шығарылады: жоғары іске қосу моментімен және сырғумен; фазалық ротормен; ішіне орнатылатын; шуы аз; орнатылған температуралық қорғанысты; электромагниттік тежегішімен; сырғу мойынтірегімен; химиялық төзімді. АҚ сондай-ақ климаттық орындалуы мен орналасу санаты бойынша ерекшеленеді. Үлкен қуатты ЭЖ жинақтамасы үшін АН-2 (қуаты 2000 кВт-қа дейін), АВ (қуаты 8000 кВт-қа дейін), ДАЗО (қуаты 1250 кВт-қа дейін) сериялы АҚ және бірқатар басқалары шығарылады.

Кран механизмді ЭЖ үшін МТФ (фазалық роторы бар) және МТКФ (қысқа тұйықталған роторы бар) сериялы мамандандырылған АҚ шығарылады, ал жұмыс машиналары мен металл өнеркәсібінің механизмдері үшін МТН (фазалық роторы бар) және МТКН (с қысқа тұйықталған роторы бар) сериялы АҚ шығарылады.

Осы сериялардың құрамында көп жылдамдықты АҚ шығарылады. Аталған сериялы қозғалтқыштар жоғары механикалық беріктігімен, салыстырмалы аздаған іске қосу токтарында үлкен іске қосу моменттерімен, жақсы динамикалық көрсеткіштерімен ерекшеленеді. 4МТ жаңа сериялы кранды және металлургиялық АҚ қуат шкаласымен, стандарттаудың барынша жоғары деңгейімен, кеңейтілген жұмыстың жақсартылған техникалық-экономикалық көрсеткіштерімен ерекшеленеді.

Қуаты 0,75-тен 160 кВт-қа дейінгі АИ сериялы қозғалтқыштар халықаралық стандарттар бойынша сәйкестендірілген параметрлерге ие.

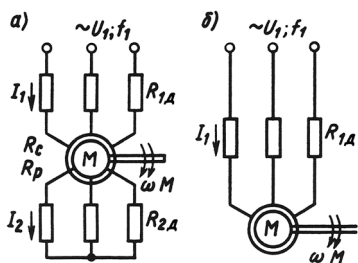
Сонымен бірге электротехникалық өнеркәсіп жарылу қаупі бар және өртке қауіпті орталарда жұмыс істеу үшін В және ВР скриялы АҚ шығарады.

Соңғы кезге дейін АҚ негізгі қолдану саласы реттелмейтін ЭЖ болды. Соңғы жылдары электротехникалық өнеркәсіпте жиілік пен кернеудің тиристордық түрлендіргіштерін әзірлеу мен сериялық шығаруға байланысты өз көрсеткіштері тұрақты ток ЭЖ қалыспайтын сипаттамаларға ие реттелетін асинхронды ЭЖ шығарыла бастады. АҚ артықшылықтарына байланысты осындай ЭЖ қолдану автоматтандырылған ЭЖ дамуының үдемелі тенденциясын білдіреді.

5.1. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ҚОСУ СҰЛБАСЫ, СТАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ ЖӘНЕ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІ

Үшфазалы АҚ кернеуі U_1 және жиілігі f_1 ауыспалы токтың үшфазалы желісіне қосылатын статор орамына және екі нұсқада орындалуы мүмкін ротор орамына ие.

Алғашқы нұсқасы үш контактілі сақинаға шығу арқылы өткізгіштерден үйреншікті үшфазалы орамның орындалуын қарастырады. Мұндай конструкция фазалық роторы бар АҚ сәйкес келеді (5.1, а сур.),



5.1 – сурет

Ол ротор тізбегіне әртүрлі электротехникалық элементтерді қосуға мүмкіндік береді, мысалы ЭЖ жылдамдығын, тоғын және моментін реттеуге арналған резисторлар, және АҚ арнайы қосу сұлбаларын құруға мүмкіндік береді.

Екінші нұсқасы – бұл ротор фазадарына алюминий құю арқылы орамды орындау, мұның нәтижесінде «тиін торы» атауымен танымал конструкция түзіледі.

Тұжырымдары жоқ және қысқа тұйықталған атауын алған осындай орамды АҚ схемасы 5.1, б сур. көрсетілген.

АҚ электрмеханикалық және механикалық сипаттамаларының өрнектерін алу үшін оны ауыстыру сұлбасы қолданылады, мұндағы статор мен ротор тізбектері өздерінің белсенді және индуктивтік кедергілерімен ұсынылған. АҚ ауыстыру сұлбасының ерекшелігі мұндағы токтың, ЭДС пен ротор тізбегінің параметрлерінің статор тізбегіне қарай есептелгендігінде (келтірілгендігінде), бұл осы екі тізбекті электрлік түрде жалғанған сұлбада бейнелеуге мүмкіндік береді, алайда шындығында олардың арасындағы байланыс электрмагниттік өріс арқылы жүзеге асырылады. Келтіру ЭДС бойынша АҚ трансформация коэффициентінің көмегімен жүзеге асырылады:

$$\kappa = E_1/E_{2\kappa} \approx 0,95 U_{\phi, \text{ном}}/E_{2\kappa}, \quad (5.1)$$

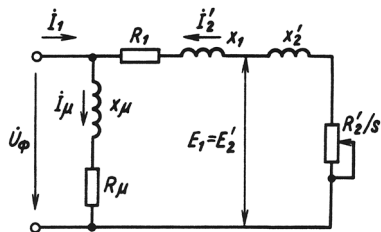
мұндағы E_1 және $E_{2\kappa}$ – жылжымайтын ротордағы статор мен ротордың фазалық ЭДС; $U_{\phi, \text{ном}}$ – желінің фазалық номиналды кернеуі.

Келтірудің есептеу формулалары былай түрленеді

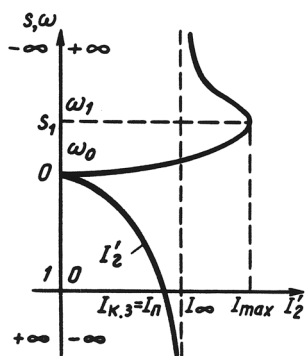
$$E'_2 = E_2\kappa = E_1; I'_2 = I_2/\kappa; R'_2 = R_2\kappa_2; x'_2 = x_2\kappa_2, \quad (5.2)$$

Мұнда штрихпен келтірілген мәндері белгіленген.

Электрлік машиналар теориясында АҚ ауыстырудың екі негізгі сұлбасы әзірленген және қолданылады – барынша нақты Т-тәріздес және жеңілдетілген П-тәріздес. 5.2-сур. ауыстырудың П-тәріздес сұлбасы берілген, бұл алда АҚ сипаттамалары үшін формула шығаруда қолданылады. 5.1 және 5.2 сур. келесі белгілер қабылданған: U_p , U – желінің сызықтық және кешенді фазалық кернеуінің сәйкесінше әсер етуші мәні; I, I_ϕ , U – статор тогының, магниттеудің сәйкес кешенді фазалық токтары және ротордың белгіленген тогы; x_1, x'_2 – статор орамы фазасының шашырауағындарының сәйкесінше индуктивтік кедергілері мен ротордың белгіленген фазалары; x_μ – магниттеу контурының индуктивті кедергісі; $R_c, R_{1\Delta}, R_1 = R_c + R_{1\Delta}$ – сәйкесінше статордың, қосалқы резистордың орамына келтірілген белсенді фазалы кедергілер және статор фазасының жиынтық кедергісі; $R_p, R_{2\Delta}, R'_2 = R_p + R_{2\Delta}$ – сәйкесінше ротордың, қосалқы резистордың орамына келтірілген белсенді фазалы кедергілер және ротор фазасының жиынтық кедергісі; $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ – АҚ жылжуы; $\omega_0 = 2\pi f/p$ – АҚ магниттік өрісінің бұрыштық жылдамдығы (мінсіз бос жүрістің жылдамдығы);



5.2 – сурет



5.3 – сурет

f_i – қуаттандырушы кернеудің жиілігі; p – АД полюстері жұбының саны. 5.2-сур. көргеніміздей, статордың ЭДС ротордың келтірілген ЭДС тең, ал АҚ магниттік түйдегін анықтайтын I_m магниттеу тогы U_ϕ әсерімен x_m және R_m магниттеу контурының кедергілерінен тұратын жеке тізбек бойынша жүреді және статор мен келтірілген ротор тогының векторлық жиынтығын білдіреді, яғни $I_\mu = I_1 + I_2$.

АҚ $I'_2(s)$ электрмеханикалық сипаттамасы 5.2-сур. талдаудан тікелей алынатын өрнекпен сипатталады:

$$I'_2 = U_\phi / \sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + x_k^2}, \quad (5.3)$$

Мұндағы $x_k = x_1 + x'_2$ – қысқа тұйықталудың индуктивтік фазалық кедергісі.

Тұрақты ток қозғалтқышымен салыстырғанда А) электр-механикалық сипаттамасы ротор тогының ω жылдамдығына емес, жылжуға тәуелділігі түрінде беріледі, бұл осы қозғалтқыштардың ерекшелігі болып табылады. Сондықтан сипаттамаға арналған өрнек жазбаның ықшам пішініне ие және талдау мен есептеулер үшін барынша ыңғайлы, ал $\omega(I'_2)$ түрдегі тәуелділікке көшу мына формуланың көмегімен жүзеге асырылады

$$\omega = \omega_0(1 - s). \quad (5.4)$$

А) электрмеханикалық сипаттамасын құру үшін осы тәуелділіктің өзіндік нүктелері мен оның асимптоталарын талдаймыз, бұл ретте s жылжуы мен ω жылдамдығына $\pm\infty$ шегіндегі әртүрлі мәндерді береміз

$$s = 0, \omega = \omega_0, I'_2 = 0 \text{ – мінсіз бос жүріс нүктесі;}$$

$$s = 1, \omega = 0, I'_2 = I'_{2\text{кл}} = U_\phi / \sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + x_k^2} \text{ – қысқа тұйықталу нүктесі;}$$

$$s_1 = -R'_2/R_1, \omega_1 = \omega_0(1 + s_1), I'_2 = I'_{2\text{max}} = U_\phi/x_k \text{ – жағымсыз жылжулар аймағында жатқан ротор тогының ең жоғары мәнінің нүктесі;}$$

$$s \rightarrow \pm\infty, \omega \rightarrow \pm\infty, I'_2 \rightarrow I_\infty = U_\phi / \sqrt{R_{21}^2 + x_k^2} \text{ – жылжу мен жылдамдықты барынша шексіз арттырудағы ротор тогының асимптотасы.}$$

5.3-сур. АҚ электрмеханикалық сипаттамасы көрсетілген, бұл ретте вертикал ось бойынша (5.4) арақатынасымен байланысқан бір-біріне сәйкес АҚ жылдамдығы мен жылжуы көрсетілген.

АҚ механикалық сипаттамасы. Көбіне АҚ механикалық координаталары арқылы көрсетілген жылжу шығыны деп аталатын ротор тізбегіндегі қуат шығындары электрмагниттік және пайдалы механикалық қуаттың алуан түрлілігін білдіреді, яғни

$$\Delta P_2 = P_{\text{эм}} - P_2 = M\omega_0 - M\omega = M\omega s. \quad (5.5)$$

Электрлік шамалар арқылы көрсетілген ротордағы қуат шығындары былай анықталады

$$\Delta P_2 = 3 I_2'^2 R_2'. \quad (5.6)$$

(5.5) пен (5.6) теңестіріп, мынаны аламыз

$$M = 3 I_2'^2 R_2' / (\omega_0 s). \quad (5.7)$$

(5.7)-ге (5.3)-гі I_2' тогының мәнін қойып, мынаны аламыз

$$M = 3 U_\phi^2 R_2' / [\omega_0 s ((R_l + R_2'/s)^2 + x_k^2)]. \quad (5.8)$$

$M(s)$ шыққан тәуелділігін экстремумда зерттей келе, яғни dM/ds туындыны алып және оны нөлге теңестіріп, момент пен жылжудың екі экстремалды нүктелерінің бар екенін білеміз:

$$M_k = 3 U_\phi^2 / [2\omega_0 (R_l \pm \sqrt{R_l^2 + x_k^2})]; \quad (5.9)$$

$$s_k = \pm R_2' / \sqrt{R_l^2 + x_k^2}, \quad (5.10)$$

Бұл ретте мұндағы «плюс» белгісі $s > 0$ жылжу аймағына, ал «минус» белгісі $s < 0$ аймағына қатысты. АҚ экстремалды нүктелерге сәйкес M_k моменті мен s жылжу мәндері сыни атауына ие болды.

Егер (5.8) өрнегін (5.9)-ға бөліп, күрделі емес түрлендіру лерді орындасақ, онда механикалық сипаттаманы құру үшін басқа, барынша ықшам әрі ыңғайлы жазба нысанын алуға болады.

$$M = 2M_k (1 + as_k) / (s_k/s + s/s_k + 2as_k), \quad (5.11)$$

Мұндағы $a = R_l/R_2'$.

Механикалық сипаттаманың өзіндік нүктелері мыналар:

$s = 0, \omega = \omega_0, M = 0$ – мінсіз бос жүріс нүктесі;

$s = 1, \omega = 0, M = M_{k.3} = M_\Pi$ – қысқа тұйықталу нүктесі;

$s = s_{к.д}$, $M = M_{к.д}$; $s = -s_{к.г}$, $M = -M_{к.г}$ – сәйкесінше қозғалтқыш және генератор режимдеріндегі сыни нүктелер;

$s \rightarrow \pm\infty$, $\omega \rightarrow \pm\omega$, $M \rightarrow 0$ – механикалық сипаттаманың асимптотасы, бұл жылдамдық осі болып табылады.

5.4-сур. АҚ механикалық сипаттамасы берілген. Оның АҚ статорының қысқышындағы U желісінің қуаттандырушы кернеуінің фазаларын белгілі кезектестіруге сәйкес келетінін атап өтейік. Екі фазаларын кезектестіру тәртібі өзгергенде АҚ координаталардың басына қатысты симметриялық түрде орналасқан ұқсас механикалық сипаттамаға ие болады.

Кейбір жағдайда механикалық сипаттаманы құрғанда жуық формулалар қолданылады. Егер статордың белсенді кедергісін елемесе, яғни $a = 0$ деп санасақ, (5.11), (5.9) және (5.10) өрнектері сәйкесінше былай түрленеді

$$M = 2M_k / (s/s_k + s_k/s); \quad (5.12)$$

$$M_k = 3U_\phi^2 / (2\omega_0 x_k); \quad (5.13)$$

$$s_k = R_2' / x_k. \quad (5.14)$$

Егер (5.12)-де момент пен жылжудың ағымдағы мәндерінің орнына олардың $M_{ном}$ және $s_{ном}$ номиналды мәндерін қойып және M/M_k ең жоғары моментінің дүркінділігін λ_m арқылы белгілесек, онда сыни және номиналды жылжуды байланыстыратын формуланы аламыз

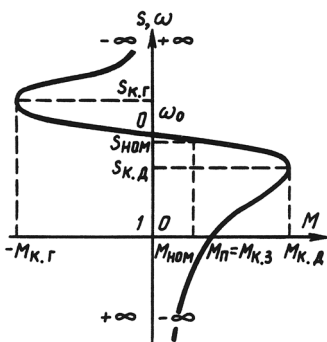
$$s_k = s_{ном} [\lambda_m \pm \sqrt{\lambda_m^2 - 1}]. \quad (5.15)$$

Бұл формула АҚ каталогтық (паспорттық) деректері бойынша s_k анықтау үшін қолданылуы мүмкін. 4А сериялары үшін қозғалтқыштардың жүкті ауыстырып тиейтін қабілетін анықтайтын λ_m дүркінділігі 1,8...2,6 шегінде жатыр, сәйкесінше s_k сыни жылжуы $s_{ном}$ номиналдысын шамамен 3... есеге арттырады ((5.15)-гі «+» белгісінде).

(5.12)-ні бұдан әрі жеңілдету аздаған жылжулар аймағында мүмкін, мұнда s/s_k қатынасын елемеге болады. Бұл жағдайда (5.12) өрнегі былай түрленеді

$$M = 2M_k s/s_k. \quad (5.16)$$

(5.16) формуласы $M_{ном}$, $\omega_{ном}$, $s_{ном}$ координаталарына ие номиналды нүктесі орналасқан қозғалтқыштың



5.4 – сурет

сызықтық участогына жақын аталмыш жұмыс сипаттамасын сипаттайды.

АҚ жылжу мәні мен белгісімен анықталатын барлық мүмкін энергетикалық режимде жұмыс істей алады, атап айтсақ:

$s=0, \omega=\omega_0$ – мінсіз бос жүріс режимі;

$s=1, \omega=0$ – қысқа тұйықталу режимі;

$0 < s < 1, 0 < \omega < \omega_0$ – қозғалтқыш режимі;

$s < 0, \omega > \omega_0$ – АҚ желіге параллель жұмыс істегендегі генератор режимі (рекуперативтік тежеу);

$s > 1, \omega < 0$ – АҚ желімен тізбекті түрде жұмыс істегендегі генератор режимі (қарсы қосумен тежеу).

Сонымен бірге, АҚ динамикалық тежеу режимі деп аталатын айнаымалы ток желісіне тәуелсіз генератор режимінде жұмыс істей алады. Бұл режимде айнаымалы ток желісінен ажыратылған АҚ статорының орамы тұрақты ток көзіне жалғанған, ал ротор тізбегі қысқа немесе қосалқы резисторларға тұйықталған (5.10-бөлімді қараңыз).

Электрмеханикалық және механикалық сипаттамалар үшін алынған формулалар, еске сала кетсек, үнемі қозғалтқыштың жасанды сипаттамаларын алумен байланысты АҚ координаталарын реттеудің мүмкін тәсілдерін атауға мүмкіндік береді. (5.3)-тен өтпелі режимде ротор мен статордағы тоқты реттеу АҚ статорына жүргізілетін кернеудің өзгеруімен, сондай-ақ статор мен ротор тізбектерінде қосалқы резисторлардың көмегімен қамтамасыз мүмкін екендігін түсінуге болады.

(5.8) формуласы АҚ моменті мен жылдамдығын реттеуде талап етілетін жасанды механикалық сипаттамаларды алудың мүмкін тәсілдерін анықтайды, атап айтсақ: қозғалтқышқа жүргізілетін кернеу деңгейі мен жиілігінің өзгеруі; статор мен ротор тізбектеріне қосалқы белсенді және реактивтік резисторларды қосу; АҚ магниттік өрісі полюстері жұбының санын өзгерту. АҚ қосудың арнайы схемаларының көмегімен іске асырылатын координаталарды реттеудің басқа тәсілдері де қолданылады – каскадты схемалар, электрдік білік схемалары.

5.1* есеп. МТН-312-6 типті АҚ келесі деректерге ие: $P_{\text{ном}} = 17,5 \text{ кВт}$, $n_{\text{ном}} = 945 \text{ об/мин}$; $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$; $f_1 = 50 \text{ Гц}$; $I_{\text{ном}} = 43 \text{ А}$; $R_c = 0,34 \text{ Ом}$; $x_1 = 0,43 \text{ Ом}$; $R_p = 0,12 \text{ Ом}$; $\kappa = 2,66$; $\lambda_m = M_n / M_{\text{ном}} = 2,5$.

Қозғалтқыштың табиғи электрмеханикалық және механикалық сипаттамаларын есептеу және құру.

Мінсіз бос жүрістің жылдамдығын анықтаймыз:

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 / 3 = 104,8 \text{ рад/с.}$$

Ротор орамы кедергілерінің келтірілген мәндері мен қысқа тұйықталудың индуктивтік кедергісін есептейміз:

$$x_2^1 = x_2 \kappa_2 = 0,25 \cdot 7,08 = 1,8 \text{ Ом}; R_2' = R_2 \kappa^2 = 0,12 \cdot 7,08 = 0,89 \text{ Ом};$$

$$x_{\kappa} = x_1 + x_2' = 0,43 + 1,8 = 2,23 \text{ Ом}.$$

$I_2'(s)$ сипаттамасының сипаттық нүктелерін анықтайық:

$$I_{\kappa\lambda} = I_{1\phi} / \sqrt{(R_c + R_2')^2 + x_{\kappa}^2} = 220 / \sqrt{(0,34 + 0,89)^2 + 2,23^2} = 87,1 \text{ А};$$

$$s_1 = -R_p' / R_c = -0,89 / 0,34 = -2,6; I_{\max} = U_{1\phi} / x_{\kappa} = 220 / 2,23 = 99,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{оо}} = U_{1\phi} / \sqrt{R_c^2 + x_{\kappa}^2} = 220 / \sqrt{0,34^2 + 2,23^2} = 98,4 \text{ А}.$$

$I_2'(s)$ электрмеханикалық сипаттамасын есептеу үшін (5.3) формуласы-
на параметрлердің табылған мәндерін қоямыз:

$$I_2' = U_{1\phi} / \sqrt{(R_c + R_2'/s)^2 + x_{\kappa}^2} = 220 / \sqrt{(0,34 + 0,89/s)^2 + 2,23^2}$$

Механикалық сипаттаманы есептеу үшін алдымен номиналды режим
мен сыни моменттің координаталарын анықтаймыз:

$$\omega_{\text{ном}} = \pi n_{\text{ном}} / 30 = 3,14 \cdot 945 / 30 = 99 \text{ рад/с};$$

$$s_{\text{ном}} = (\omega_0 - \omega_{\text{ном}}) / \omega_0 = (104,8 - 99) / 104,8 = 0,07;$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 17\,500 / 99 = 177 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_{\kappa} = \lambda_{\text{м}} M_{\text{ном}} = 2,5 \cdot 177 = 442 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{\kappa} = R_p' / \sqrt{R_c^2 + x_{\kappa}^2} = 0,89 / \sqrt{0,34^2 + 2,23^2} = 0,4; a = R_c + R_2' = 0,34 + 0,89 = 0,34.$$

Шыққан мәндерді (5.11)-ге қойып, мынадай есептеу формуласын
аламыз:

$$M = 2M_{\kappa} (1 + as_{\kappa}) / (s/s_{\kappa} + s_{\kappa}/s + 2as_{\kappa}) = 1018 / (s/0,4 + 0,4/s + 0,3).$$

s жылжуын бере отырып, ток пен моменттің мәндерін есептейміз:

s	— 3	— 2,6	0	0,07	0,2	0,4	1	1,5
ω , рад/с	419,2	337	157,2	104,8	99	62,9	0	— 52,4
I_2' , А	99,4	99,5	83,4	0	16,6	64,7	87,1	91,8
M , Н·м	120	— 160	— 582	0	177	442	316	234

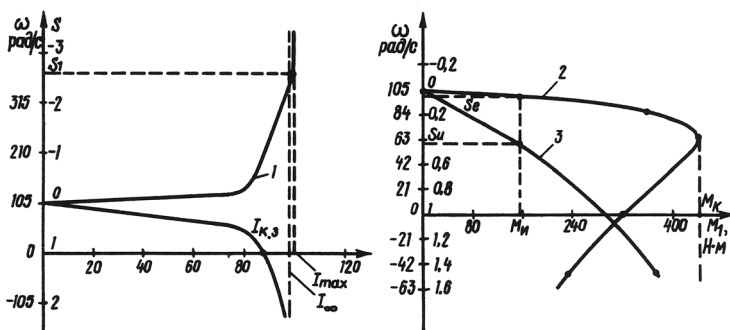
Шыққан деректерді қолдана отырып, табиғи I электрмеханикалық
және 2 механикалық сипаттамаларды құрамыз (5.5-сур.).

5.2* есеп. 4А160S типті қысқа тұйықталған роторы бар АҚкелесі
паспорттық деректерге ие: $P_{\text{ном}} = 15 \text{ кВт}$; $n_{\text{ном}} = 1465 \text{ об/мин}$; $I_{1\text{ном}} = 29,3 \text{ А}$;
 $\lambda_{\text{м}} = M_{\kappa} / M_{\text{ном}} = 2,3$; $\lambda_1 = I_{1\text{п}} / I_{1\text{ном}} = 7$; $p = 2$; $f_{1\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$; $U_{1\text{ном}} = 380 \text{ В}$.

табиғи механикалық сипаттамасын есептеу.

Номиналды бұрыш жылдамдығын анықтаймыз:

$$\omega_{\text{ном}} = 2\pi n_{\text{ном}} / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1465 / 60 = 153 \text{ рад/с}.$$



5.5 – сурет

Мінсіз бос жүрістің жылдамдығын, номиналды момент пен жылжуды анықтаймыз:

$$\omega_0 = 2\pi f_1/p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50/2 = 157 \text{ рад/с};$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/\omega_{\text{ном}} = 15\,000/153 = 98 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_{\text{ном}} = (\omega_0 - \omega_{\text{ном}})/\omega_0 = (157 - 153)/157 = 0,025.$$

Шыққан деректер номиналды $(\omega_{\text{ном}}, M_{\text{ном}})$ және бос жүрістің $(\omega_0, 0)$ екі нүктесі бойынша АҚ механикалық сипаттамасының жұмыс участогын жуық құру үшін жеткілікті. Толық механикалық сипаттама алу үшін есептеуді жалғастырамыз.

АҚ сыни моментін анықтаймыз:

$$M_{\text{к}} = \lambda_{\text{м ном}} - 2,3 \cdot 98 = 225 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

және (5.15) формуласы бойынша АҚ сыни жылжуын анықтаймыз (« + » белгісін қабылдап):

$$s_{\text{к}} = s_{\text{ном}} [\lambda_{\text{м}} + \sqrt{\lambda_{\text{н}}^2 - 1}] = 0,025 [2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}] = 0,11.$$

Табылған мәндерді (5.12) формуласына қойып, моменттің аламыз:

$$M = 2M_{\text{к}}/(s/s_{\text{к}} + s_{\text{к}}/s) = 2 \cdot 225/(s/0,11 + 0,11/s).$$

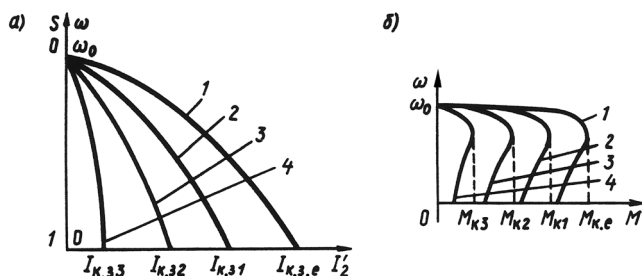
s	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,11	0
ω , рад/с	0	31,4	62,8	94,2	126	151	157
M , Н·м,	48,9	60,7	79,8	115	190	225	0

Шыққан деректер бойынша $M(s)$ және $M(\omega)$ ізделіп отырған тәуелділіктерін құрамыз (5.5-сур. 2-қисық).

5.2. РЕЗИСТОРЛАРДЫҢ КӨМЕГІМЕН АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТ-ҚЫШТЫҢ КООРДИНАТАЛАРЫН РЕТТЕУ

Көбіне реостатты деп аталатын координаталарды реттеудің осы тәсілі АҚ статорлық немесе роторлық тізбектеріне қосалқы белсенді резисторларды енгізу арқылы жүзеге асырылады (5.1-сур. қараңыз). Ол оны іске асырудың қарапайымдылығымен тартымды, бірақ сонымен бірге реттеу сапасы мен үнемділіктің аса жоғары емес мәндеріне ие.

Статор тізбегіне $R_{1д}$ қосалқы резисторларын енгізу ең алдымен өтпелі процестерде қысқа тұйықталған роторы бар АҚ тогы мен моментін реттеу (шектеу) үшін қолданылады. (5.3) формуласынан байқағанымыздай, резисторды статор тізбегіне жалғау осы жылдамдықта (жылжуда) статор мен ротор тогының төмендеуіне әкеледі. Басқа сөзбен айтсақ, барлық жасанды электрмеханикалық сипаттамалар бірінші квадрантта табиғидан төмен және солға қарай орналасады. $R_{1д}$ қосқанда ω_0 мінсіз бос жүрісінің жылдамдығы өзгермейтінін ескерсек, шығатын электрмеханикалық сипаттамаларды $R_{1д} = 0$ болғанда құрылған 1 табиғи сипаттамадан төмен орналасқан 2...4 қисықтар тобымен көрсетуге болады, бұл ретте жасанды сипаттамалардың үлкен көлбеуі $R_{1д}$ үлкен мәніне сәйкес келеді (5.6, а сур.). Осы сипаттамалардың практикалық құндылығы іске қосуда АҚ токтарын шектеу мүмкіндігін қамтамасыз етуден тұрады.



5.6 – сурет

Жасанды механикалық сипаттама алу үшін $R_{1д}$ -дің олардың өзіндік нүктелерінің координаталарына әсерін талдаймыз.

$\omega_0 = 2\pi f_1 / p$ бос жүріс жылдамдығы $R_{1д} = \text{var}$ болғанда өзгермейді, яғни барлық жасанды сипаттамалар жылдамдық (жылжу) осінің осы нүктесі арқылы өтеді.

M_k және s_k экстремумы нүктесінің координаталары $R_{1д}$ түрленгенде өзгереді, атап айтсақ: (5.9) және (5.10) сәйкес $R_{1д}$ ұлғайғанда сыни момент мен сыни жылжу азаяды. $s=1$ болғанда (5.8) формуласымен анықталатын іске қосу моменті де азаяды. Жүргізілген талдау $R_{1д} = \text{var}$ болғанда 2...4 жасанды механикалық сипаттамаларын 5.6, б сур. көрсетілген түрде

ұсынуға мүмкіндік береді. Мұндай сипаттамалар қажет болғанда өтпелі процестерде АҚ, соның ішінде іске қосу моментін төмендету үшін қолданыла алады. Сонымен бірге осы жасанды сипаттамалар АҚ жылдамдығын реттеу үшін аса жарамсыз, себебі олар оны өзгертудің аздаған диапазонын қамтамасыз етеді; $R_{1д}$ ұлғаю шамасына қарай сипаттамалардың қатандығы мен сыни моментпен сипатталатын АҚ жүкті ауыстырып тиеу қабілеті төмендейді; тәсіл төмен үнемділікке ие.

Осы кемшіліктеріне байланысты статор тізбегіндегі белсенді резисторлардың көмегімен АҚ жылдамдығын реттеу сирек қолданылады. Бұл тәсіл әдетте әртүрлі өтпелі процестерде – іске қосуда, реверсте және тежеуде қысқа тұйықталған роторы бар АҚ токтары мен моменттерін шектеу үшін қолданылады. Мысалы, мұндай схема екі жылдамдықты АҚ бар лифтітер ЭЖ қолданылады. Осындай ЭЖ жоғары жылдамдықтан статордың жылдамдығы төмен орамының тізбегіне төмендетілген жылдамдыққа ауысқанда АҚ тогы мен моментінің шектелуін қамтамасыз ететін қосалқы резисторлар енгізіледі. Кейбір ЭЖ ток пен моментті шектеу бір фазаға $R_{1д}$ қосу арқылы жүзеге асырылатынын атап өтейік (аталмыш симметриялық емес схемалар), бұл резисторлардың аз санында ток пен моментті азайту әсерін алуға мүмкіндік береді.

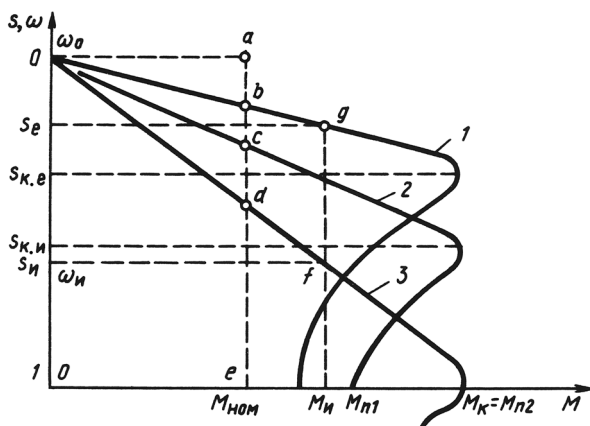
Ротор тізбегіне $R_{2д}$ қосалқы резисторларын енгізу (5.1, а сур. схеманы қараңыз) фазалы роторы бар АҚ тогы мен моментін реттеу, сондай-ақ оның жылдамдығын реттеу мақсатында қолданылады.

$R_{2д} = \text{var}$ болғандағы жасанды электрмеханикалық сипаттамалар 5.6, а сур. көрсетілген түрге ие болады және іске қосу тогын реттеу (шектеу) үшін қолданылуы мүмкін.

Бұл жағдайда жасанды механикалық сипаттамаларды құру үшін олардың өзіндік нүктелеріне талдау жүргізеді. (5.9) сәйкес АҚ мінсіз бос жүрісінің жылдамдығы мен оның ең жоғары (сыни) моменті $R_{2д}$ реттеуде өзгеріссіз қалады, ал (5.10) байқағанымыздай сыни жылжу осы резистордың кедергісіне пропорционал түрде өзгереді.

Орындалған талдау 1 табиғи ($R_{2д} = 0$) және 2 және 3 жасанды ($R_{2д3} > R_{2д2}$) сипаттамаларын құруға (5.7 сур.) және $R_{2д}$ өзгеруінің есебінен АҚ іске қосу моментін бір уақытта іске қосу тогын төмендеткен M_{κ} сыни мәніне дейін жоғарылатуға болатыны туралы тұжырым жасауға мүмкіндік береді. Бұл қозғалтқыштың жүкті ауыстырып тиеу қабілетін сақтауға мүмкіндік береді, бұл оның жылдамдығын реттеуде аса маңызды.

Қарастырылатын әдіс келесі көрсеткіштерге ие: сипаттамалар қаттылығының төмендеуіне және ұлғаюына қарай энергия шығынының өсуіне байланысты жылдамдықты реттеудің шағын диапазоны; тек негізгіден төменге қарай өзгертін жылдамдықты реттеу баяулығы,-



5.7 – сурет

$R_{2д}$ қосалқы резисторының өзгеру баяулығымен анықталады; осы ЭЖ жүйесін құруға байланысты аздаған шығындар, себебі әдетте реттеу үшін металл резисторлардың қарапайым және арзан жәшіктері қолданылады. Сонымен бірге эксплуатациялық шығындар біршама болады, себебі АҚ энергия шығындары ауқымды.

s (5.5) жылжуының ұлғаюына байланысты ротор тізбегіндегі шығындар артады, яғни жылдамдықты реттеудің үлкен диапазонын іске асыру едәуір энергия шығындарына және ЭЖ төмендеуіне әкеледі, осыған сәйкес осы тәсіл реттеудің шағын талап етілген диапазонында немесе қозғалтқыштың төмен жылдамдықта қысқамерзімдік жұмыс істеуінде қолданылады, мысалы көтеріп-тасымалдағыш манилар мен механизмдердің ЭЖ.

5.3. РЕТТЕГІШ РЕЗИСТОРЛАРДЫ ЕСЕПТЕУ

Әдетте статор мен ротор тізбектерінде резисторлар есептеу бойынша есеп келесі жолмен тұжырымдалады: қозғалтқыштың паспорттық деректері белгілі; ротордың немесе статордың тізбектеріндегі қосалқы резисторлардың кедергісін есептеу талап етіледі, оларды қосқанда жасанды сипаттамалар сәйкесінше (ω_n, I_n) немесе (ω_n, M_n) координаталы нүктелер арқылы өтеді. Әдетте сипаттамалардың орналасуы жылдамдықты реттеу немесе АҚ іске қосу тогының немесе моментінің талап етілетін (ұйғарынды) мәндерін алу ниеті бойынша беріледі.

Статор тізбегіндегі резисторларды есептеу. Статордың барлық үш фазасына қосалқы резисторды қосу (симметриялық сұлба) іске қосу

Дүркінділігін қамтамасыз етуі тиіс кеңінен таралған есепті қарастырамыз, мұндағы

$I_{\text{лпн}}$, $I_{\text{лпс}}$ және $M_{\text{лпн}}$, $M_{\text{лпс}}$ – сәйкесінше қосалқы резисторды қосқанда және оларсыз АҚ іске қосу токтары мен моменттері.

Есептеу үшін [3] келтірілген әдістемені қолданамыз, ол үшін АҚ іске қосу моментіне сәйкес $z_{\text{к}}$ қысқа тұйықталудың толық кешенді кедергісі ұғымын:

$$z_{\text{к}} = U_{\text{лф}} / \sqrt{3} I_{\text{лпс}} \quad (5.17)$$

сондай-ақ қысқа тұйықталудың белсенді $r_{\text{к}}$ және реактивті $x_{\text{к}}$ кедергілері ұғымдарын енгіземіз, олар мына формула бойынша анықталады

$$r_{\text{к}} = z_{\text{к}} \cos \varphi_{\text{п}} \quad (5.18)$$

$$x_{\text{к}} = \sqrt{z_{\text{к}}^2 - r_{\text{к}}^2} \quad (5.19)$$

мұндағы $\cos \varphi_{\text{п}}$ – оны іске қосу моментіндегі АҚ қуаты коэффициенті.

Сонда α іске қосу тогының немесе μ моментінің белгіленген дүркінділігін алу үшін қосалқы резистордың талап етілген кедергісін мына формула бойынша анықтаймыз

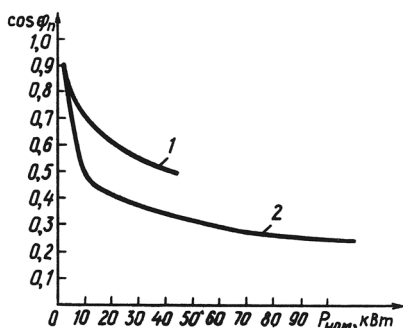
$$R_{\text{лд}} = \sqrt{(z_{\text{к}}/\alpha)^2 - x_{\text{к}}^2} - r_{\text{к}} \quad (5.20)$$

$$R_{\text{лд}} = \sqrt{(z_{\text{к}}/\mu)^2 - x_{\text{к}}^2} - r_{\text{к}} \quad (5.21)$$

(5.18) ... (5.21) формулаларын қолданғанда мәні әдетте анықтама-лықтар мен каталогтарда берілмейтін $\cos \varphi_{\text{п}} = \cos \varphi_{\text{к.з}}$ анықтау негізгі қиындық тудырады. 5.8-сур. асинхронды қозғалтқыштың қуат коэффициентінің қысқа тұйықталу (іске қосу) режиміндегі номиналды қуатына орташаландырылған тәуелділіктері келтірілген, олар әртүрлі айналу жылдамдықтарына арналған 4А (2-қисық) және МТК (1-қисық) сериялы қозғалтқыштардың паспорттық деректері бойынша есептелген. Қысқа тұйықталған роторы бар қозғалтқыштардың 4А сериялары жуық $\cos \varphi_{\text{п}} = 0,3 \dots 0,5$, ал МТК және МТН сериялы АД үшін $\cos \varphi_{\text{п}} = 0,6 \dots 0,7$ қолдануға болады.

Сондай-ақ [3] белгіленген іске қосу тогы мен моментін алу мақсатында статордың бір фазасына қосылатын (симметриялық емес сұлба) қосалқы резисторды есептеу әдісі келтірілген.

Ротор тізбегіндегі резисторларды есептеу. Әдетте қосқанда



5.8 – сурет

АҚ белгіленген жасанды сипаттамаға ие болатын немесе ол (ω_n, M_n) координаталарымен белгіленген нүкте арқылы өтетін $R_{2д}$ қосалқы резисторының кедергісін анықтау қажет болады. Бұл ретте АҚ табиғи механикалық сипаттамасы белгілі (есептелген немесе эксперименттік тәсілмен алынған) екендігі болжанады, ал талап етілетін жасанды сипаттама іске қосу немесе жылдамдықты реттеу шарттары бойынша берілген.

$R_{2д}$ қосалқы резисторының кедергісін есептеу талап етілген жасанды механикалық сипаттаманың нысанына қарай бірнеше тәсілмен орындалуы мүмкін.

Егер жасанды сипаттама толық берілсе және сыни момент нүктесі анықталса (мысалы, 5.7-сур. 2 сипаттама), онда осы жағдайда есептеу (5.10) формуласына негізделеді, оның көмегімен 1 табиғи және 2 жасанды сипаттамалардағы АҚ сыни жылжу қатынасы табылады:

$$s_{к.е}/s_{к.и} = R'_p / (R'_p + R'_{2д1}) = R_p / (R_p + R_{2д1}), \quad (5.22)$$

мұндағы R_p – АД ротор орамы фазасының кедергісі.

(5.22)-ден ізделіп отырған мәнді анықтаймыз

$$R_{2д1} = R_p (s_{к.и}/s_{к.е} - 1). \quad (5.23)$$

(5.23) формуласы тек M_k сыни моменті үшін ғана емес, сонымен бірге M_n кез келген тіркелген моментіне тура. Осылайша, егер M_n, s_n координаталарына ие 3 жасанды сипаттаманың f кейбір нүктесі берілсе (5.7-сур. қараңыз), онда резистордың ізделіп отырған кедергісін мына формула бойынша табуға болады

$$R_{2д2} = R_p (s_n/s_e - 1). \quad (5.24)$$

мұндағы – M_n моментіне сәйкес 1 табиғи сипаттамасындағы АҚ s жылжуы.

Ротор орамы кедергісінің мәнін АҚ паспорттық деректерін қолдана отырып, келесі формула бойынша жуық табуға болады:

$$R_p = E_{2к} s_{ном} / (\sqrt{3} I_{2ном}). \quad (5.25)$$

Егер жасанды сипаттама өзінің жұмыс бөлігімен берілсе, онда резисторларды есептеу үшін ТҚТТҚ-ға қатысты 4-тарауда толық қарастырылған кесінділер әдісін қолдануға болады. 5.7-сур. осындай құрылым орындалған, ол үшін $M_{ном}$ номиналды моментіне сәйкес келетін вертикал сызық жүргізілген және a, b, c, d, e тән нүктелері белгіленген. Онда 2 сипаттаманы алу үшін ізделіп отырған резистордың кедергісі

$$R_{2д1} = R_{ном} bc/ae, \quad (5.26)$$

мұндағы $R_p = E_{2к} s_{ном} / (\sqrt{3} I_{2ном})$ – АҚ номиналды кедергісі; $E_{2к} - s = 1$ болғандағы ротордың ЭДС; $I_{2ном}$ – ротордың номиналды тогы.

Кесінділер әдісінің және 5.7-сур. көмегімен қажет болғанда I табиғи сипаттама бойынша ротор орамы фазасының кедергісін де табуға болады

$$R_p = R_{2ном} ab/ae, \quad (5.27)$$

Фазалы роторы бар АҚ-ға ие ЭЖ үшін үлгілік тапсырма қозғалтқыштың белгіленген іске қосудиаграммасын қамтамасыз етуші ротор тізбегіндегі резисторларды есептеу болып табылатынын еске сала кетейік. Әдетте АҚ іске қосу диаграммасы ТҚТТҚ (4.5-бөлімді, 4.7-сур. қараңыз) ұқсас АҚ механикалық сипаттамаларының жұмыс участогы сызықтыққа жуық деген болжам бойынша құрылады. АҚ іске қосу диаграммасын құрғанда әдетте M_1 моменті (0,8...0,9) M_k аспайтын мөлшерде қабылданады, ал M_2 моменті (1,1... 1,2) M_k құрауы тиіс. m іске қосу диаграммасының сипаттамаларының (сатыларының) саны мен M_1 және M_2 моменттерінің мәндері келесі арақатынас бойынша өзара байланысты:

$$m = \lg(1/s_{ном} M_1) / \lg(M_1/M_2). \quad (5.28)$$

Талап етілген іске қосу диаграммасын қамтамасыз етуші іске қосу резисторларын есептеу (5.24) немесе (5.26) формулаларының көмегімен жүргізіледі.

5.3* есеп. 4А160С типтес АҚ үшін қозғалтқыштың үш фазасына қосу $R_{1д}$ қосалқы резисторының кедергісін есептеу іске қосу тогын екі есеге азайтады ($\alpha = 0,5$).

Статор тізбегінде резисторлар болмағанда АҚ іске қосу тогын анықтаймыз:

$$I_{1п.с} = \lambda_1 I_{1ном} = 7 \cdot 29,3 = 205 \text{ A.}$$

(5.17) формуласы бойынша қысқа тұйықталудың толық кедергісін анықтаймыз:

$$z_k = U_{1ном} / (\sqrt{3} I_{1ном}) = 380 / (1,73 \cdot 205) = 1,08 \text{ Ом.}$$

5.8-сур. бойынша $\cos \varphi_n = 0,4$ қабылдап, (5.18) және (5.19) бойынша мыналарды анықтаймыз:

$$r_k = z_k \cos \varphi_n = 1,08 \cdot 0,4 = 0,43 \text{ Ом;}$$

$$x_k = \sqrt{(z_k^2 - r_k^2)} = \sqrt{1,08^2 - 0,43^2} = 1 \text{ Ом.}$$

Енді (5.20) бойынша ізделіп отырған кедергіні табамыз:

$$R_{1д} = \sqrt{(z_k/\alpha)^2 - x_k^2} - r_k = \sqrt{(1,08/0,5)^2 - 1^2} - 0,43 = 1,5 \text{ Ом.}$$

5.4* есеп. МТН-312-6типіті АҚ үшін (5.1 есепті қараңыз) ротор тізбегіне қосқанда механикалық сипаттамасы $\omega_{\text{н}} = 0,6 \omega_{\text{ном}}$, $M_{\text{н}} = 0,9 M_{\text{ном}}$ координаталы нүкте арқылы өтетін $R_{2\text{д}}$ қосалқы кедергісін есептеу. Осы жасанды сипаттаманы есептеу және құру.

Номиналды нүкте координаталарын қолдану арқылы белгіленген нүктенің координаталарын есептейміз (5.1 есептейміз):

$$\omega_{\text{н}} = 0,6 \omega_{\text{ном}} = 0,6 \cdot 99 = 59,4 \text{ рад/с};$$

$$s_{\text{н}} = (\omega_0 - \omega_{\text{н}}) / \omega_0 = (104,8 - 59,4) / 104,8 = 0,43;$$

$$M_{\text{н}} = 0,9 M_{\text{ном}} = 0,9 \cdot 177 = 159 \text{ Н·м};$$

және оны механикалық сипаттамалардың жазығына түсіреміз (5.5-сур. қараңыз).

$M_{\text{н}} = 159 \text{ Н·м}$ моменті үшін 0,06 тең болатын 2 жасанды сипаттамаларда АҚ жұмыс істегендегі $x_{\text{с}}$ жылжуын анықтаймыз.

(5.24) формуласы бойынша талап етілген қосалқы кедергіні анықтаймыз:

$$R'_{2\text{д}} = R'_p (s_{\text{н}} / s_{\text{с}} - 1) = 0,89(0,43/0,06 - 1) = 5,5 \text{ Ом}.$$

Қосалқы кедергіні енгізгендегі және 3 жасанды сипаттамадағы АҚ жұмысындағы сыни жылжу

$$s_{\text{к.и}} = (R'_{2\text{д}} + R'_p) / \sqrt{R_{\text{с}}^2 + x_{\text{к}}^2} = (0,89 + 5,5) / \sqrt{0,34^2 + 2,23^2} = 2,83,$$

(5.9) сәйкес жасанды сипаттамадағы сыни момент өзгермейді: $M_{\text{к}} = 442 \text{ Н·м}$. $s_{\text{к.и}}$, $M_{\text{к}}$ және $a = R_1 / R_2' = 0,34/6,39 = 0,05$ жаңа мәнін (5.11) қойып, механикалық сипаттамаға арналған келесі есептеу формуласын аламыз:

$$M = 2 \cdot 442(1 + 0,05 \cdot 2,83) / (s/2,83 + 2,83/s + 2 \cdot 0,05 \cdot 2,83).$$

s жылжуының бірқатар мәндерін бере отырып, АҚ жылдамдығы мен моментін анықтаймыз:

s	0	0,43	0,6	0,8	1	2,83
ω , рад/с	104,8	59,4	41,9	21	0	-192
M , Н·м	0	159	194	246	291	442

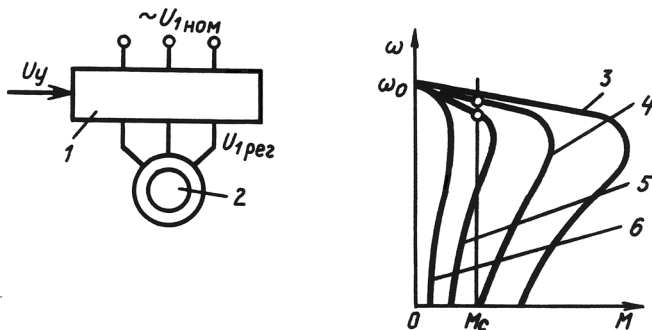
5.5 есеп. 4А 160Стипіті АҚ үшін (5.2 есепті қараңыз) $R_{2\text{д}}$ резистрының кедергісін есептеу, оны статор тізбегіне қосу іске қосу моментінің 20%-ға төмендеуін қамтамасыз етеді ($\mu = 0,8$).

5.6 есеп. МТН-312-6 типті АҚ үшін (5.1 есепті қараңыз) $R_{2\text{д}}$ кедергісін есептеу, оны ротор тізбегіне қосу қозғалтқыштың сыниға тең іске қосу моментін алуға мүмкіндік береді.

5.7 есеп. МТН-312-6 типті АҚ үшін (5.1 есепті қараңыз) іске қосу диаграммасын құру және $M_{\text{с}} = M_{\text{ном}}$ болғанда ($m = 2$) екі сатысында АҚ іске қосуды қамтамасыз етуші іске қосу резисторларының кедергісін есептеу. АҚ механикалық сипаттамаларының жұмыс участогы сызықтық деп қабылданын.

5.4. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫ БАР ЭЛЕКТРЖЕТЕКТІҢ КООРДИНАТТАРЫН КЕРНЕУДІ ӨЗГЕРТУМЕН РЕТТЕУ

АҚ статорына берілетін кернеудің өзгерісі, оның координаттарын статикалық және динамикалық режимдерде жақсы көрсеткіштермен және өте оңай басқару сұлбаларының көмегімен (5.9 сур.) жүзеге асыруға, сондай-ақ үнемді жұмыс режимдерін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді



5.9 – сурет

АҚ координаттарын реттеу мақсатында, стандартты кернеулі айнымалы ток желісі $U_{1ном}$ мен қозғалтқыш статоры 2 арасында кернеу реттегіш I жалғанған, оның шықпалық кернеуі $U_{1рег}$ қуаты төмен сыртқы басқару сигналының U_y көмегімен желілік кернеудің $U_{1ном}$ мәнінен нөлге дейін өзгереді. Сонымен қатар, қозғалтқыштағы кернеудің жиілігі өзгермей, стандартты кернеуге тең болады (50 Гц).

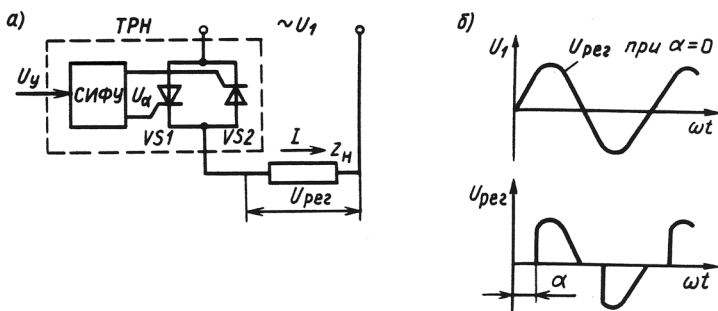
Статордағы кернеу бос жүріс жылдамдығын $\omega_0 = 2\pi f/p$ өзгертпейді, сондай-ақ қауіпті жылжуға s_k әсер етпейді, дегенмен критикалық моментті M_k айтарлықтай өзгертеді. (5.9) суретіне сәйкес, M_k азаюы кернеудің кему квадратына пропорционалды түрде жүреді. Нәтижесінде, $U_{1рег} = \text{var}$ болғанда, (1; 0,8; 0,6 және 0,4) $U_{1ном}$ кернеулерінде құрылған 3-6 жасанды сипаттамалары жылдамдықты реттеуге жарамсыздау болып қалады, себебі кернеу азайған сайын АҚ сындық моменті мен оның асқын жүктемелік қабілеті күрт төмендей бастайды, ал жылдамдықты реттеу диапазоны өте шағын. 5.9 суретінде бейнеленген тұйықталмаған сұлба өтпелі процестерде АҚ моментіне әсер ету үшін ғана қолданылады, бұл, мәселен, ЭЖ-тің қойылған жылдамдығын үдету үшін немесе жұмыс машинасының атқарушы органындағы керілісті реттеу үшін қажет болуы мүмкін.

Сонымен қатар, кернеудің өзгеруі (5.3) суретіне сәйкес АҚ тоқтың өтпелі режимдерінде реттеуді (шектеуді) жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл ретте электрмеханикалық сипаттамалар 5.6, а суретінде бейнеленген кысықтар түрінде болады.

АҚ статорындағы кернеуді реттеуге әр түрлі электртехникалық құрылғылар – автотрансформаторлар, магниттік күшейткіштер, сондай-ақ тиристорлық кернеу реттегіштер (ТКР) қолданылады, қазіргі таңда тиристорлық кернеу реттегіштер өзінің жоғары ПӘК-і мен қызмет көрсету жеңілдігі, сонымен қатар ЭЖ жұмысын автоматтандырудың қарапайымдылығы, өнеркәсіптерден шығарылып жатқан кең көлемді ассортиментінің арқасында кеңінен таралуда. ТКР – ЭЖ мен АҚ жұмыс режимдерін басқару және оңтайландыруға қатысты алуан түрлі қызметтерді орындауға мүмкіндік туғызады; олардың негізінде ЭЖ динамикалық сипаттамаларын тиісті деңгейде қалыптастыруға көмектесетін құрылғылар құрылады, сондай-ақ, олар АҚ жұмыс режимін аз жүктелімде ең жақсы энергетикалық көрсеткіштермен жүзеге асыруға көмектеседі.

ТКР әрекет ету принципін және оны қолдануға негізделген кең тараған «тиристорлық кернеу реттегіш – асинхронды қозғалтқыш» (ТКР – АҚ) жүйесін қарастырып өтейік.

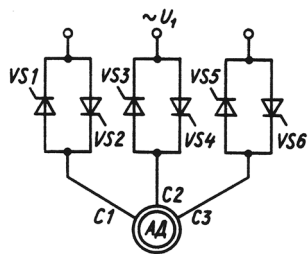
5.10, а суретінде z_H айнымалы тогының бір фазалы жүктеліміндегі кернеуді реттеу схемасы көрсетілген. Бір фазалы ТКР-нің күш беретін бөлігі екі тиристор – VS1 және VS2 арқылы құралған, олар U1 жүйе кернеуінің екі жартылай периодында да жүктелімде тоқтың ағып өтуін қамтамасыз ететін қарама-қарсы параллельді схема арқылы қосылған. Тиристорлар U_a басқару импульстарын ИФБЖ-дан алады, ИФБЖ U_y сыртқы басқару сигналында олардың α басқару бұрышына ығысуын қамтамасыз етеді.



5.10 – сурет

Егер де VS1 және VS2 тиристорларына ИФБЖ-дан басқару импульстары берілмесе, онда олар жабық болады да, U_{per} жүктемесіндегі кернеу нөлге тең болдаы.

Тиристорларға басқару импульстары берілгенде, олар толығымен ашық болады, және жүктемеге желінің барлық кернеуі $U = U_{\text{сг}}$ қосылады (5.10, б сур. қараңыз). Егер де тиристорларға басқару импульстары шектік режимге қатысты аз ғана кешігумен берілетін болса ($\alpha \neq 0$ басқару бұрышы), онда жүктемеге желі кернеуінің бір бөлігі қосылады. α басқару бұрышын нөлден π -ға дейін өзгертіп, жүктемедегі кернеуді желінің толық кернеуінен нөлге дейін реттеуге болады.

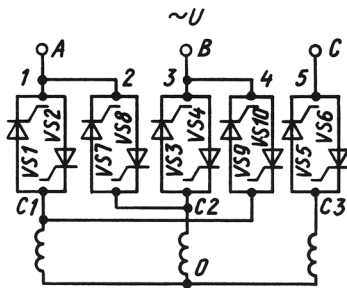


5.11 – сурет

5.10, а суретінде көрсетілген бір фазалы сұлбаның негізінде, АҚ статорындағы кернеуді реттеуге арналған үш фазалы сұлбалар жұмыс істейді, олар алты тиристордан $VS1 \dots VS6$ құралады (5.11 сур.). Мұндай сұлбаларда қарама-қарсы параллель қосылған тиристорлар жұбының орнына, симистор атты шалаөткізгішті аспап қолданылуы мүмкін, бұл аспап токтың қозғалтқыш фазасында екі бағытта ағып өтуін қамтамасыз етеді, сондай-ақ оның әрекет ету принципі тиристордыкімен бірдей. Симисторды қолдану арқылы, қолданылатын электрондық аспаптар санын екі есеге қысқартып, ИФБЖ сұлбасын жеңілдетуге болады.

Жүктемедегі кернеудің бейсинусоидты екенін атап өткен жөн, оны бірнеше синусоидты кернеулер – гармоникалардың жиынтығы түрінде бейнелеуге болады, олардың әрқайсысы белгілі бір жиілікпен өзгереді. Олардың біріншісінің (негізгі гармоника) өзгеру жиілігі қоректендіруші кернеу жиілігіне тең, ал басқа гармоникалардың өзгеру жиілігі біріншісіне қарағанда үлкен. Әдетте, бірінші гармониканың амплитудасы ең үлкен болады да, барлық негізгі есептеулер сол арқылы жүргізіледі.

Қозғалтқыштың координаттарын реттеуден бөлек, ТКР оның жылдамдығының бағытын да, яғни реверсті өзгертуге мүмкіндік береді. 5.12 суретінде қарама-қарсы параллель қосылған бес жұп тиристорларда $VS1 \dots VS10$ АҚ-ны басқарудың реверсті сұлбасы бейнеленген. Егер де ИФБЖ-ның басқару сигналдарын 1, 3 және 5 жұптарына жіберсе, онда АҚ статорындағы қоректендіруші кернеу АВС желі фазаларының реттілігімен жүреді де, қозғалтқыш бір бағытта айналады. Егер де басқару сигналдарын 2, 4 және 5 тиристор жұптарына жіберіп, ал 1 және 3 тиристор жұптарынан сигналдарды алып тастаса, онда АҚ статорының $C1, C2, C3$ шығыстарында желі кернеуінің фазаларының реттілігі ВАС болып өзгереді, бұл ретте магниттік өріс жылдамдығының бағыты және сәйкесінше АҚ роторының бағыты керісінше бағытқа өзгереді.



5.12 – сурет

ТКР-тің АҚ-ты басқаруға қатысты функционалды мүмкіндіктері мұнымен шектелмейді. Олардың көмегімен АҚ-тың мәжбүрлі электрлік тежелуін, ЭЖ-тің өтпелі режимдердегі қажеті динамикалық сипаттамаларын құруды, АҚ айнымалы жүктемеде жұмыс істегенде, оның режимдерін үнемді етуді қамтамасыз етуге болады. Қарастырылған ТКР сұлбаларының негізінде, АҚ-тың іске қосылуына, кері қимылына және тежелуіне қажетті тиристорлық реверсті және реверссіз түйістіргіштер(іске қосқыштар) жүзеге асырылады.

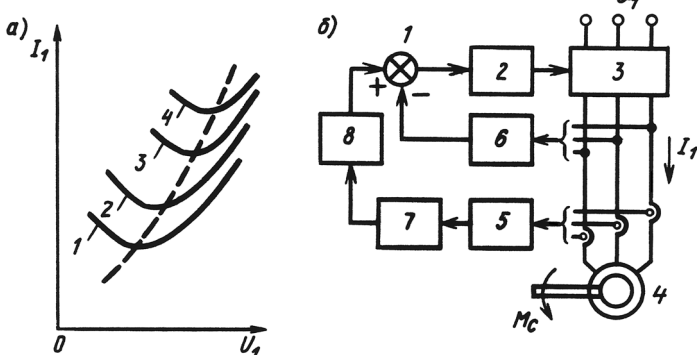
5.5. АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕК ЖҰМЫСЫНЫҢ ҮНЕМДІЛІГІН КЕРНЕУ РЕТТЕГІШТІҢ КӨМЕГІМЕН АРТТЫРУ

Аз жүктемеде асинхронды қозғалтқыштың ПӘК-і мен қуат коэффициенті төмендейтіндіктен, оның жұмысының экономикалық көрсеткіштері нашарлайтыны бізге электр машиналарының теориясынан мәлім.

АҚ статорындағы кернеуді оның кему бағытына қарай реттеу – азғантай механикалық жүктемелерде және ЭЖ-тің бос жүрісінде оның жұмыс үнемділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Кәсіпорындар мен коммуналды шаруашылықтарда асинхронды ЭЖ-тердің саны көп болғандықтан, кернеулердің энергетикалық көрсеткіштерін арттыру мақсатында, оларды реттеудің әсері оразан зор болуы мүмкін.

АҚ тұтынатын ток барынша ықшамдалып, ондағы электр қуатының шығыны қысқартылатын ЭЖ-нің құрылу принципін қарастырып өтейік. Ол үшін I статор тогының M_c жүктеменің әр түрлі моменттеріндегі U кернеуіне тәуелділіктеріне (5.13, а сур.) сүйенеміз. $M_{c1} < M_{c2} < M_{c3} < M_{c4}$ сәйкес құрылған 1... 4 графиктерінде бейнеленгендей, әр моментке АҚ-тың желіден тұтынатын тогы минималды болатындай кернеу қолданылады.



5.13 – сурет

Әр жүктемеге арналған ток минимумдарының нүктелері арқылы тартылған штрих сызығы кернеуді ток функциясында реттеу заңын анықтайды, бұл заң орындалғанда, кез келген M_c жағдайында желіден минималды ток тұтынылады.

Қозғалтқыш тұтынып отыратын токты ықшамдайтын ЭЖ сұлбасы 5.13, б суретінде бейнеленген. Оның құрамына қозғалтқыш 4, кернеу реттегіш 3 пен ИФБЖ 2, ток 5 пен кернеу датчиктері 6, функционалды түрлендіргіш 7, инерциялық буын 8 мен салыстыру элементі I кіреді.

ЭЖ-ті басқаруға қажетті заң токтың бойымен жүргізілетін оң кері байланыстың көмегімен жүзеге асырылады. Үш фазалы датчик 5 токқа пропорционал сигналды өндіреді де, сигнал функционалды түрлендіргіштің 7 кірісіне келіп жетеді, функционалды түрлендіргіш АҚ-тағы кернеу мен оның білігіндегі жүктеме моменті арасындағы қажетті тәуелділікті (5.13, а суретіндегі штрих сызық) қамтамасыз етеді. Сұлбада кернеу арқылы жүргізілген қосалқы теріс кері байланыс қолданылған (буын 8), оның көмегімен өтпелі процестердің тиісті сапасы қамтамасыз етіледі. Электр қуатының жұмсалыу көлемін ықшамдаудан бөлек, мұндай схемада қарапайым құралдармен асинхронды ЭЖ-тің ПӘК-і мен қуат коэффициентін арттыруға болады.

Теориялық есептеулер мен тәжірибелік деректердің қорытындыларына сүйенсек, статордағы кернеуді реттеу арқылы, ЭЖ-тің энергетикалық көрсеткіштерін бірнеше пайызға дейін арттыруға болады, мұндай тәсіл асинхронды қозғалтқыштарды кеңінен қолданғанда көлемді экономикалық тиімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді.

5.6. ҚОРЕКТЕНДІРУШІ КЕРНЕУДІҢ ЖИІЛІГІН ӨЗГЕРТУ АРҚЫЛЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ

Кей кездері *жиіліктік* деп аталатын бұл тәсіл қазіргі таңда кең қолданысқа ие, және ол бірінші кезекте, АҚ жылдамдығын сапалы түрде реттеу үшін қолданылады. Оның принципі АҚ-ты қоректендіретін кернеудің f жиілігін өзгерте отырып, $\omega_0 = 2\pi f/p$ өрнегіне сәйкес оның жылдамдығын өзгертіп, әр түрлі жасанды сипаттамаларды алуға негізделген. Бұл тәсіл жылдамдықты кең диапазонда бірқалыпты реттеуге көмектеседі, ал соның нәтижесінде алынатын сипаттамалар жоғары қатаңдыққа ие болады. Сонымен қатар, жиіліктік тәсіл тағы бір аса маңызды қасиетімен ерекшеленеді: бұл жағдайда АҚ жылдамдығын реттеу оның жылжуын арттырмай жүргізіледі, сондықтан (5.5) бойынша анықталатын қуат шығыны аса көп болмайды.

АҚ-ты тиімді пайдаланып, оның жұмысының жоғары энергетикалық көрсеткіштеріне (қуат коэффициенті, пайдалы әрекет пен асқын

жүктемелік қабілеті) қол жеткізу үшін жиілікпен бірге, оған берілетін кернеуді де өзгерту қажет. Бұл ретте, кернеу өзгеруінің тиімді заңы M_c жүктеме моментіне тәуелді болады. Осылайша, жүктеменің тұрақты моментінде $M_c = \text{const}$ статордағы кернеу оның жиілігіне пропорционалды реттелуі керек

$$U_1/f_1 = \text{const.} \quad (5.29)$$

Жүктеме моментінің вентиляторлық (желдеткішті) сипатының (5.29) қатынасы төмендегідей болады

$$U_1/f_1^2 = \text{const}, \quad (5.30)$$

ал жүктеме моментінде жылдамдыққа кері пропорционал болады,

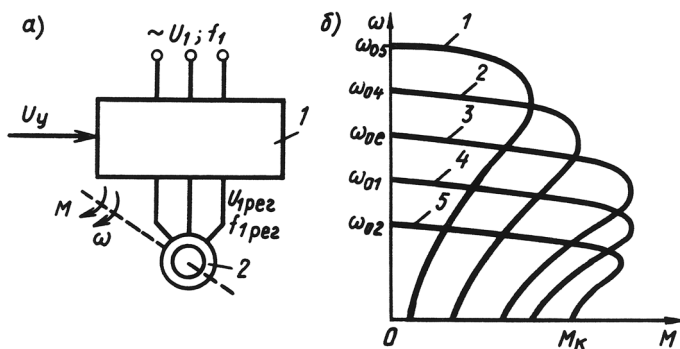
$$U_1/\sqrt{f_1} = \text{const.} \quad (5.31)$$

Осылайша, АҚ жылдамдығын жиіліктік тәсілмен реттегенде, жиілікті түрлендіргіш қолданылады, сонымен қатар, ол оның статорындағы кернеуді де реттеуге көмектеседі.

Тәжірибе жүзінде (5.29) – (5.31) өрнектеріне қарағанда әлдеқайда күрделі жиілікті басқару заңдары, әсіресе статордың белсенді кедергісінің болуын ескеретін заңдар қолданылатынын атап өткен жөн

АҚ-ты қосу сұлбасы және оның жиілікті өзгерткендегі сипаттамалары (5.14 сур.). ЭЖ-ке қажетті элемент – жиілікті және кернеуді I түрлендіргіш болып табылады (әрі қарай ЖТ белгісі қолданылады), оның кірісіне $f_1 = 50$ Гц өндірістік жиіліктің стандартты желілік кернеуі U_1 (220, 380 В және т.б.) беріледі, ал шығысынан $f_{1\text{per}}$ реттелетін жиіліктің айнымалы кернеуі $U_{1\text{per}}$ алынады (5.14, а сур. қараңыз). U_1/f_1 қатынастары (5.29)... (5.31) формулаларымен анықталады.

Шығу жиілігі мен кернеуін реттеу U басқарушы сигналының көмегімен орындалады, ол қозғалтқыш 2 жылдамдығының қажетті мәнін береді.



5.14 – сурет

Қозғалтқышты ең кең тараған заң $U_1/f_1 = \text{const}$ бойынша басқарып, оның механикалық сипаттамаларын талдағанда, қозғалтқыштың бос жүрісінің мінсіз жылдамдығы кернеу жиілігіне пропорционалды өзгеріп, ал M_k сындық моменті сол күйде қалатыны анықталды, оны (5.13) ықшамдалған өрнегінен көре аламыз. Демек, $\omega_0 \sim f_1$ және $x_k \sim f_1$ болғанда, критикалық момент $M_k \sim U_1^2/f_1 \sim U_1/f_1^2 = \text{const}$ болады.

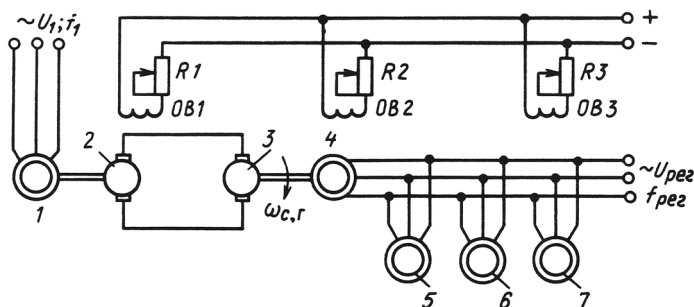
Жиіліктік реттеу барысындағы механикалық сипаттамалар (5.14, б сур. қараңыз) номиналдыдан (желілік) төмен $f_{1\text{ном}}$ және одан жоғары жиіліктерге сәйкес келетін сипаттамаларға бөлінеді.

$f_1 < f_{1\text{ном}}$ жиіліктер аймағы. Бұл аймақта $f_{13} = f_{1\text{но}}$ $M > f_{14} > f_{15}$ (3-5 сипаттамалары) жиіліктері үшін $U_1/f_1 = \text{const}$ қатынасы орындалады, себебі АҚ-қа берілетін кернеу номиналдыдан (желілік) кему бағытына қарай реттеледі. Сондықтан $M_k = \text{const}$ мен АҚ тұрақты асқын жүктемелік қабілетке ие болады. Атап өтерлік жайт, (5.13) формуласын шығарарда ескерілмеген R_k кедергісінің әсерінен M_k моменті АҚ-ның төмен жылдамдықтары аймағында біраз кемиді, сол себепті $M_k = \text{const}$ сақтап тұру үшін, кернеу төмен жиілікте оған пропорционалды түрде емес, одан бірнеше деңгейге төменірек кемуі керек.

$f_1 > f_{1\text{ном}}$ жиіліктер аймағы. АҚ-тың қалыпты жұмысының шарттары бойынша, кернеуді номиналдыдан (төлқұжаттық) асыруға болмайды. Сондықтан бұл аймақтағы жылдамдықты реттеу $U_1 = U_{1\text{ном}} = \text{const}$ (f_{11} және f_{12} жиіліктеріндегі 1 және 2 сипаттамалары) бойынша жүргізіледі, яғни критикалық момент M_k (5.13)-ке сәйкес $f_{11} > f_{12} > f_{1\text{ном}}$ жиілігі артқан сайын кемитін болады.

ЖТ-тің әрекет ету принципі. Жиіліктік асинхронды ЭЖ-терде кеңінен қолданылатын алуан түрлі ЖТ-терді құрылымы мен пайдаланылатын техникалық құралдарына қарай екі топқа бөлуге болады.

Бірінші топты *электрмашиналық айналмалы ЖТ-тар* құрайды, оларда айнымалы жиілікті алу үшін қарапайым немесе электрлік машиналар қолданылады. 5.15 суретінде синхронды генераторы 4 бар ЖТ сұлбасы бейнеленген, одан үш асинхронды қозғалтқыш 5...7 қоректенеді.



5.15 – сурет

Түрлендіргіш екі бөліктен тұрады: тұрақты жылдамдық агрегаты, оның құрамына асинхронды қозғалтқыш 1 (оның орнына қозғалтқыштың кез келген түрі қолданылуы мүмкін) пен соның көмегімен айналатын тұрақты ток генераторы 2 кіреді, және айнымалы жылдамдық агрегаты, ол тұрақты токтың реттелетін қозғалтқышы 3 мен оны айналдыратын синхронды айнымалы жиіліктік генераторынан тұрады. Қозғалтқыш 1 жиілігі стандартты $f_1 = 50$ Гц желіден қоректенеді, ал синхронды генератордың шығыстарында 4 жиілік пен кернеу реттелуі мүмкін. Резистордың R_1 көмегімен генераторды 2 қоздыру орамаларының тізбектеріндегі қозғалтқыштың зәкіріне берілетін кернеу өзгереді, және соның әсерінен оның жылдамдығы мен генератордың 4 жылдамдығы да өзгереді. Бұл ретте синхронды генератордың 4 шығыстарындағы $f_{\text{рег}} = \omega_{\text{сх}} / (2\pi)$ өрнегімен анықталатын кернеу жиілігі өзгереді, демек қозғалтқыштардағы 5... 7 кернеу жиілігі де өзгереді. Бұл қозғалтқыштардағы кернеу синхронды генератордың 4 қоздыру орамаларының тізбегіне қосылған резистордың R_3 көмегімен реттеледі.

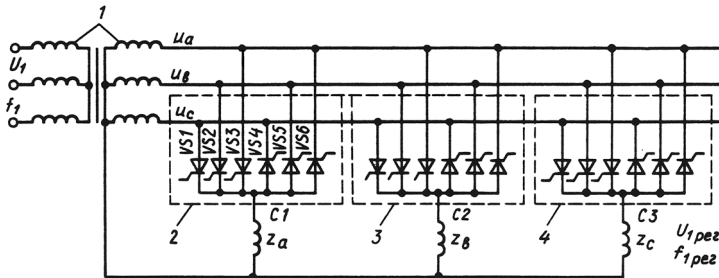
ЖТ-ті қолданып, қозғалтқыштар 5... 7 жылдамдығын кең диапазонда бірқалыпты реттеуге болады, алайда электрмашиналық ЖТ-да жиілікті реттеу процесінде айтарлықтай кемшіліктер бар. Мұндай түрлендіргіштерді жасау үшін төрт электрлік машина қажет, олар тұтынушылардың толық қуатына шамаланған (АҚ топтары) болуы керек, бұл оның қолайсыздығы мен өте жоғары бағасын анықтайды, әсіресе жүктеме қуаты ауқымды болғанда. Қуатты қос (екі есе) түрлендіру – жиілігі $f_1 = 50$ Гц айнымалы ток қуатын тұрақты ток қуатына, содан соң қайта реттелетін жиіліктің айнымалы тогының қуатына түрлендіру – жүйенің төмен ПӘК-ін анықтай отырып, бүкіл тізбек бойындағы қуат шығынымен бірге жүреді. Мәселен, төрт ЖТ электрлік машиналарының 1...4 әрқайсысының ПӘК-і 0,9-ды құраса, онда жалпы ПӘК 0,66-ға тең болады, яғни тұтыналатын қуаттың үштен бір бөлігі желіден жоғалады дегенді білдіреді. Сонымен қатар, тұрақты токтың коллекторлы машиналарын қолдану барысында оларды үздіксіз бақылап, күту керек, әдетте олар жұмыс істегенде қатты шулайды. Және де, электрмашиналық ЖТ-тегі жиіліктің өзгеруі инерциялы, ол электрмашиналық агрегаттың механикалық инерциясымен түсіндіріледі.

Айналмалы ЖТ-тердің электрлік машиналардың қарапайым және арнайы түрлерін қолданған өзге де схемалары кең тараған.

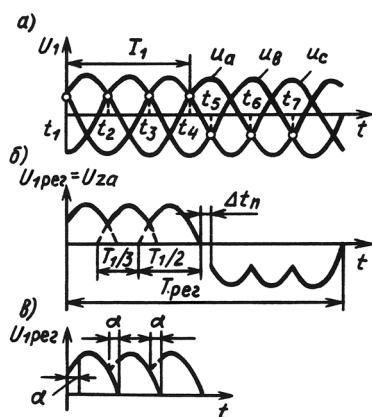
Қазіргі таңда *статикалық ЖТ-тер* кеңінен таралуда, бұлай аталу себебі, оларда жартылай өткізгішті аспаптар, реакторлар, конденсаторлар және т.б. секілді қозғалатын бөлшектері жоқ элементтер мен құрылғылар қолданылады. Статикалық ЖТ-тер, әсіресе, тиристорлар мен күштік транзисторлардың кең көлемде өндірілуіне байланысты тез дами бастады.

5.16 – сурет

Тікелей байланысты тиристорлық үш фазалы ЖТ-тің (ТЖТ) кең тараған сұлбаларының бірі 5.17 суретінде көрсетілген, ол үш бірдей 2, 3, 4 тиристорлар жиынтығынан тұрады, олар АҚ статорының z_a , z_b және z_c орамаларын қорекпен қамтамасыз етеді. Тиристорлар жиынтығына $C1$, $C2$, $C3$ фаза орамаларының бастары жалғанған, ал бұл орамалардың ұштары трансформатордың I нөлдік нүктесіне қосылған. Үш жиынтықтың әрқайсысы алты тиристордан тұрады, олардан үш анод пен үш катодпен трансформатордың I екінші реттік орамаларына жалғанған. Трансформатордың нөлдік нүктесі статордың үш фазалы орамасының ортақ нүктесімен байланыстырылған, сондықтан сұлба нөлдік деп аталады. Бұл сұлбаның әр фазасы басқаларынан дербес жұмыс істейді, сол себепті оның әрекет ету принципін түсіндіру үшін, кез келген бір фазаның



5.17 – сурет



5.18 – сурет

жұмысын, мәселен, $VS1... VS6$ тиристорларының 2 жиынтығымен басқарылатын А фазасының жұмысын қарастыруға болады.

Трансформатордың екінші реттік орамаларындағы фаза кернеулері синусоидалық заң бойынша өзгеріп (5.18, а сур.), жүктеме белсенді сипатқа ие болады деп алайық (егер де АҚ жүктеме болса, онда оның сипаты белсенді-индуктивті болады).

Сондай-ақ, $VS1... VS6$ тиристорлары жабық деп алайық (5.17 сур. караңыз)(оларға басқару блогынан басқарушы импульстер берілмейді). Бұл жағдайда барлық

кернеу трансформатордың шығысынан жабық тиристорларға беріледі де, статордағы кернеу нөлге тең болады.

Енді басқару блогынан $VS1$ тиристорына t_1 уақыт моментінде (5.18 сур, а қараңыз), $VS2$ тиристорына t_2 моментінде және $VS3$ тиристорына t_3 моментінде импульстер берейік. Бұл уақыт моменттерінде тиристорлар анодтарының потенциалдары катодтарға қарағанда аса жоғары болатын-дықтан, олар ашылады да, статор фазасына U_a , U_b және U_c трансформаторларының екінші реттік кернеулерінің үш синусоидтарының аймағына сәйкес кернеу беріледі. $VS1 ... VS3$ тиристорларынан басқарушы импульстарды алып тастап, $VS6$, $VS4$ және $VS5$ тиристорларына t_5 , t_6 және t_7 уақыт моменттерінде импульстер берсе, онда жүктемеде де үш синусоид аймағына сәйкес, бірақ полярлығы қарама-қарсы кернеу пайда болады. $VS1... VS3$ және $VS4... VS6$ тиристорлар тобын 5.18, б суретінде көрсетілген рет бойынша кезекпен ашқанда, U_{1perg} қисығы арасында қайталанып тұрады. Осылайша, статор орамасының фазасына жиілігі $f = 1/T$ және периоды T айнымалы ток кернеуі беріледі. Бұл кернеудің T периоды T_1 желілік кернеуінің периодына қарағанда (5.18, а сур. қараңыз) үлкен, немесе, басқаша айтқанда, АҚ статорындағы кернеудің жиілігі қоректендіруші кернеудің жиілігіне қарағанда аз. Үш фазалы схемаға арналған бұл шамалардың арақатынасы төмендегідей анықталады

$$T_{perg} = T_1 [3 + 2(h-1)]/3, \quad (5.32)$$

Мұндағы $h = 2, 3, ...$ - жиынтықтағы ашылатын тиристорлардың саны.

(5.32)-ге сәйкес, тұрақты ток буыны жоқ, қоректендіруші желі мен жүктемесі тікелей байланыстырылған ЖТ – АҚ статорындағы жиілікті желілікпен салыстырғанда, тек оның кему бағытына қарай реттей алатыны мәлім.

ЖТ-тің шығысындағы жиілікті реттеу диапазонын кеңейту $VS1... VS3$ тиристорларынан басқару импульстарын алу моменті мен оларды $VS4... VS6$ тиристорларына беру моменті арасына Δt_n паузасын енгізу арқылы жүзеге асырылады (5.18, б сур. қараңыз). Бұл жағдайда шығу жиілігі төмендегідей болады

$$f_{\text{per}} = 3f_1 / (3 + 2(h - 1) + \Delta t_n f_1). \quad (5.33)$$

Қарастырылып отырған ЖТ-тер, сондай-ақ, АҚ-тағы U_{per} кернеуін де реттеуге мүмкіндік береді, ол үшін тиристорларға басқару импульстарын $t_1, t_2, t_3, \dots$ моменттерінде емес (5.18, а сур. қараңыз), тиристорларды басқару а бұрышына сәйкес аздап кешіктіріп береді (5.18, в сур. қараңыз). Үздіксіз ток беріліп тұрғанда жүктемедегі әрекет етуші кернеу төмендегідей болады:

$$U_{\text{per}} = \sqrt{2} m_1 U_{\phi} \sin(\pi/m_1) \cos(\alpha/\pi) = U_{\text{permax}} \cos \alpha, \quad (5.34)$$

мұндағы m_1 – көректендіруші кернеу фазаларының саны; U_{ϕ} – желінің фазалық кернеуі.

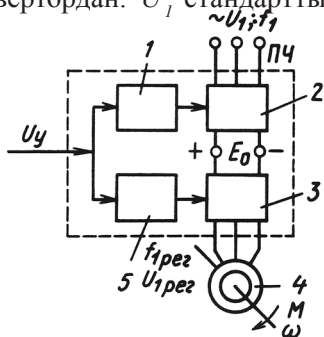
Тиристорларға импульстар беру моментін басқару жүйесінің көмегімен өзгертіп отырып, жүктеме кернеуін 0-ден ($\alpha = 90^\circ$) максималды мәнге дейін ($\alpha = 0$) реттеуге болады.

Алынған қатынастар ЖТ-тің белсенді-индуктивті жүктемесі кезінде де орынды екенін атап өткен жөн. Бұл жағдайда кернеудің формасы ғана аздап өзгереді.

5.17 суретінде көрсетілген сұлбаның кемшіліктерінің бірі ретінде, трансформатор мен АҚ статоры орамаларының нөлдік шықпасының болуының қажеттілігін атауға болады. Сондықтан, тәжірибе жүзінде нөлдік сымдары жоқ ЖТ көпірлік сұлбалары кеңінен таралған.

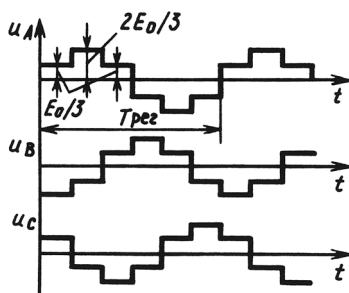
Тұрақты ток буыны бар ЖТ сұлбасы (5.19 сур.) екі негізгі блоктан құралады: басқарылатын түзеткіш 2 пен 1 және 5 басқару блоктары бар басқарылатын инвертордан. U_1 стандартты жиілік f желісінің кернеуі U_1 басқарылатын түзеткіштің 2 кірісіне беріледі, ол айнымалы кернеуді U_x тұрақтыға E_0 түрлендіреді, оны басқару блогының 1 көмегімен кең ауқымда реттеуге болады.

Түзетілген және реттелетін кернеу E_0 инвертордың 3 кірісіне беріледі, ол кернеуді қозғалтқышқа 4 түсетін реттелетін жиіліктің f , үш фазалы кернеуіне $U_{1\text{per}}$ түрлендіреді. Инвертордың $f_{1\text{per}}$ шығу кернеуінің жиілігі 5 басқарушы блоппен U_y басқару сигналының функциясында реттеледі.



5.19 – сурет

Жүктемедегі кернеудің формасын анықтау үшін, АҚ статоры фазаларын қосуды алты уақыт интервалдарының әрқайсысында бөлек қарастырып көрейік. Интервал I барысында $VS1$, $VS5$ және $VS6$ тиристорлары ашық, z_A және z_C жүктемелерінің фазалары $+E_0$ көзінің плюстік шығарушына, ал z_B жүктемесінің фазалары минустік шығарушыға $-E_0$ жалғанған (5.22, а сур.). Егер де осындайда барлық үш фазаның кедергі-лері бірдей болатын болса, онда z_A және z_C жүктеме-лерінің параллель байланысқан фазаларының эквиваленттік кедергісі z_B жүктемесінің фазасындағы кедергіден екі есе аз болады. Онда z_A және z_C жүктемелерінің параллель байланысқан фазаларындағы кернеу де z_B жүктемесіндегі фазадан

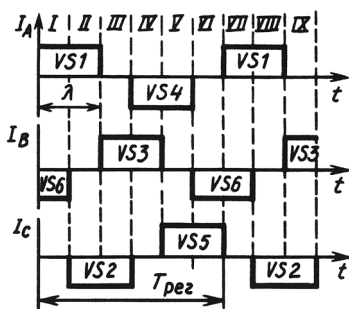


5.23 – сурет

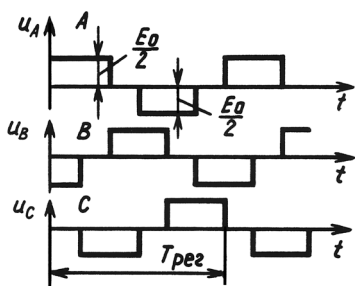
III интервалына өткенде (5.21 сур. қараңыз) $VS6$ тиристоры жабылады да, $VS3$ тиристоры ашылады ($VS1$ және $VS2$ тиристорлары әлі де жабық), соған сәйкес z_A және z_B жүктемелерінің фазалары параллель қосылады (5.22, в сур. қараңыз).

Дәл осылай статор орамалары фазаларының IV , V және VI интервалдарындағы байланысу схемасын бейнелеуге болады, олар I , II және III интервалдарының сұлбаларына сәйкес келеді, дегенмен фазалар басындағы кернеулердің полярлығы өзгешеленеді. $\lambda = T_{\text{per}}/2$ (5.23 сур.) болғандағы жүктеме фазаларындағы кернеудің өзгеру графигі сатылы түрде жүреді және ол айнымалы сипатқа ие, сондай-ақ бұл кернеудің максимумдары фазалар бойынша реттелетін жиіліктің үштен бір периодына жылжыған. Басқаша айтқанда, жүктемеде бейсинусоидал формада болса да, стандартты үш фазалы айнымалы ток кернеуінің жүйесі пайда болады.

ЖТ-тің шықпалық кернеуі біршама өзге формаға ие болуы үшін, әр тиристордың ашық күйдегі ұзақтығы реттелетін жиілік f_{per} периодының T_{per} үштен бірін құрау керек, және жүктеме бұрынғыша жүл-дызға жалғанып тұруы керек. $\lambda = T_{\text{per}}/3$ болғандағы тиристорлар жұмысының диаграммасы және үктемедегі кернеудің өзгеру графигі сәйкесінше 5.24 және 5.25 суреттерінде көрсетілген. Бұл жағдайда әр уақыт интервалында тек екі тиристор ашық тұрады және АҚ статоры орамаларының екі фазасы E_0 кернеуіне кезекпен қосылып тұрады, ал үшінші фаза қорек көзінен ажыратылған, сәйкесінше кернеу екі есе аз болады да, $E_0/3$ құрайды.



5.24 – сурет



5.25 сурет.

кезекпен байланыстырылған фазалардың әрқайсысында $E/2$ -ге тең, ал үшіншісінде (бос) нөлге тең болады.

5.20 суретінде көрсетілген үш фазалы жүктеменің үшбұрышқа қосылғандағы схема жұмысын да дәл осылай талдаудан өткізуге болады. $\lambda = T_{\text{рег}}/2$ болғанда, жүктеме фазаларындағы кернеудің формасы 5.25 суретінде көрсетілген қисықтармен бірдей болатыны анықталды, бірақ кернеу амплитудасы E_0 -ге тең бо-

лады, ал $\lambda = T_{\text{рег}}/3$ болғанда кернеу 5.23 суретінде көрсетілген қисықтардың формасын қайталайды, бірақ $E_0/3$, $E_0/2$ -ге және $2E_0/3$ E_0 -ге алмасады.

Тұрақты тогы бар ЖТ-тің басты ерекшелігі – олардың көмегімен АҚ статорындағы кернеу жиілігін желіліктен төмен не жоғары етіп бірқалыпты реттеуге болады, дәл сол себепті мұндай ЖТ-тер кең қолданысқа ие болды.

Басқарылатын инверторлардың түрлері. Жиілікпен басқарылатын асинхронды ЭЖ-те тиристорлар коммутациясымен, олардың байланысу схемаларымен, АҚ кернеуін реттеу тәсілдерімен және т.б. ерекшеленетін әр түрлі инверторлар қолданылады.

Тиристорлар тогының коммутациясының тәсілдеріне қарай, инверторлар желі жетегіндегі және автономды деп бөлінеді. Желі жетегіндегі инверторларда (оларды сондай-ақ тәуелді инверторлар деп те атайды) токты тиристордан тиристорға коммутациялау қорек көзі кернеуімен қамтамасыз етіледі.

Автономды (тәуелсіз) инверторларда ток коммутациясы үшін қосымша элементтер – тиристорлар, диодтар, индуктивтілік катушкалары мен конденсаторлары (дрессельдер) қолданылады.

Автономды инверторлар кернеу және ток инверторларына бөлінеді. Автономды кернеу инверторлары (АКИ) кернеу көзіне, мәселен шығысында үлкен сыйымдылықты конденсатор орнатылатын басқарылатын түзеткішке жалғанады. АКИ қатаң сыртқы сипаттамаға ие, яғни жүктеме тогы өзгергенде, олардың шығысындағы кернеу мүлдем өзгермейді деуге болады, сондықтан АКИ қолданылғандағы қозғалтқышты басқаратын әсерлер жиілік пен кернеу болып табылады.

Автономды ток инверторлары (АТИ) ток көзінен, мәселен шығысына индуктивтілігі үлкен реактор қосылған басқарылатын түзеткіштен қоректенеді. АТИ қолданылғанда АҚ-ты басқаратын әсерлер қызметін статор тогы мен жиілігі атқарады.

Автономды инвертордың әр түрінің жиіліктік-басқарылмалы асинхронды ЭЖ-терде қолданылатын өз саласы бар. Іс жүзінде, АКИ шықпалық кернеудің АҚ-тың жұмыс режимінен тәуелсіз болады, бұл оның ашық асинхронды ЭЖ-терде, сондай-ақ реттелетін қозғалтқыштар тобын басқарғанда қолданылатынын білдіреді. АКИ-лы ЖТ-тердің кемшіліктеріне келесілер жатады: кірісте үлкен сыйымдылықты конденсаторларды, өте көп тиристорлар мен коммутациялаушы элементтердің қолданылуы; желінің қуатын қалпына келтіру үшін қосымша желі жетегіндегі инверторды сұлбаға енгізу қажеттілігі.

АТИ-лы ЖТ-тер қарқынды қысқа уақыт режимінде жұмыс істейтін жоғары жылдамдықты кері ЭЖ-терін жасауға мүмкіндік береді. Мұндай түрлендіргіштердің артықшылығы АТИ кірісінде конденсатордың болмауы; сұлбаны күрделендірместен желіде белсенді энергияны қалпына келтіру (қайтару) мүмкіндігі; салыстырмалы түрде аз мөлшерде тиристорларды және қуат диодтарын қолданылуы. АТИ-дың кемшілігі – кіріс реакторын енгізу қажеттілігі болып табылады.

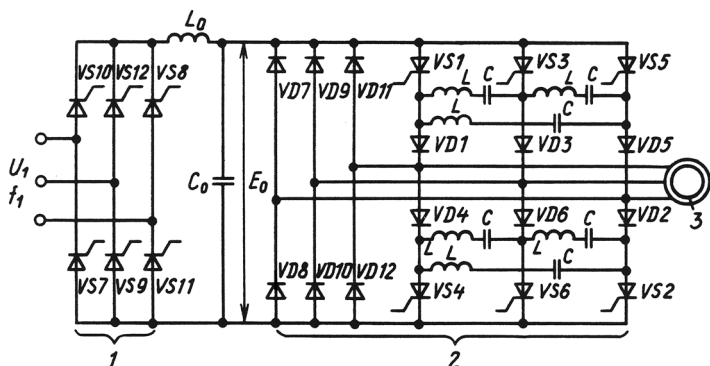
ЖТ-тің шықпалық кернеуі бірнеше жолмен басқарылуы мүмкін. Тікелей байланысты ЖТ-те ол реттелетін түзеткіштер сияқты жүзеге асырылады. Мұндай басқару фазалық деген атау ие болды.

Тұрақты ток буыны бар ЖТ-те жүктемедегі кернеуді реттеу (АҚ статорында) екі тәсілмен – арнайы кернеу реттегішінің көмегімен немесе инвертор арқылы жүзеге асырылады.

Алғашқы тәсіл, өз кезегінде, екі түрлі жолмен мүмкін – бақыланатын түзеткішті (фазалық басқару) немесе бақыланбайтын түзеткішті және оның түрлендіргіші мен кернеудің амплитудалық реттеуін орнататын ендік-импульстік түрлендіргішті (ЕИТ) қолдану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Бұл тәсілдің артықшылықтары кернеуді реттеудің кең спектрін және түрлендіргіштің кез-келген түрін пайдалану мүмкіндігін қамтиды.

Екінші тәсіл жиіліктерді және инвертордың өзіндегі кернеуді реттеу функцияларын қамтиды. Ол тиісті тристорларды басқару алгоритмдерінің көмегімен жүзеге асырылады және ендік- импульстік модуляцияны (ЕИМ) қолдануды қарастырады.

5.26 суретінде мысал ретінде асинхронды қозғалтқышы 3 бар ЭЖ-тің күш беретін бөлігінің сұлбасы көрсетілген, онда тұрақты ток буыны бар тиристорлық ЖТ мен автономды кернеу инверторы 2 қолданылған. Бұл схемада басқарылатын түзеткіштің шығысында I реактор L_0 мен C_0 фильтр конденсаторы қосылған, соңғысы $VD7... VD12$ диодтарымен бірге реактив қуатының циркуляциясын қамтамасыз етеді. Автономды кернеу инверторы 2 $VS1... VS6$ тиристорларында орындалған. Конденсаторлар C мен реакторлар L диодтармен $VD1... VD6$ бірге жасанды коммутация тізбектерін құрайды, олар тиісті уақыт моменттерінде $VS1... VS6$ тиристорларының өшіп қалуын қамтамасыз етеді.



5.26 сурет.

Инвертор шығысындағы кернеудің амплитудасы оның кірісіндегі E_0 кернеуінің өзгерісі арқылы түзеткішті басқару блогының I көмегімен реттеледі, ал оның $f_{\text{пер}}$ жиілігі инверторды басқару блогы беретін $VS1...VS6$ тиристорларының коммутациясының жиілігімен анықталады.

5.26 суретінде бейнеленген ЖТ схемасы кең таралған болса да, бірақ мұндай схеманың жалғыз түрі емес. Іс жүзінде кернеуді реттеу әдістерінде және тиристорлардың жасанды коммутация түрлерінде ерекшеленетін басқа сұлбалар да қолданылады. ЖТ-ті қолданудың кең перспективалары қуат транзисторларын (әсіресе, модульдік конструкциядағы оқшауланған қақпасы бар биполярлық транзисторларды) және басқару сұлбаларын іске асыру үшін микропроцессорлық жабдықты пайдалануымен байланысты дамымақ.

Жиілікті басқару өте үнемді, өйткені ол АҚ жылдамдығын ЭЖ-тің ПӘК-інің тиімділігін төмендетеді және индукциялық қозғалтқыштың қуатын асыра бағалау қажеттілігіне әкелетін ротор тізбегіндегі үлкен қуат шығындарынсыз реттеуді қамтамасыз етеді.

Жылдамдықты жиілікпен реттеубірқалыпты, кең диапазонда іске асырылуы мүмкін, табиғи сипаттаманың екі жағында да, яғни АҚ жылдамдығы номиналдыдан жоғары және төмен болуы мүмкін. Бұл жағдайда түзету сипаттамалары жоғары қатандыққа ие және АҚ үлкен жүктеме сыйымдылығын сақтайды.

Ашық жүйелерде іске қосылған жылдамдықты басқару диапазоны 5 ... 10, ал жабық жүйелерде (кері байланыстар қолданылғанда) оның мәні 1000 немесе одан да көп болуы мүмкін.

Белгіленген жоғары көрсеткіштерді ескере отырып, жиілік тәсілі қазіргі таңда кең қолданысқа ие болып жатқандығын атап өту керек. Сондай-ақ, жиілікті реттелетін асинхронды ЭЖ-ті пайдалану жалғыз мүмкін нұсқа болатын мысалдарды келтіруге болады: жоғары жылдамдықты электрайналдырықтар, электрұршықтар, жоғары жылдамдықты аэродинамикалық құбыр желдеткіштері, әр түрлі сынақ стендтері және т.б.

Жиіліктік ЭЖ-терді кеңінен қолдануға, көбіне, өндірістің әр түрлі орындаудағы статикалық ЖТ-терді өндіріп шығаруы ықпал етеді.

АҚ-ны квазижиілікпен басқару. Асинхронды ЭЖ-тердің жылдамдығын сапалы және үнемді реттеуді қамтамасыз ететін АҚ-ның жиіліктік басқарылуын жүзеге асыру – өте қымбат және функционалды күрделі ЖТ-терді пайдалануды талап етеді. Мұндай ЭЖ-терді жөндеу және пайдалану, әсіресе техникалық қызмет көрсетуші персоналдың біліктілігі төмен және күрделі жағдайларда, белгілі бір қиындықтарға әкеліп соғады. Түрлендіргіштердің қарапайым түрлерін қолдана отырып, жылдамдықты басқарудың жиіліктік әдісінің артықшылықтарын сақтап қалу ұмтылысы АҚ-ты басқарудың квази-жиілігін (жиілікке ұқсас) дамыту әдісіне ұласты.

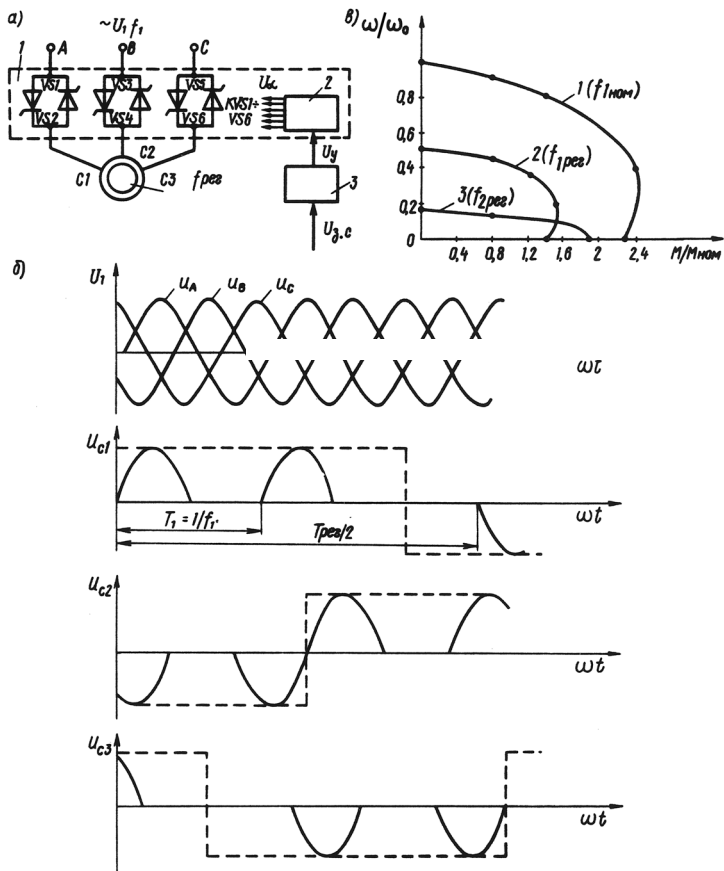
Басқарудың бұл тәсілі 5.4 тарауында қарастырылған тиристорлық кернеу реттегіштерінің көмегімен АҚ статорында кернеудің төмендетілген реттелетін жиілігін алуға мүмкіндік береді, сондай-ақ, мысалы, әртүрлі жүк көтеру механизмдерінің жұмысының барысында қажетті асинхронды ЭЖ-тің төмен жылдамдықтарын алуды қамтамасыз етеді.

Квазижиілікпен басқарылатын асинхронды ЭЖ схемасының негізін (5.27, *а* сур.) стандартты кернеу реттегіш 1 құрайды, ол қарама-қарсы параллель қосылған үш жұп тиристорлардан *VS1... VS6* және басқару блогынан 2 тұрады. Басқару блогының кірісіне келіп түсетін С басқару сигналы арнайы квазижиілікпен басқару блогының 3 көмегімен жасалады, ол *VS1... VS6* тиристорларын асинхронды қозғалтқышқа 4 берілетін кернеудің жиілігі *f* желісінің жиілігінен төмен болатындай етіп реттеуді қамтамасыз етеді.

5.27, *б* суретінде *U_A*, *U_B*, *U_C* желісінің фазалық кернеулерінің қисықтары мен статор орамаларының *C1*, *C2* және *C3* қысқышта-рындағы *UC1*, *UC2* және *U_{c3}* кернеулерінің графиктері көрсетілген, олар сәйкес *VS1... VS6* тиристорларды басқару есебінен желілік кернеуден құрылады. Көрініп тұрғандай, АҚ статорының фазаларының кернеуі бейсинусоидал формаға ие және ол желі жиілігінен төмен жиілікпен өзгереді. Төмендетілген жиілікті алудың қарастырылып отырған принципі тікелей байланысты ЖТ-тің әрекет ету принципін қайталайды (5.17 және 5.18 сур. қараңыз), алайда бұл жағдайда жиілікті реттеу түрлендіргіштің аса қарапайым схемасы арқылы жүзеге асырылады.

АҚ статорындағы реттелетін жиілік $f_{\text{per}} = a f / (a + b)$ формуласына сәйкес дискреттік мәндерге ие болуы мүмкін, мұндағы *a* мен *b* – 1-ден 15-ке дейінгі кез келген толық сандар.

Бұл формуладан байқайтынымыз, АҚ-ны квазижиілікпен басқаруда жиілікті $0,5f_x$ деңгейінен бастап және одан төмен жүруі мүмкін.



5.27 сурет.

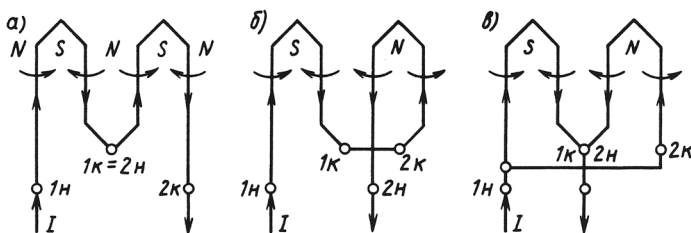
2 және 3 жасанды механикалық сипаттамаларының жұмыс аймақтарының қатандығы (5.27, в сур. қараңыз) шамамен 1 табиғи сипаттамасына сәйкес келеді, ал максималды момент табиғи сипаттамадағы АҚ сындық моментінің 60...90%-ын құрайды.

5.7. ПОЛЮСТЕР ЖҰПТАРЫНЫҢ САНЫН ӨЗГЕРТУ АРҚЫЛЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ

Мұндай реттеу тәсілі көпжылдамдықты деген атауға ие болған арнайы АҚ-тарды қолданғанда ғана жүзеге асырылуы мүмкін.

Бұл қозғалтқыштардың ерекшелігі екі бірдей секциядан (жартылай орамалардан) тұратын статор орамасы болып табылады, олардың әр түрлі байланыстыру сұлбаларын пайдалану арқылы p полюстер жұптарының санын өзгертуге болады. $\omega_0 = 2\pi f/p$ формуласына сәйкес, бұл ретте ω_0 магниттік өрістің айналу жылдамдығы өзгереді, яғни АҚ жылдамдығы да өзгеріске ұшырайды. Көпжылдамдықты АҚ-тардың роторы қысқа тұйықталған етіп жасалады.

Полюстер жұптарының саны тек дискреттік мәндерге ие бола алатындықтан ($p = 1, 2, 3, 4, \dots$), АҚ жылдамдығы да осы тәсілмен тек сатылы реттеле алады.



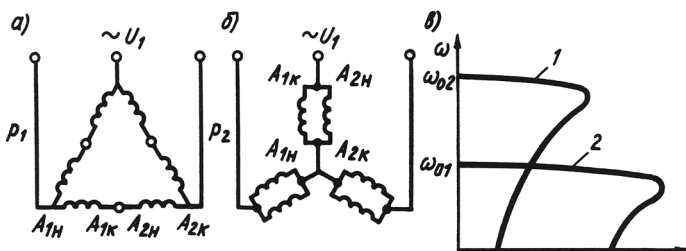
5.28 сурет.

Статор орамасының фазасы екі бірдей секциядан $1H - 1K$, $2H - 2K$ құралып, олардың әрқайсысында екі-екі өткізгіштен бар (5.28, а сур. қараңыз) және олар реттілікпен, сәйкес байланыстырылған. Дәл қазіргі уақыт моментінде статор орамасы бойымен бағыттауыш тілдермен көрсетілген бағытта ток ағып өтуде. Қолбұрғы ережесін қолдана отырып, өткізгіштер арқылы өтіп жатқан I токтың жасайтын магниттік күш сызықтарының бағытын анықтаймыз. Бұл жағдайда магниттік өрістің төрт полюсі бар екендігін, $p = 2$ немесе екенін байқауға болады.

Енді орамаға жіберілетін токтың ағымдық бағытын қалдырып, секциялардың қосылыстар сұлбасын, соның ішінде оларды реттілікпен және қарама-қарсы етіп өзгертейік (5.28, б сур. қараңыз). Бұл жағдайда статор орамасы полюстер жұбының жарты санымен өзінде магнит өрісті қалыптастырады. Полюстер жұптарының санын екіге бөлу 5.28, в суретінде көрсетілген сұлбада да орындалады, онда секциялар параллель қосылған. Кез келген жағдайда, полюстер жұптарының санының азаюы ток бағытын керісінше секцияның бірінде (бұл жағдайда, екіншіде) өзгерту арқылы орындалады. Магнит өрісінің айналу жылдамдығының өзгеру диапазоны екіге тең.

Көп жағдайда, тәжірибе жүзінде көпжылдамдықты АҚ-тардың статор орамдарын ауыстырудың екі сұлбасы қолданылады: үшбұрыштан қос жұлдызға дейін және жұлдыздан қос жұлдызға дейін. Статор орамаларының сұлбаларын және осы жағдайлардағы АҚ-тардың механикалық сипаттамаларын қарастырайық.

Үшбұрыш – қос жұлдыз. p_1 полюстер жұптарының барынша көп санын алу үшін статордың әр фазасының секциялары реттілікпен және сәйкес қосылып, үшбұрышқа жалғанады (5.29, а сур. қараңыз), мұндағы $A_{1н}$ және $A_{2н}$ – сәйкесінше А фазасының бірінші және екінші секцияларының бастары; $A_{1к}$ және $A_{2к}$ – олардың ұштары (В және С фазаларының енгізулері үшін де бұл белгілер бірдей). 5.29, б суретінде бейнеленген секциялардың байланысу сұлбасы 5.28, в суретінде көрсетілген сұлбамен бірдей, және ол АҚ полюстер жұптарының саны екі есе азайғанын анықтайды. Статор фазалары екі параллель қосылған секциялардан құралған сұлба қос жұлдыз атауына ие болды.



5.29 сурет.

Орамаларды үшбұрышқа 2 және қос жұлдызға 1 байланыстыру сұлбасына арналған АҚ-тың механикалық сипаттамалары 5.29, в суретінде көрсетілген.

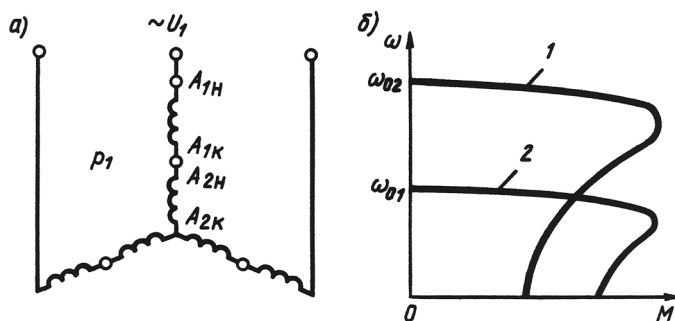
Жұлдыз–қос жұлдыз. Бұл жағдайда төмен жылдамдық (p_1 полюстер жұптарының көп мөлшері) орамаларды дара жұлдызға қосу сұлбасына сәйкес болады (5.30, а сур.), оның әр фазасын бірінен соң бірі жалғанған секциялар құрайды (5.29, а сур. белгілерді қараңыз). Қос жұлдызға қосылу 5.29, б суретінде көрсетілген сұлба бойынша жүргізіледі, бұл ретте p_2 полюстер жұптарының саны екі есеге азаяды. Екіжылдамдықты АҚ-ның орамаларын жұлдызға 2 және қос жұлдызға 1 қосу барысындағы механикалық сипаттамалар 5.30, б суретінде бейнеленген.

Қарастырылып өткен екіжылдамдықты жүйелерден басқа үш және төртжылдамдықты АҚ-тар да пайдаланылады. Олардың біріншісінде, жоғарыда қарастырылып өткендей, статордың ауыстырылып қосылатын орамасына қосымша, бір ауыстырылып қосылмайтын орамасы болады. Төртжылдамдықты АҚ-тарда p_1, p_2, p_3, p_4 полюстерінің әр түрлі саны бар екі ауыспалы статор орамасы болады және олар төрт реттелетін механикалық сипаттамаларды алуға мүмкіндік береді.

АҚ-тың жылдамдығын реттеудің қарастырылып отырған тәсілі асинхронды ЭЖ-терінде оның кеңінен қолданылуын анықтайтын және бірінші кезекте үнемділікті сақтайтын бірқатар оң көрсеткіштермен сипатталады, себебі жылдамдықты өзгерту процесі барысында қозғалтқышты қажетсіз қыздыруға және оның ПӘК-ін нашарлатуға әкеп

соқтыратын ротор тізбегіндегі қосымша қуат шығындары болмайды.

Көпжылдамдықты АҚ-тардың механикалық сипаттамаларының (5.29, в және 5.30, 6 сур. қараңыз) қатаңдығы жақсы және олардың асқын



5.30 сурет.

жүктемелік қабілеті жеткілікті деңгейде болады.

«Жұлдыз–қос жұлдыз» ауыстырып қосу сұлбасын M_c жүктемесінің тұрақты моментінде, ал «үшбұрыш – қос жұлдыз» сұлбасын – тұрақты қуат сипатына ие ЭЖ жүктемесінде қолданған жөн.

Қарастырылып өткен тәсілдің басты кемшілігі – қозғалтқыш жылдамдығын сатылы өзгерту және оны реттеу диапазонының салыстырмалы түрде шағын, әдетте 6...8 болуы.

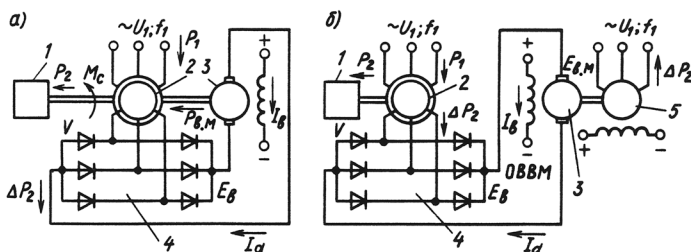
5.8. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ҚОСУДЫҢ КАСКАДТЫҚ СҰЛБАЛАРЫНДА ОНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ

Жоғарыда қарастырылып өткен кейбір тәсілдермен АҚ жылдамдығын реттеу ротор тізбегінде «жылжу шығындары» атты қуат шығындарының шығуымен қатар жүреді, асинхронды ЭЖ-тің экономикалық көрсеткіштерін едәуір азайтады.

Ротор тізбегіндегі қуат шығындары пайдаланылған бірінші сұлбалар АҚ-ты басқа электр машиналарымен арнайы байланыстыру арқылы жасалды, сондықтан бұл сұлбалар каскадтық деп аталды. Қазіргі уақытта қосымша электр машиналары арқылы емес, жартылай өткізгіш құрылғылар мен трансформаторлар арқылы АҚ-тың жылжымалы энергиясын қолданатын сұлбалар бар, бірақ бұл сұлбалар да каскадтық деп аталады.

Жалпы алғанда, каскадтық сұлбалар деп АҚ жылдамдығын реттеуді қамтамасыз етіп, сонымен бірге энергия шығындарын бір мезгілде пайдалануға мүмкіндік беретін АҚ-ты қосу сұлбаларын айтады. Бұл энергияны пайдалану тәсіліне қарай, электрмеханикалық және электрлік машиналық-шұралық каскад сұлбалары болып бөлінеді.

Электрмеханикалық машиналық-шұралық каскадта (5.31, а сур.) 1 жұмыс машинасын қозғалысқа келтіретін АҚ роторының орамасы 2, жартылайөткізгішті шұраларда жинақталған үш фазалы басқарылмайтын түзеткішке 4 қосылады. Түзеткіштің шығаруштарына қосымша тұрақты ток машинасының зәкірі 3 жалғанған, оның ЭҚК-і $E_{в.м}$ түзеткіштің ЭҚК-іне $E_{в}$ қарай бағытталған. АҚ 2 мен машина 3 бір білікпен байланыстырылған. Осы сұлбадағы қуаттың теңгерімін қарастырайық.



5.31 сурет.

Желіден келіп түсетін қуат P_1 АҚ статорындағы 2 шығындарды шегергеннен кейін, роторға беріледі. Электрмагниттік деп аталатын және пайдалы механикалық қуат $P_2 = M\omega$ түріндегі $P_{эм} = M\omega_0$ өрнегімен анықталатын бұл қуаттың көп бөлігі жұмыс машинасына 1 жіберіледі. Жылжу шығындарының қуатын $\Delta P_2 = M\omega_0 s$ анықтайтын қалған бөлігі АҚ роторының 2, түзеткіштің 4 және қосалқы машинаның 3 тізбектеріндегі шығындарды шегергеннен кейін, соңғысының көмегімен механикалық қуатқа айналады да, жұмыс машинасының 1 білігіне қайтады.

Егер де сұлбадағы шығындарды елемесе, жұмыс машинасына 1 барлық электрмагниттік қуаттың $P_{эм}$ берілетіндігін байқауға болады. Шынында да, жұмыс машинасының қозғалтқыш білігіне АҚ-тан 2 $P_2 = M\omega$ қуаты келіп түседі, ал қосалқы машинадан 3 – $P_{в.м} = \Delta P_2 = M\omega_0 s$ қуаты келіп түседі, нәтижесінде жұмыс машинасының білігіндегі механикалық қуаттың жиынтығы $P_{р.м} = P_2 + P_{в.м} = M\omega + M\omega_0 s = M\omega_0 = P_{эм}$ болады.

Электрлік машиналық-шұралық каскадта (5.31, б сур. қараңыз) электрмеханикалықпен салыстырғанда, қосалқы машинаның 3 АҚ-пен 2 механикалық байланысы жоқ, ол айнымалы ток желісіне жалғанған синхронды генераторға 5 жалғыз білігімен қосылған, яғни шығын қуаты жұмыс машинасының 1 білігіне емес, желіге беріледі, ал жұмыс машинасына тек механикалық қуат $P_2 = M\omega$ беріледі.

Каскадтық сұлбалардағы жылдамдықты реттеу принципін қарастырайық, бұл осы машинаның қоздыру тогына әсер ету нәтижесінде қосалқы машинаның 3 ЭҚК-ін өзгерту арқылы жүзеге асырылады.

Белгіленген режимде ЭЖ-тің жұмысы барысында қоздыру тогы I_b артады делік, оның арты ЭҚК-тің E_{BM} артуына ұласады, сәйкесінше түзетілген ток кемиді, ол төмендегі өрнекпен анықталады:

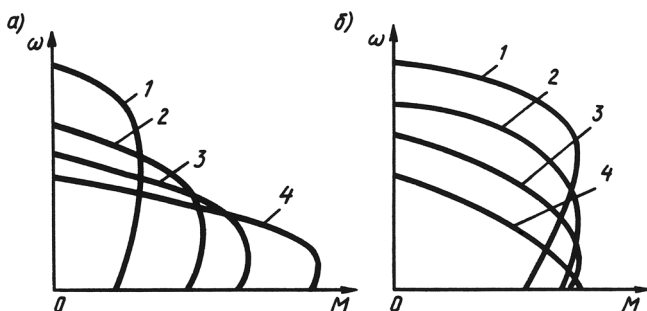
$$I_d = (E_b - E_{B.M}) / R_c \quad (5.35)$$

Мұндағы R_c – түзетілген токтың белсенді кедергісінің жиынтығы; E_b – түзеткіштің 4 ЭҚК-і.

I_d кемуі және соның нәтижесінде АҚ роторының тогының кемуі оның моментінің төмендеуіне алып келеді, ол жұмыс машинасының 1 жасайтын жүктеме моментінен M_c кем болады. Соның салдарынан, қозғалтқыштың жылдамдығы төмендей бастайды, ал оның жылжуы s мен ротор орамасының ЭҚК-і $E_2 = E_{2K}s$ өсе бастайды. Ротордың ЭҚК-інің артуы ротордағы токтың артуына және соның нәтижесінде АҚ моментінің де артуына алып келеді, ол қайтадан жүктеме моментімен теңеседі де, АҚ жылдамдығы өзгермейтін болады. Қозғалтқыш қайтадан белгіленген режимде жұмыс істей бастайды, бірақ жылдамдығы әлдеқайда төмен болады. Ток I_b азайған жағдайда, АҚ жылдамдығы артады.

Токтардың әр түрлі мәндеріне $I_{1...4}$ (соответственно $I_b = (0; 0,2; 0,4; 1,0) I_{Bном}$) арналған электрмеханикалық каскадтың механикалық сипаттамаларын (5.32, а сур.) қарастырғаннан байқайтынымыз, максималды момент каскадтың жылдамдығы төмендеген сайын артады, себебі қосалқы машинаның қоздыру тогы артқан сайын оның моменті де артады. Бұл ретте максималды моментті сол моментте сәйкес жылдамдыққа тудыруды анықтайтын каскадтың максималды механикалық қуаты қосалқы машинаның әр түрлі қоздыру токтарында өзгеріссіз қалады. Сондықтан электрмеханикалық каскадты тұрақты қуат каскады деп атайды.

Қосалқы машинаның қозғалыс тогы нөлге жақын болғанда, электрлік каскадтың механикалық сипаттамасы (5.32, б сур. қараңыз) АҚ-тың табиғи сипаттамасына жақын болады.



5.32 сурет.

Қоздыру тогы қозғалысы артқан сайын, 2... 4 жасанды сипаттамалары табиғидан 1 төмен орналасады, бұл ретте номиналды қоздыру тогына $I_{\text{вном}}$ ең төмен сипаттама сәйкес келеді. Каскадтың максималды моменті тек АҚ арқылы анықталады (5.31 сур. қараңыз), ол әртүрлі сипаттамаларда шамамен тұрақты болып қалады. Сондықтан электрлік каскад тұрақты каскад деп аталады.

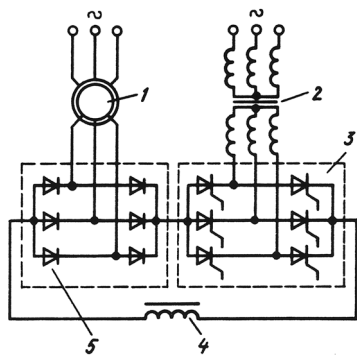
Қазіргі таңда күштік тиристорлық түрлендіргіштердің кең етек жайғанына байланысты, оларды электрмашиналық айналмалы түрлендіргіштермен алмастыру мүмкіндігі пайда болды. Әсіресе, электрмашиналық агрегат 3... 5 (5.31, 6 сур. қараңыз) түзеткіштен 4 келіп түсетін тұрақты ток қуатын желіге берілетін айнымалы ток қуатына түрлендіреді. Мұндай машиналық агрегат статикалық жиілікті түрлендіргішпен алмастырылуы мүмкін, ондай агрегат трансформатор 3 мен инвертордан 3 тұрады (5.33 сур.). Бұл сұлбада АҚ роторының орамасына 1 басқарылмайтын түзеткіш 5 пен инвертор 3, сондай-ақ реактор 4 жалғанған, ол түзетілген токтың пульсациясын тегістеуге арналған. Мұндай сұлбасы асинхронды ЭЖ асинхронды вентильді каскад атауына ие болды.

Инвертор, жоғарыда айтылғандай, тұрақты ток қуатын айнымалы ток қуатына түрлендіргіш болып табылады. Инвертордың ЭЖК-ін тұрақты ток машинасының электр қозғалтқыш күшін реттегендей реттеуге болады. Осылайша, асинхронды шұралық каскадтың механикалық сипаттамалары шұралық-машиналық электр каскадының сипаттамаларына ұқсас.

Қарастырылып өткен сұлбаларға ұқсас асинхронды вентильді каскадтардың сұлбалары өте көп. Бұл сұлбалар олардың күрделілігіне, жылдамдықты басқарудың техникалық мүмкіндіктеріне, қуат индикаторларына және т.б. қарай ерекшеленеді. Алайда, оларды пайдалану қағидасы мен функциялары бірдей: пайдалы жұмысты орындау және АҚ жылдамдығын тегіс реттеуге мүмкіндік беретін жылжу қуатын пайдалану.

Каскадтық қосу сұлбаларындағы АҚ-тың жылдамдығын реттеудің негізгі көрсеткіштерін атап өтейік.

Каскадтық сұлбалардағы жылдамдықты реттеудің тәжірибелік диапазоны әдетте 2-ден аспайды. Бұл жылдамдықты реттеуге арналған диапазон артқан сайын, және соған сәйкес АҚ-тың жыл-жуы күшейген сайын оның роторлық тізбегіндегі барлық құрылғылардың белгіленген қуаттарын арттыру қажетті-лігімен түсіндіріледі.



5.33 сурет.

Осылайша, екіге тең реттеу диапазонында, машиналық-шұралық электрлік каскадтың белгіленген қуаты – АҚ-тың номиналды қуатының 250%-ын құрайды, оның ішінде 100%-ы АҚ-тың өзіне тиесілі болса, ал түзеткіш, қосалқы машина және синхронды генераторға 50%-дан келеді.

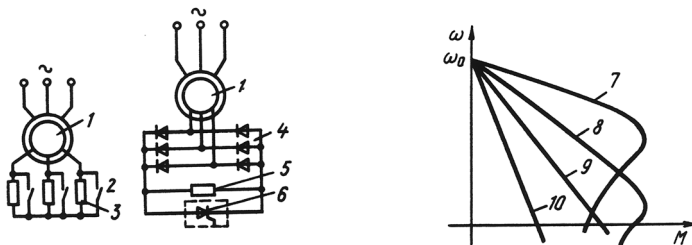
Каскадтық сұлбалардағы АҚ-тың жылдамдығын реттеудің бірқалыптылығы жоғары және қосалқы машинаның немесе ЖТ-тің ЭЖК-інің өзгеруінің бірқалыптылығымен анықталады. Жылдамдықты реттеу табиғи сипаттамадан төмен қарай жүргізіледі, бірақ кейбір арнайы каскадтық сұлбалар екі аймақтық реттеуді де қамтамасыз етеді.

Жылдамдықты реттеудің бұл әдісін іске асыру кезінде орын алатын елеулі күрделі шығындарға қарамастан, пайдалы жұмыс үшін жылжу қуатын пайдалану есебінен каскадтық сұлбаларды қолдану шағын жылдамдықты реттеу ауқымы бар күшті асинхронды ЭЖ-тер үшін үнемді болуы мүмкін. Бұл – қуатты желдеткіштердің, ортадан тепкіш сорғылардың, компрессорлардың, желдеткіштердің, сынақ қондырғыларының электр жетектері.

АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕК КООРДИНАТТАРЫН РЕТТЕУДІҢ ИМПУЛЬСТІК ТӘСІЛІ

Жартылайөткізгішті техниканың дамуы АҚ координаттарын импульстік реттеуді пайдалануды жандандырды. Оның мәні АҚ тізбектерінің немесе қоректендіруші желінің параметрлерін мерзімді (импульсті) өзгертіп тұруға негізделеді. Асинхронды ЭЖ-ке қатысты, әдетте, АҚ-қа берілетін кернеуді немесе ротор не статор тізбектеріндегі резисторлар кедергісін импульсті өзгерту орындалады. Бұл тәсілдер көбінесе жылдамдықты реттеу үшін қолданылады, бірақ қажет болған жағдайда олар АҚ моменті мен тогын реттеуге де мүмкіндік береді.

АҚ 1 роторының тізбегіндегі резисторлар 3 кедергісін $R_{2д}$ импульсті реттеу үшін (5.34, а сур.) оларға параллель



5.34 сурет.

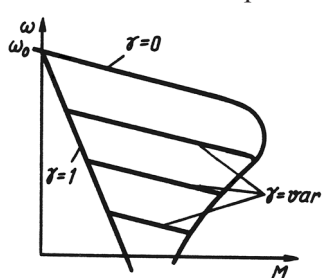
өзгертілмелі толтырмамен $0 < \gamma < 1$ (сіңіргіштік) жұмыс істейтін басқарылатын кілттің (мәселен, электромагниттік немесе тиристорлық контактор) контактілері 2 қосылады. Түзеткіші 4 бар АҚ ротордың 1 түзеткішті ток тізбегіне қосылған кедергі резисторын 5 импульсті реттеу сұлбасы да аналогты жұмыс істейді. Резисторды 5 ұштастыру у толықтыруымен басқару арқылы жұмыс жасайтын тиристорлы кілттің 6 көмегімен жүзеге асады.

Қарастырылып отырған сұлбаларды қолдана отырып, у әртүрлі мәніндегі АҚ жасанды механикалық сипаттамаларының жиынтығын алуға болады (5.34, в сур). 7 және 10 сипаттамаларын талдайтын болсақ, $\gamma = 1$ және $\gamma = 0$ тең болғандағы басқарылатын кілттің жұмысының шекті режимі үшін құрылған. $\gamma = 1$ болса (кілт 2 тұрақты жабық немесе тиристор 6 тұрақты ашық) резистор қысқартылған және АҚ табиғи механикалық сипаттама 7 бойынша жұмыс жасайды. $\gamma = 0$ болса (кілт 2 тұрақты ашық немесе тиристор 6 тұрақты жабық) резистор толықтай ротор тізбегіне енгізілген және АҚ жасанды сипаттама 10 бойынша жұмыс жасайды. $0 < \gamma < 1$ болғандағы аралық мәнінде резистордың эквивалентті кедергісі ротор тізбегінде $R_{\text{экв}} = (1 - \gamma) R_{\text{рд}}$

Формуласына сәйкес өзгереді және жасанды сипаттамалар 8 және 9 шектердің арасында орналасады.

Осылайша АҚ сипаттамасын статор тізбегіндегі қосымша резистор кедергісін R импульсті реттеу бойынша алуға болады. 5.1, б суретінде көрсетілген сұлбада басқару кілттерін резисторлармен параллельно қосу және олардың айнылмалы толықтыру у арқылы жұмысы жасанды электромеханикалық және механикалық АҚ сипаттамаларын қисық түрде алуға мүмкіндік береді, 5.6 сур. көрсетілген.

АҚ статорындағы кернеуді импульсті реттеу тиристорлы реттеу кернеуінің көмегімен жүзеге асады. Бұл жағдайда жасанды механикалық сипаттамалар пайда болады, 5.9 сур. аналогты көрсетілген.



5.35 сурет.

АҚ координаттарын импульсті әдіспен реттеу көрсеткіштерін жақсарту үшін әр түрлі кері байланыстарды қолдана отырып ЭП тұйықтаушылары пайда болады. Автоматты реттеу γ нәтижесінде АҚ механикалық сипаттамалары (5.35 сур) қатты болады. Мұндай сипаттамаларды алуға мүмкіндік беретін сұлбалар 11 тарауда қарастырылған.

Импульсті әдістерді қолдану жағдайлар қатарында қарапайым басқару сұлбаларының көмегімен ЭП координаттарын реттеуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

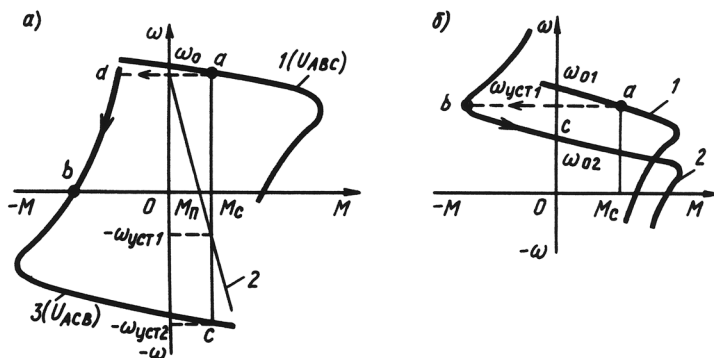
5.9. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ТЕЖЕУ

АҚ тежеу статор тізбегін тұрақты ток көзіне қосу жолымен айналымы ток желісінен қоректенуі арқылы (динамикалық тежеу) жүзеге асыруға болады, сонымен қатар өзін өзі қоздыруы арқылы да болады.

АҚ негізгі сұлба бойынша (5.1, а сур) қосқан кезде қосылуға қарсы тежеу және қалпына келтірулі тежеуге мүмкін болады.

Қосылуға қарсы тежеу екі жолмен жүзеге асады. Оның біреуі АҚ қоректендіретін кернеудің екі фазасының статорында тізбектелудің өзгеруімен байланысты. Мысалы, АҚ а нүктесінде механикалық сипаттама 1 бойынша АВС желісінде кернеу фазасы статорында тізбектелуі арқылы жұмыс жасайды деп қарастыралық. Сонда екі фазалардың қайта қосылуында (мысалы, В және С) АҚ d нүктесіндегі сипаттама 3 бойынша жұмысына өтеді, қосылуға қарсы тежеуге сәйкес келетін d-b аймағы. Айта кететін жағдай, АҚ моменті мен тоқты шектеу үшін тежеуді жүзеге асыру үшін ротор немесе статор тізбегіне қосымша резисторлардың қосылады.

АҚ қосылуға қарсы тежеу режиміне өтуінің басқа жолы M_c жүктемесінің моментінің белсенді сипаты бойынша қолданылуы мүмкін болады. Жүкті АҚ көмегімен тежеуді қамтамасыз ете отырып түсіру қажет болсын делік (жүкті тежеп түсіру деп аталатын). Ол үшін АҚ ротор тізбегіне (қисық 2) үлкен қосымша кедергімен $R_{2д}$ көтерілуге қосылады. M_n қозғалтқышының түсу моментін M_c жүктеме моментімен басып кетуінің



5.36 сурет.

жалғасы және оның жүгінің белсенді сипаты $\omega_{\text{уст}1}$ қалыптасқан жылдамдықпен түседі. АҚ сонымен қатар қосылуға қарсы тежеу режимінде жұмыс жасайтын болады.

Қалпына келтіруші тежеу АҚ жылдамдығы синхрондыны ω_0 басып кеткен жағдайда жүзеге асады және ол желімен параллельно генераторлы режимде жұмыс жасайды. Мұндай режим, мысалы, екі жылдамдықты АҚ жоғары жылдамдықтан төменгі жылдамдыққа өткен кезінде пайда болуы мүмкін, 5.36. б сур көрсетілген. АҚ бастапқы күйде а нүктесіндегі сипаттама 1 бойынша ω_0 жылдамдығымен айналып жұмыс жасады деп қарастыралық. Полюс жұптарының саны өскен жағдайда АҚ *bc* аймағы *b* нүктесіндегі сипаттама 2 бойынша жұмысына өтеді, ол күшін желіге беретін тежеуге сәйкес келеді.

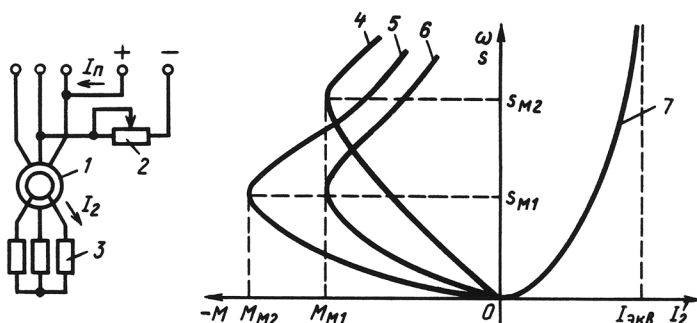
Тежеудің бұл түрі АҚ тоқтап тұрған кездегі және сипаттамадан сипаттамаға өткен кездегі «қозғалтқыш – жиілікті түрлендіргіш» жүйесіне жүзеге асырылуы мүмкін. Ол үшін шығыс кернеу ПЧ жиілігінің кішірейту орындалады, яғни, ω_0 синхронды жылдамдығы. Механикалық инерция күшімен АҚ ағымдағы жылдамдығы ω , ω_0 магнит өрісінің айналуына қарағанда жайырақ өзгереді, яғни оны тұрақты айналдырады. Осыған байланысты желіге күш беру тежеу режимі пайда болады. Айта кетейік, ПЧ сонымен қатар қозғалтқыштан желіге күш беруге қабілетті.

Қалпына келтіруші тежеу жүкті түсірген кездегі жүк көтеру механизмдерінің ЭП жүзеге асуы мүмкін. Ол үшін АҚ жүкті түсіру бағытында қосылады (5.36, а сур. 3 сипаттама). Жүгіру біткен соң ол с нүктесінде $\omega_{\text{уст}2}$ жылдамдығымен жұмыс істейтін болады. Сонымен бірге желіге күш берумен жүкті түсіру үрдісі жүзеге асады.

Қалпына келтіруші тежеу АҚ тежеудің ең үнемді түрі болып табылады.

АҚ статор орамдарын **динамикалық тежеу** үшін АҚ айнымалы ток желісінен ажыратады және тұрақты ток көзіне қосады, бұл 5.37 суретінде көрсетілген. АҚ 1 роторының орамдары сонымен қатар қысқартылған болуы мүмкін немесе оның тізбегіне қосымша резисторлар 3 *R* кедергісімен бірге қосылады.

Тұрақты ток 1 резистор 2 арқылы реттелетін мән болып табылады, статор орамдары бойымен ағады және кеңістікте қозғалмайтын магниттік өріс (АҚ қоздырады) тудырады. Ротордың айналуы кезінде оның ішінде ЭҚК туады, оның әсерінен орамдарда кеңістікте қозғалмайтын магнитті ағым тудыратын ток ағады. Ротор тоғының АҚ нәтижелік магнит өрісіне әсері тежеу моментін тудырады, осыған байланысты тежеу әсеріне қол жеткізіледі. Бұл жағдайда қозғалтқыш айнымалы ток желісінен тәуелсіз генератор режимінде жұмыс істейді, ЭП қозғалмалы бөліктерінде және ротор тізбегінде жылу түрінде тарайтын электрлік жұмыс машиналарында кинетикалық энергияны түрлендіреді.



5.37 сурет.

Динамикалық тежеу режиміндегі АҚ сипаттамаларының формуласы сұлбаларын ауыстыруды талдау негізінде шығарылады. Формулалар қорытындысын жібере отырып, АҚ электромеханикалық $I_2'(s)$ (қисық 7) және механикалық $M(s)$ қисық 4 ... 6 сипаттамаларын графикалық ұсыналық.

$IR(s)$ сипаттамасы суретте бірінші квадрантта орналасқан, мұндағы $s = \omega / \omega_0$ — динамикалық тежеу режиміндегі АҚ сырғуы. АҚ механикалық сипаттамалары екінші квадрантта орналасқан.

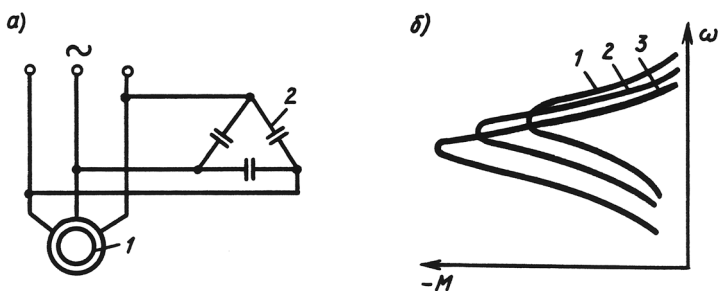
Динамикалық тежеу режиміндегі АҚ әртүрлі жасанды механикалық сипаттамаларын ротор тізбегінде қосымша резисторлардың 3 кедергісін R өзгерте отырып немесе статор орамдарында берілетін I_n тұрақты токты өзгерте отырып алуға болады. Суретте АҚ механикалық сипаттамалары I_n және R әртүрлі үйлесімдері үшін көрсетілген. Сипаттама 6 I_{n1} тогына және R резистор кедергісіне сәйкес келеді, мұндағы максималды сәт(момент) M_{m1} болып табылады, ал сырғуы, оған сәйкесінше — s_{m1} . $3 R_{2\Delta 2} > R_{2\Delta 1}$ резистор кедергілерінің ұлғаюы $I_n = \text{const}$ болғанда, максималды моменттік өзгеруіне әкелмейді, максималды сырғу s_m сияқты, сонымен қатар тепе-теңдікте өседі, 4 сипаттамада көрсетілген.

$R = \text{const}$ болғанда I_n ($I_{n2} > I_{n1}$) токтың өсуі максималды моменттің ток квадратына пропорционалды өсуін тудырады. Бұл жағдайда қозғалтқыштың сипаттамасы қисық түрге 5 ие болады. I_n және R мәндерін әртүрлілеп динамикалық режимдегі АҚ механикалық сипаттамаларының қалаған түрін алуға болады, асинхронды ЭП тежеудің сәйкес жиілігін де.

Өзін өзі қоздыру кезіндегі тежеу АҚ желіден ажыратып тастағаннан кейін оның электромагнитті өрісі аз ғана болса да уақыт аралығында өшеді (бірден жоғалады). Осы өшкен өріс энергиясына байланысты және АҚ қосудың арнайы сұлбаларын қолдануға байланысты оның өзін өзі қоздыруын қамтамасыз етуге болады және тежеу режимін жүзеге асыруға болады.

Тәжірибеде АҚ конденсаторлы және магнитті тежеу деп аталатын қолданыс тапты.

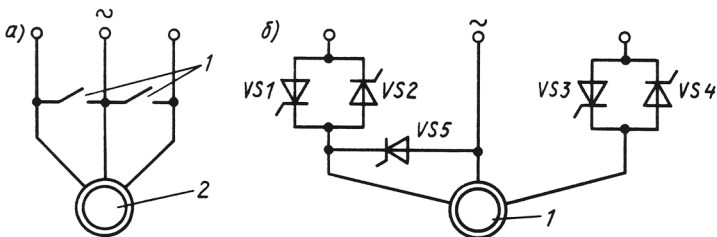
Конденсаторлы тежеу кезінде, 5.38, а суретінде көрсетілген сұлбада АҚ 1 статорға қосылған конденсаторлар 2 көмегімен жүзеге асады. Айта кететін жағдай, конденсаторлар статорға тұрақты қосылуы мүмкін (саңырау қосылу) немесе үшбұрыш немесе жұлдыз тәріздес сұлбаға қосылатын қосымша жалғағыштың көмегімен қосылуы мүмкін.



5.38 сурет.

АҚ 1...3 сипаттамаларының орналасуы дәне түріне байланысты анықталатын фактор (5.38, б сур), яғни тежеу қарқындылығы, конденсаторлардың сыйымдылығы C (қисық 1...3 $C_1 < C_2 < C_3$ мәндеріне сәйкес) деп аталады. Ол қаншалықты көп болса соншалықты тежеу моментінен максималды түрде көп болады, ал сипаттамалар АҚ төменгі жылдамдығының аумағында араласатын болады.

Магнитті тежеу, 5.39, а суретінде көрсетілген жалпы сұлба, қозғалтқыш 2 статорын ажыратқаннан кейін жүзеге асады және шығыстарын қысқаша байланыстар 1 көмегімен тұйықталу арқылы да. Электрмагниттік энергия қозғалтқыштың сақталуына байланысты қозғалтқыштың өзін өзі қоздыруы өтеді және оның білігінде тежеу моменті туады.



5.39 сурет.

Мұндай тежеудің ерекшелігі қозғалтқыштың магниттік өрісін өшіретін аз ғана уақытпен анықталатын тез ағымдылығы болып табылады, бірақ пайда болған тежеу моменттері жеткілікті түрде үлкен және ЭЖ қарқынды тежеуді қамтамасыз етеді.

АҚ тәжірибелік мүмкіндіктері кернеудің тиристорлы реттегіштерін кеңінен қолдауға мүмкіндік берді, ол қозғалтқышты қосу мен оны тежеуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Қозғалтқышты қарқынды тежеуді қамтамасыз ету үшін біріктірілген әдіс жиі қолданылады, мысалы, қысқа тұйықтау тежеуімен бірге сәйкестелінген динамикалық тежеу сияқты. Бұл әдіс қарсы-параллельді қосылған тиристорлардың $VS1...VS4$, екі жұбынан тұратын тиристорлы құрылғыда болуы мүмкін (5.39, б сур), қозғалтқышты I қорек көзіне қосып және ажыратуға және статор орамдарын қысқа тұйықталумен тежеуді жүзеге асыратын қосымша тиристорға $VS5$ қызмет етеді. Тежеу келесі тәсілмен орындалады. $VS1...VS4$ тиристорларын жапқаннан кейін және қозғалтқышты желіден ажыратқаннан кейін $VS5$ тиристорына басқару сигналы беріледі, және ол статордың екі фазасын қысқа тұйықтайды. Тежеу қарқындылығы статор орамдарының қысқа тұйықталуымен азайса, басқару сигналы $VS1$ тиристорына беріледі, ол статор тізбегіне түзеткіш токты өткізеді және динамикалық тежеу режимін қамтамасыз етеді.

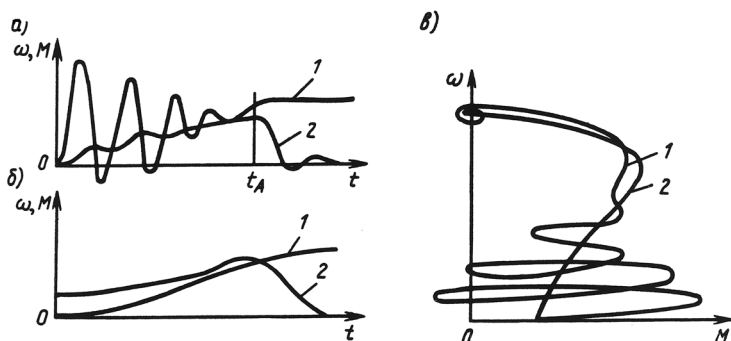
Тиристорлы іске қосу реттегіштерінің сериялы шығарылымдары АҚ тежеудің басқа да нұсқаларын қамтамасыз етеді, сонымен қатар электромагнитті моменттік лақтырулардың төмендеуі оның кернесіз іске қосылуы деп аталады (5.11 тарауында).

5.11. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАҒЫ ӨТПЕЛІ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ МЕН ОЛАРДЫҢ ЖАСАЛУЫ

Жалпы асинхронды ЭЖ-те АҚ-тың электромагнитті инерциялылық орамын анықтайтын электромагнитті және инерциямен ЭЖ механикалық бөліктерінің элементтерін анықтайтын механикалық өтпелі процестер пайда болады.

Электромагнитті өтпелі процестер. АҚ-тың статор мен ротордың орамдарымен өзара магнитті байланысқа түскен, роторды айналдырғанда орындары үзіліссіз өзгеріп отыратын бірнеше электрмеханикалық қуат жаңартқышы бар. Осыдан соң барып АҚ-ты қосқан сәтте, реверсте және тоқтатқанда пайда болатын статор мен ротор орамындағы өтпелі тоқтар өте күрделі теңселгіштікке тәуелді болып өзгереді,

ал олармен анықталатын электрмагнитті моменттер теңселгіш қасиетке ие және уақыттың күрделі функциясы болып табылады. Үлгі ретінде 5.40 суретте АҚты қосқанда 1 және 2 момент жылдамдығы кезіндегі өзгерістердің эксперименталды графигі көрсетілген, ал 5.40 суретте салыстыру үшін механикалық сипаттама статистикасы бойынша қаланған есептелген график көрсетілген.



5.40 сурет.

Олардың айырмашылықтарын көрсету қиын емес.

Құрылымы үшін моменттің мағынасы мен өтпелі процес уақытындағы сол моменттің жылдамдығы алынатын АҚтың динамикалық механикалық 1 $\omega(M)$ сипаттамасы өте күрделі болып келеді. (5.40 сур.кар.). Ол формула (5.11) бойынша есептелген АҚ-тың 2 статикалық механикалық сипаттамасынан бірден ерекшеленеді. Осы екі сипаттаманың айырмашылығы өтпелі электрмагнитті процесстердің АҚ-қа ағып өтуімен сипатталады. Қозғалтқыш моменті статор мен ротордың өтпелі тоғы статикалық режимде арнайы формуламен есептелген шамадан тыс болса өтпелі режимде бірнеше рет артылып қалуы мүмкін. Өтпелі құрылымдық тоқтармен негізделген магнитті жазықтық өтпелі электромагнитті моменттердің күшеюі мен әлсіреуін анықтайтын еріксіз (орнатылған) құрылымды токпен жасалған негізгі жазықтықты не күшейтеді, немесе әлсіретеді. Кейбір сәтте момент 1 алғашқы телімдегідей теріс (тежеуіштік) болуы мүмкін.

1 мен 2 сипаттамның аталған айырмашылықтары АҚ-тың динамикалық сипаттамасы оның орамдық параметрлеріне ғана байланысты емес, жүктеме моменті мен ЭЖ инерциясы моментіне де байланысты екендігімен анықталады. Бұдан басқа АҚтың өтпелі электрмагнитті моментінің сипаттамасы өтпелі процеске де (қосу, реверс, тоқтату) және қозғалтқыштың магнитті жазықтықтағы бастапқы деңгейіне де байланысты.

Бұл тәуелділіктердің талдауы инерцияның үлкен жиынтық моменттерінде және жүктеме моментінде АҚ-тың қисық моменті өтпелі процестің басында көптеген кемшіліктер мен баяу іске асатын өшулер болатынын анықтауға болады. Кішігірім моменттер кезінде инерциялар мен жүктемелер керісінше жүзеге асады.

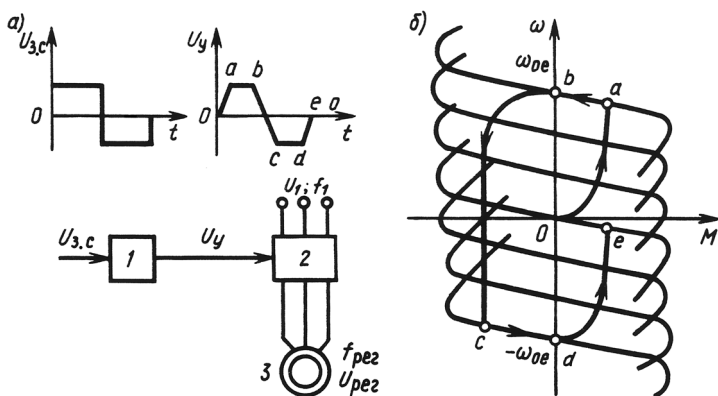
АҚ реверсте болғанда және тоқтағанда оның өтпелі процесінің сипатына сонда қалған магниттік жазықтық үлкен әсер етеді. Себебі қозғалтқышты сөндіргенде оның магнитті ағыны желіде бірден нөлге дейін төмендей алмайды. Есептеулер мен эксперименттердің көрсетуі бойынша бұл ағынның болуы өтпелі процеске кері әсерін тигізіп, АҚ-тың реверс пен тоқтаған сәтіндегі өтпелі моменттердің ұлғаюына әкеліп соғады.

Қозғалтқыштың өтпелі электромагнитті моменттерін қосқан сәтте оның шартты моменттері 3-5 есеге, реверсте тұрған сәтте 12-18 есеге дейін көтеріледі.

АҚ-тағы өтпелі процестер табиғатынан бейсызықты болып келетін және мерзімді коэффициенттерден тұратын дифференциалды теңгерім жүйесімен [21] сипатталады. Олардың шешімі $\omega(t)$ және $M(t)$ тәуелділіктерін табу үшін ЭЕМ көмегімен мақсатты түрде өндіру олып табылады.

Механикалық өтпелі процестер асинхронды ЭЖ-те АҚ моменттері $M(\omega)$ және атқарушы органның $M_c(\omega)$ жалпы жағдайда жылдамдықтың (сырғанау) бейсызықты функциясы болып табылатын механикалық қозғалтқыштардың (2.16) теңгерімімен сипатталады. Ізделіп алынған тәуелділіктер $s(t)$, $\omega(t)$ және $M(t)$ 2.7. бөлімінде қарастырылған.

5.41 суретте сұлбасы көрсетілген «**Жиілікті жаңартушы – асинхронды қозғалтқыш**» (ЖЖ-АҚ) жүйесіндегі өтпелі процестер БТ – ТҚТТҚ жүйесінде өтпелі процеске өзіндік мінезімен құрылуы мүмкін (4.8 бөл.қар.).



5.41 сурет.

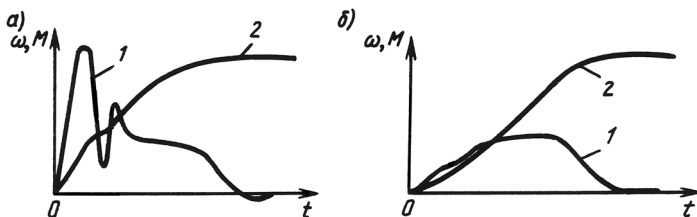
Ол үшін $U3$ тапсырмасының сигналы түскенде ЖЖ 2 кіргендегі $U_y(t)$ бағыты сигналының өзгеруіне қажетті заңды құрып 1 қарқындықты қадағалаушы қолданылады және осы есеппен АҚ 3 өтпелі үдерісіндегі жылдамдық пен моменттің өзгеріс графигін алуға мүмкіндік болады.

Жиіліктің баяу өзгерісі және АҚ-қа салынған күш электрмагнитті өтпелі үдерістің бірен-саран және толықтай жойылуына әсер етеді және сонымен сипатталады.

Үлгі ретінде 5.41 суретте қосу, реверс және тоқтату траекториясының механикалық сипаттамасы жиіліктің бейсызықты заңдылықта өзгергені жазықтықта көрсетілген, соныра $\omega_0(t)$ қозғалтқышының магнитті жазықтықтағы жылдамдығы көрсетілген. АҚ қосуына $0ab$ аумағы келеді, реверске – bcd аумағы, ал тоқтатуға – $de0$ осы траекториясының аумағы сәйкес келеді. АҚ-ты тоқтатқан сәтте ($0e$ аумағын қоспағанда) экономикалық тұрғыда ойға қонымды болып келетін желідегі қуаттың рекуперациясы жүзеге асатынын байқауға болады.

Қысық өтпелі $\omega(t)$ және $M(t)$ үдерістерін іске қосу үшін 4.8 бөліміндегі «жаңартқыш – қозғалтқыш» жүйесіне арналған формуланы қолдануға болады және осы тұста АҚ жұмысы оның механикалық мінездемелерінің бейсызықты аумақтарында жүзеге асатынын есепке алу керек.

«АҚ-тың күшін қадағалайтын» жүйедегі өтпелі үдерістің құрылымы. Жоғарыда аталып өткендей асинхронды ЭЖ-тегі өтпелі үдерістер үшін жалпы жағдайда электрмагнитті моменттердің амплитуда бойынша қалт кетуі негізделген және олар оның механикалық бөліктеріндегі қосымша динамикалық күшейтулерді шарттап, оның элементтерінің қирауына әкеп соғуы мүмкін. Осындай жағдайларда яғни ЭЖ-тің кинематикалық сұлбасына электрмагнитті моменттің өтпелі әсері міндетті емес тіпті керегі де жоқ, көбіне жағдайда АҚ моментінің құрылымына салынған күшті реттеуде (ТРН) тиристорлық реттегіш көмегімен жүгінуге тура келеді. АҚ-қа негізделген күштің баяу түрде ұлғаюына оның фаздық орамының жүйеге қосылу реттілігімен АҚ электрмагнитті моментінің ақаулары азаю эффектсіне ұшырайды. 5.42 суретінде 1 моментінің өзгерісі мен 2 АҚ қосылу үдерісіндегі қарғымалы түрде жылдамдығы көрсетілген, ал 5.42 суретте АҚ-қа түскен негізгі күштің экспоненциалды сипаты негізінде өзгерісі көрсетілген.



5.42 сурет.

Егер бірінші жағдайда максималды түрде екі есе АҚ апатты жағдай орын алса, екінші жағдайда күштемелердің өсуі барысында уақыт жиілігі 0,025 с құрайтын экспоненттер бойынша электрмагнитті моменттің теңселгіш моменті мүлдем пайда болмайды. АҚ-қа түскен негізгі күштің өзгеру жылдамдығы осы және де басқа да кез-келген заңдылықтар бойынша өзгеруі мүмкін. Мысалға сызықты заңдылықпен өзгеруі мүмкін.

ТКР-ті қолдану тағы да бір маңызды практикалық тапсырманы шешуге мүмкіндік береді. Ол – АҚ-тың қосылған тоқтарын реттеуді (шектеу) қолға алу. Оның маңыздылығы үлкен (бірнеше мың немесе мыңдаған кВт) қуатты қозғалтқыштарды іске қосқан кезде байқалады. Үлкен қуатты қозғалтқыштарды тікелей (тоқтың шектеуінсіз) іске қосқан сәтте пайда болған тоқтар желідегі күштің төмендеуіне әкеп соғады. Ол соңыра басқа электрқабылдағыштардың жұмысына әсер етіп, электрмагнитті механиканың және ЭЖ-тің шамадан тыс жылу жүктерінің артылуына әкеледі. АҚ-қа салынған күштің баяу өзгерісі оның қойылуы кезінде осы қайшы құбылыстарды төмендетуге мүмкіндік береді. Моменттің қалаған кестесіне қол жеткізу үшін және АҚ-тың өтпелі үдерісіндегі тоқтың құрылымы үшін негізделген ТКР іске қосқыш немесе «жұмсақ» стартерлер деген атауға ие болған

5.12. БІР ФАЗАЛЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫ БАР ЭЛЕКТРЖЕТЕК

Электр жүйесінің негізгі көзі болып тұрғылықты және әкімшілік қалалар мен ауылды жерлердегі ғимараттағы айнымалы тоқтың бір фазалы желісі болса бір фазалы АҚ-пен ЭЖ қабылданады. Бұл қозғалтқыштар ереже бойынша кішігірім қуат күшімен (10 кВт-қа дейін) шығарылады және кір жуғыш машиналар, тоңазытқыш, медициналық аппараттардың, шаңсорғыш, сауатын аппараттардың, центрифуга, кішігірім өңдейтін станоктардың жетектерінде қолданылады.

Бір фазалы АҚ-тың әртүрлілігі болып орындаушы қозғалтқыштар табылады, олар әртүрлі автоматты бағыттағы қондырғыларда қолданылады және жылдамдықтың кең тұрғыда реттелу мүмкіндіктерімен сипатталады.

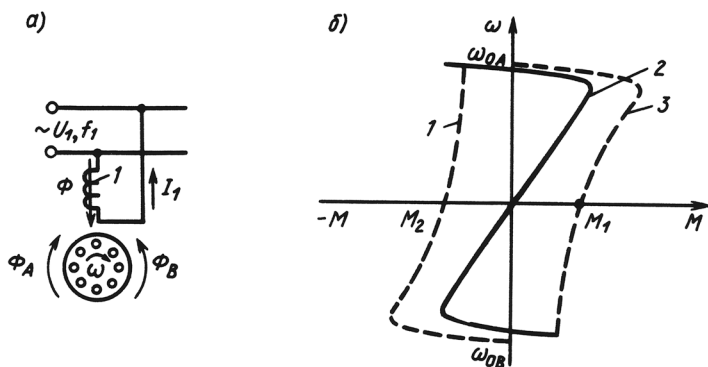
Өнеркәсіп қазіргі таңда бір фазалы АҚ АОЛБ сериясымен шығарады, олардың қуаттылығы 127, 220 және 380 В күш түскенде әрі 1370 – 2900 айн/мин номиналды жылдамдықпен 18-ден 400 Вт-қа дейін барады.; АВЕ қуаттылықпен 10 – 400 Вт-қа дейін; УАД қуаттылықпен 1 – 70 Вт-қа дейін бір фазалы режимде және тағы басқалары.

Бір фазалы АҚ үшфаздымен салыстырғанда көптеген нашар техникалық сипаттамалар мен көрсеткіштерге ие екенін ескере кетейік.

Сонымен бір фазалы АҚ-тың қуаттылығы үшфазды АҚ-тың қуаттылығының 70% жуық пайызын және аумақты көлемін құрайды

Бір фазалы АҚ шамадан тыс қуаттылығы төмен болып келеді.

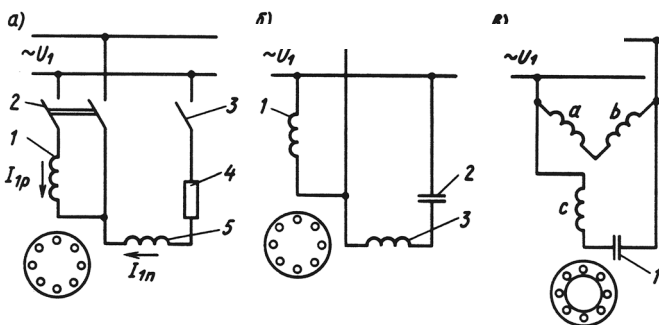
Бір фазалы АҚ-тың қосылу сұлбасы мен сипаттамасы. Бір фазалы АҚ статорда екі орамды болып келеді: негізгі (жұмыс істейтін) және іске қосатын. Бір фазалы АҚ-тың роторы ақшыл торда қысқа әрі жабық күйде іске асады. Алдымен 5.43 суретте көрсетілген бір фазалы АҚ-тың жұмысын яғни қосу сұлбасын қарастырайық. Бұнда іске қосу орамы өшіп тұр.



5.43 сурет.

Жұмыс істеп тұрған I қозғалтқыштың орамы айнымалы тоқтың бір фазалы желісіне U_1 күшімен және f жиілігімен қосылады. Бұл орамның бір фазалық тоғы Φ_A және Φ_B екі аумағына орналастыруға болатын, біркелкі амплитуда мен қарсы жаққа біркелкі жылдамдықпен $\omega_0 = 2\pi f/p$ айналдыратын пульстық магниттік аумақ қалыптастырады. Бұл магнитті аумақтарға 5.43 суретінде көрсетілген $\omega(M_A) - 3$ и $\omega(M_B) - 1$ механикалық сипаттамалар сай келеді. $\omega(M) - 2$ қозғалтқышының салдарлы сипаттамасы M_A және M_B моменттерінің бір және сол жылдамдықтағы алгебралық қосындысы болып табылады. Бұл сипаттама қысқа тұйықталуларды есептемегенде үшфазды АҚ-тың механикалық сипаттамасын еске түсіреді. Ротор қозғалмауы кезінде мағыналары жағынан бірдей бірақ M_1 және M_2 белгілері бойынша қарама-қайшы ($\gamma = 0, s = 1$) Φ_A және Φ_B магнитті жазықтықтар қалыптастырады, сондықтан салдарлы моментті ($M_n = M_1 - M_2$) іске қосқан сәтте теңгерімі нөлге тең болады және қозғалтқыш оның толқынына жүктелген момент болмаса да айналымға келмейді. Бір фазалы АҚ-ты іске қосу кезінде айналмалы магнитті аумақты түрде алуға мүмкіндік беретін қосалқы іске қосу орамдары болады, соңыра нақты бір іске қосу моменті пайда болады.

Бір фазалы АҚ түрлері. Электрлік машиналардың теориясынан білетініміздей, айналмалы магниттік өрісті алу үшін қозғалтқыш статорында кем дегенде екі орама орналастырылуы керек, және олар кеңістік ішінде белгілі бір бұрышқа жылжытылып, олар арқылы уақыт ішінде ығысқан максимумдары бар айнымалы токтар ағып өтуі керек. Осыған сәйкес, іске қосу орамасы қозғалтқыш статорына оның осін жұмыс орамасының осіне қарай 90° -қа жылжытып орналастырылуы керек, ал токтардың ығысуы оның тізбегіне қосымша фаза ығыстырушы элементтің (кедергі) қосылуымен қамтамасыз етіледі. 5.44 суретінде бір фазалы АҚ-тарды қосудың үш сұлбасы көрсетілген.



5.44 сурет.

5.44, а суретінде жұмыс 1 және іске қосу 5 орамалары U_V кернеулі бір фазалы айнымалы ток желісіне қосылады. Пп тогының фазасын 11 тогына қарай ығыстыру үшін іске қосу орамасының тізбегіне кедергісі zn фаза ығыстырушы элемент 4 қосылады, фаза ығыстырушы элемент ретінде белсенді резистор, индуктивтілік катушкасы немесе конденсатор қолданылуы мүмкін. Осындай ығыстырудың нәтижесінде, АҚ-ты іске қосқанда айналмалы магниттік өріс пайда болады да, ол белгілі бір іске қосу моментін дамытады.

АҚ-ты іске қосудың келесі ретпен жүреді. Алдымен екі ораманы желіге жалғайтын орамалары 2 және 3 тұйықталады да, АҚ жылдамдығын үдете бастайды. Белгілі бір жылдамдықта кілттің 3 көмегімен, іске орамасы желіден ажыратылады да, қозғалтқыш тек жұмыс орамасымен жұмыс істеуін жалғастыра береді. Кілт уақыт релесі, ток релесі немесе ортадан тепкіш реттегіштің көмегімен автоматты түрде басқарыла алады.

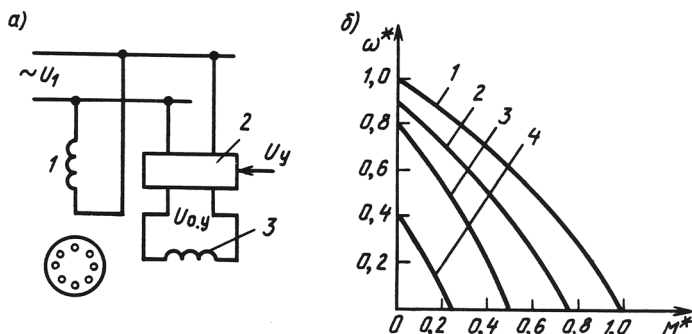
Фаза ығыстырушы элемент ретінде конденсатор қолданылғанда, бір фазалы АҚ ең қолайлы сипаттамаларға ие болады. Егер де конденсатордың сыйымдылығының көлемі ротор қимылсыз тұрғанда іске қосу орамасы жұмыс орамасының тогына қарай 90° -қа жылжитындай етіп тандалса, онда АҚ-ты орнынан қозғағанда шеңберлі айналмалы магниттік өріс пайда болады да, айтарлықтай іске қосу моментін дамыту мүмкіндігі туады

Конденсаторлы іске қосу орамасы АҚ іске қосылғаннан кейін және ол негізгі режимде жұмыс істеп тұрғанда өшірілмеуі де мүмкін. Бұл жағдайда ол енді қосымша орама емес, екінші жұмыс орамасына айналады. Мұндай қозғалтқыш конденсаторлы деп аталады (5.44, 6 сур. қараңыз) және де оның техникалық көрсеткіштері іске қосу орамасы бар АҚ-қа қарағанда әлдеқайда жоғары. Іс жүзінде конденсаторлы АҚ – 1 және 3 орамалары бар екі фазалы АҚ болып табылады, ол конденсатордың 2 көмегімен бір фазалы желіге қосылады.

Қажет болған жағдайда, бір фазалы АҚ есебінде қысқа тұйықталған роторлары бар үш фазалы қарапайым АҚ-тарды да қолдануға болады. Үш фазалы АҚ-ты қосудың мүмкін сұлбаларының бірі 5.44 суретінде көрсетілген, онда статордың a және b фазаларының орамалары ретпен байланыстырылып, тікелей қоректендіруші желіге қосылған, ал фаза орамасы дәл сол желіге конденсатор 2 арқылы жалғанады. Үш фазалы АҚ орамаларын бір фазалы желіге қосудың өзге сұлбалары бар, алайда олардың бәрінде ол бір фазалы АҚ сипаттамалары мен ерекшеліктерін иеленеді.

Бір фазалы АҚ-тың бір түрі – полюстері экрандалған қозғалтқыш болып табылады. Мұндай АҚ-тың статорында бір фазалы жұмыс орамасының айқын бейнеленген полюстері болады. Әр полюсті ұштықтың бөлігі қысқа тұйықталған ораммен қамтылған (экрандалған). Қозғалтқыштың осындай тәсілмен орындалуы оның жұмыс орамасы арқылы ток жүріп өткенде, айналмалы магниттік өріске жақын өрістің пайда болуын қамтамасыз етеді, соның әсерінен белгілі бір іске қосу моменті жасалады.

Бір фазалы АҚ-тардың бөлек бір тобын атқарушы қозғалтқыштар құрайды, олардың статорында екі орама (5.45, a сур.) – қоздыру 1 және басқару 3 орамалары болады. Қоздыру орамалары үнемі желіге қосылып тұрады, және олар атқарушы АҚ-ты қоздыруды қамтамасыз етеді. Екінші орама арнайы басқару блогынан 2 қоректенеді, оның көмегімен оған берілетін



5.45 сурет.

U_o кернеуінің амплитудасын, немесе U_i қоздыру кернеуіне қатысты оның фазасын немесе екеуін де *реттеуге* болады. Бірінші жағдайда атқарушы АҚ-ты амплитудалық басқару туралы айтылса, екіншісінде – фазалық және үшіншісінде – аралас басқару туралы айтылады. $U_{o,y}$ кернеудің амплитудасын немесе фазасын өзгерту сыртқы басқару U_y сигналы бойынша жүргізіледі. Атқарушы АҚ-тың салыстырмалы бірліктерде құралған механикалық сипаттамалары 1-4 (жылдамдық пен моменттің номиналды мәндері базалық ретінде қабылданған) 5.45, 6 суретінде көрсетілген ($U_y / U_{ном} = 1; 0,75$; кезінде сәйкесінше 0,5 және 0,25).

Атқарушы АҚ-тардың тағы бір түріне шағын инерциялы қозғалтқыштар жатады, олардың роторының массасы аз болады, және сәйкесінше инерция моменті де төмен болады. Магниттелмеген бос және ферромагниттелген бос роторлы АҚ-тар да қолданыста бар.

Магниттелмеген бос роторы бар АҚ-тың қарапайым электртехникалық болаттан жасалған екі – сыртқы және ішкі статоры болады. Олардың арасына ротор орналастырылады, ол алюминий қорытпасынан жасалған жұқа бүйірлі (1 мм-ге дейін) цилиндрден тұрады. Екі фазалы орама, әдетте, сыртқы статорға орнатылады.

Шағын инерциялы АҚ-тың ферромагниттік роторы бос цилиндр түрінде жасалады. Ротордың мұндай құрылымы АҚ жұмысы барысында магниттік ағын тек ротордың беткі бөлігінің аз ғана қабаты арқылы өтетіндігімен түсіндіріледі, яғни оның ішіндегі металл қолданылмайды және ол еш зақымсыз алынып тасталады.

Бір фазалы атқарушы АҚ-ты бақыланатын ЭЖ-те қолдану мысалы 9 тарауда қарастырылған.

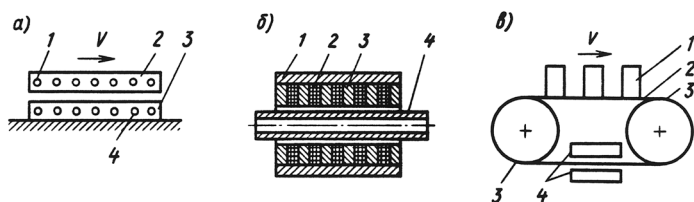
5.9. ЖАЗЫҚ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕК

Асинхронды ЭЖ-тердің көпшілігінде айналмалы қозғалысты қозғалтқыштар қолданылады, мұндай қозғалтқыштарды қолданғанда, атқарушы органдары ілгерілемелі қозғалатын жұмыс машиналары мен механизмдерінің жетектеріне (металл өңдейтін станоктар мен көпірлі крандарды қозғалтатын ілгерілету механизмдері, ұсталық-баспақтау машиналары, транспортерлер, ысырмалар және т.б.) қозғалтқыш білігінің айналмалы қозғалысын ілгерілемелі қозғалысқа айналдыратын механикалық берілістер қажет. Мұндай механикалық берілістерге қосиінді-бұлғақты механизм, тегершік – төрткілдеш, бұрандама – гайка және тағы да басқа бірқатар берілістер жатады.

Мұндай ЭЖ-терде ілгерілемелі қозғалатын қозғалтқыштарды пайдалануға деген ұмтылысты түсінуге болады, себебі соның арқасында механикалық берілістерді қолданудан бас тартып, жетек пен технологиялық жабдық жұмысының техникалық және экономикалық

көрсеткіштерін арттыруға болады. Дәл сол себепті тұрақты және айнымалы ток жазық қозғалтқыштары, әсіресе асинхронды ЖАҚ-тар жасалып шығарылды.

Мұндай қозғалтқыштың құрылымы жайлы түсінікті қалыптастыру үшін, ойша айналмалы қозғалысты АҚ роторы мен статорын жасаушы бойымен кесіп, 5.46, а суретінде көрсетілгендей оларды жазықтыққа жаю керек. ЖАҚ-тың әрекет ету принципі айналмалы АҚ-тың әрекет ету принципімен бірдей. Статор 3 орамасын 4 айнымалы ток желісіне қосқанда, ол магниттік өрісті қалыптастырады, ол $v = 2tf_1$ сызықтық жылдамдықпен ілгері қозғалады, мұндағы f_1 – корректендіруші кернеудің жиілігі, t – статордың полюстік бөлінісінің ұзындығы. Сызықты қозғалатын магниттік өріс ротор 2 орамасында ІЭҚК-ті жасайды, соның әсерінен онда ток ағып өте бастайды. Дәл осы ток пен магниттік өрістің өзара әрекеттестігі роторда (оны екінші реттік элемент деп атайды) тартым күшін жасайды да, ол оны қозғалысқа әкеледі.



5.46 сурет.

Екінші реттік элемент ЖАҚ статордан (бірінші реттік элемент) ұзын немесе қысқа, орамасыз немесе орамамен, жазық не цилиндр формасында болуы мүмкін. Мысал ретінде түтік тәрізді ЖАҚ-тың құрылымын қарастырайық (5.46, б сур. қараңыз), оның статоры цилиндр түрінде 1 жасалған, оның ішінде ораманы жасайтын шарғылар 2 мен магнит өткізгіштің бөлігі болып табылатын металл шайбалар 3 орналасқан. Статордың ішіне ферромагниттік материалдан жасалған, түтік тәріздес қозғалғыш екінші реттік элемент 4 орналастырылады.

Орамасыз жазық екінші реттік элемент табақ, жолақ немесе рельс түрінде жасалады, олар екі статор арасында (екіжақты статоры бар ЖАҚ) немесе статор мен ферромагниттік білік арасында орналастырыла алады. Екінші реттік элементі жолақ түріндегі ЖАҚ-тың әрекет ету принципі көлемді ферромагниттік роторы бар қарапайым АҚ-тың әрекет ету принципімен бірдей.

ЖАҚ керіқайтымды режимде де жұмыс істей береді, онда екінші реттік элемент қозғалыссыз тұрады да, статор ғана қозғалады. Мұндай ЖАҚ-тар әдетте транспортта қолданылады, онда екінші реттік

элемент есебінде рельс (немесе арнайы жолақ) қолданылады, ал қозғалмалы элемент транспорт құралының өзіне орналастырылады.

ЖАҚ координаттарын реттеу, қарапайым айналмалы қозғалтқыштыкімен бірдей, резисторлардың көмегімен, жиілікті және берілетін кернеуді өзгерту арқылы жүзеге асырылады, ал тежеу динамикалық немесе қарама-қарсы болуы мүмкін.

Барабандарға 3 бекітілген металл таспасының 2 көмегімен бұйымдарды 1 тасымалдауға арналған конвейердің (5.46, с сур. қараңыз) жетегіне ЖАҚ-ты қолдану мысалын қарастырайық. Таспа 2 ЖАҚ-тың екі статорының 4 арасынан өтіп, оның екінші реттік элементі болады. Бұл жағдайда ЖАҚ-ты қолдану таспа қозғалысының жылдамдығын арттыруға, оның сырғанап кетуін болдырмауға, механикалық берілістен бас тартуға мүмкіндік береді. Бірнеше ЖАҚ-тарды орнату ұзын конвейерлерді құруға мүмкіндік туғызады, қозғалмалы АҚ бар дәстүрлі ЭЖ-ті қолданғанда бұған қол жеткізу қиынырақ.

ЖАҚ-ты ұсталық-баспақтау машиналарының, штоктары ілгерілемелі қозғалатын ысырмалар мен клапандардың, тоқыма станоктарының, лифт есіктері механизмдерінің жетектері үшін пайдаланған абзал. Жазық қозғалтқыштар қолданылатын тағы бір үлкен сала – электр көліктері саласы болып табылады.

Бақылау сұрақтары

1. АҚ-тардың қандай серияларын электртехникалық өнеркәсіптер шығарады?

2. АҚ алмастыру сұлбасы дегеніміз не?

3. АҚ қандай энергетикалық режимдерде жұмыс істей алады?

4. АҚ-тың жасанды механикалық сипаттамаларын қандай тәсілдермен алуға болады?

5. АҚ координаттарын резисторлардың көмегімен реттеу тәсілінің қандай артықшылықтары мен кемшіліктері бар?

6. АҚ статорындағы кернеуді реттеу оны басқаруға қатысты қандай мүмкіндіктерді ұсына алады?

7. АҚ үнемділігін реттеу принципі неден тұрады?

8. Неліктен жиіліктік басқару тәсілінде АҚ-қа берілетін кернеу де өзгеріске ұшырайды?

9. ЖТ-гердің қандай түрлерін білесіз?

10. Тікелей байланысты ЖТ-тің әрекет ету принципін түсіндіріңіз.

11. Басқарылатын инверторлардың әрекет ету принципін түсіндіріп, оның негізгі түрлерін атаңыз.

12. Жиілікпен басқарылатын асинхронды ЭЖ-те АҚ-қа берілетін кернеуді реттеу ненің есебінен жүреді?

13. Көпжылдамдықты АҚ-тың полюстер жұптарының әр түрлі сандарын алу принципін түсіндіріңіз.

14. АҚ-ты қосудың каскадтық сұлбаларының пайда болу себебі неде? Каскадтық сұлбалардың түрлерін атап, сол сұлбалардағы АҚ-тың жылдамдығын реттеу принципін түсіндіріңіз.

15. АҚ бар ЭТ-тің координаттарын импульстік реттеу тәсілінің мәні неде?

16. Импульстік реттелетін жабық ЭЖ-тер не үшін қызмет атқарады?

17. АҚ-тың негізгі қосу сұлбасындағы тежеу қандай тәсілдермен жүзеге асырылады?

18. АҚ-тың динамикалық тежелісі дегеніміз не?

19. Асинхронды ЭЖ-тердегі өтпелі процестердің басты ерекшелігі неде?

20. Асинхронды ЭЖ-тердегі өтпелі процестің қалыптасуы қандай жолдармен жүреді?

21. Бір фазалы АҚ-тарды қолдану салалары қандай?

22. Бір фазалы АҚ жұмысының басты ерекшеліктері неде?

23. Бір фазалы АҚ жұмысының басты ерекшеліктері неде?

6 Тарау. СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕКТЕР

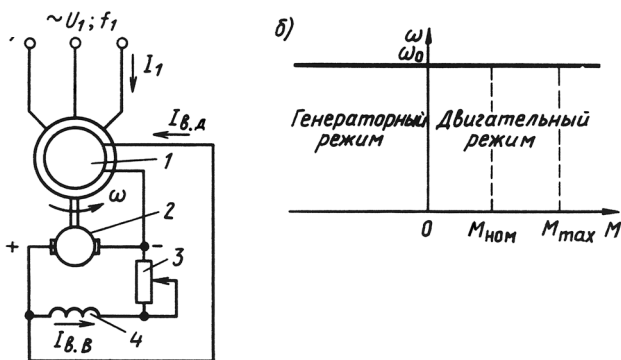
Синхронды үш фазалы қозғалтқыштар (СҚ) алуан түрлі жұмыс машиналары мен механизмдерінің ЭЖ-терінде кеңінен қолданылады, бұл олардың өте жоғары техника-экономикалық көрсеткіштерімен түсіндіріледі. СҚ жоғары қуат коэффициентіне $\cos \phi$ ие, ол бірге жақын немесе тіпті одан асып кетеді. СҚ-ның озық $\cos \phi$ коэффициентімен жұмыс істеп, оның үстіне желіге реактив қуаттың бере алу қабілеті жұмыс режимін жақсартып, электрмен жабдықтау жүйесінің үнемділігін арттыруға мүмкіндік береді. Заманауи СҚ-тардың ПӘК-і 96-98%-ды құрайды, бұл жылдамдығы мен сыртаумақтық өлшемі дәл сондай АҚ-тың ПӘК-інен 1-1,5% -ға жоғары. Синхронды қозғалтқыштарда асқын жүктемелік қабілетті қоздыру тоғын реттеу жолымен реттеуге болады, мұнда оның АҚ-қа қарағанда желі кернеуінен тәуелділігі төмен. Синхронды қозғалтқыш абсолютті қатаң механикалық сипаттамаға ие. СҚ құрылымының маңызды артықшылығы – онда үлкен ауа саңылауының болуы, сондықтан оның сипаттамалары мен ерекшеліктері мойынтіректердің тозуы мен ротор монтажының олқылығына аса тәуелді болмайды.

Электртехникалық өнеркәсіптер әр түрлі мақсаттағы СҚ серияларын шығарады. Жалпы қолданысқа қуаты 132-ден 1000 кВт-қа дейінгі СД2 және СД3 қозғалтқыштар сериясы, қуаты 315-тен 4000 кВт-қа дейінгі және коректендіру (жеткізу) кернеуі 380 мен 6000 В арасындағы СДН-2 және СДН-3 қозғалтқыштар сериясы шығарылады. Вертикаль сорғылардың жетегінде қуаты 4000-нан 12 500 кВт-қа дейінгі ВДС және ВДС2 қозғалтқыштары және қуаты 630-дан 3200 кВт-қа дейінгі ВСДН

қозғалтқыштар қолданылады. Жарылыс қаупі бар СДКП2 (315-5000 кВт) және СТДП (630-12 500 кВт) сериялы СҚ түрлері де бар.

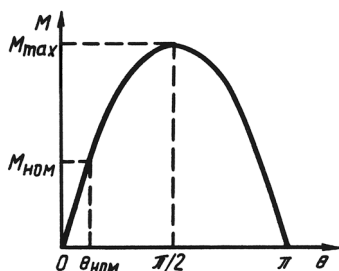
6.1. СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ҚОСЫЛУ СҰЛБАСЫ, СТАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ ЖӘНЕ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІ

Қосылу сұлбасы 6.1, а суретінде көрсетілген СҚ статоры айнымалы ток желісіне қосылатын үш фазалы орамасы бар асинхронды қозғалтқыш статорына ұқсас орындалады. СҚ роторында қоздыру және тиіннің торы тәріздес қысқа тұйықталған іске қосу орамалары болады. Құрылымдық тұрғыдан СҚ айқын полюсті және айқын емес полюсті цилиндр түрінде болуы мүмкін. Қоздыру орамасын қоректендіру көзі ретінде көбіне қуаты төмен (СҚ қуатының 0,3-3%-ы) айнымалы ток генераторы 2 қолданылады, ол қоздырғыш деп аталады, және ол қозғалтқышпен 1 бірге бір білікте орнатылады. Қозғалтқыштың қоздыру тогын I реттеу резистордың 3 көмегімен қоздырғыштың 4 қоздыру тогын $I_{\text{в}}$ өзгерту арқылы жүзеге асырылады. СҚ қоздыруды автоматтық түрде реттеудің (ҚАР) заманауи схемаларында тиристорлық басқарылатын түзеткіштер (тиристорлық қоздырғыштар) кеңінен қолданылады.



6.1 сурет.

СҚ айналмалы моменті статор орамалары жасайтын айналмалы магниттік өріс пен қоздыру орамасы немесе ротордағы тұрақты магниттер жасайтын магниттік өрістің өзара әрекеттестігімен шартталады. Бұл өрістердің өзара әрекеттестігі бағыты тұрақты СҚ айналмалы моментін тек ротор магниттік өріс жылдамдығымен $\omega_0 = 2\pi n f_1 / p$, яғни айналып тұрған өріспен синхронды айналғанда ғана жасай алады.



6.2 сурет.

Осылайша, СҚ-тың механикалық сипаттамасы $\omega(M)$ (6.1, б сур. қараңыз) ω_0 ординаталы горизонталь сызықтан тұрады, ол жүктеменің қандай да бір максималды моментіне $M_{\max}$ дейін бар болады, егер де ол шамадан асып кетсе СҚ синхронизмнен шығып қалады, яғни ротор мен магниттік өрістің синхронды айналуы бұзылады.

Қозғалтқыш пен желінің синхронды жұмысы сақталатын жүктеменің максималды моментін $M_{\max}$ анықтау үшін, СҚ бұрыш-тық сипаттамасының қызметі пайдаланылады (6.2 сур.). Ол M моменттің θ ығысу бұрышынан E статоры мен желінің фазалық кернеуінің U_ϕ ЭҚК векторлары арасындағы тәуелділігін көрсетеді.

СҚ моменті Θ бұрышының синусоидал функциясы болып табылады:

мұндағы U_ϕ – желі кернеуінің фазалық мәні; E – СҚ статоры орамасындағы ЭҚК; x_1 – СҚ орамасы фазасының индуктивті кедергісі; ω_0 – магниттік өрістің айналу жылдамдығы.

СҚ моменті максималды мәнге $\theta = \pi/2$ болғанда жетеді. Ығысу бұрышы СҚ-тың асқын жүктемелік қабілетін сипаттайды: мәндер үлкен болғанда Θ қозғалтқыш синхронизмнен шығып қалады, ал мәндер кіші болғанда – оның жұмысы тұрақты болады. Бұрыштың $\Theta_{\text{ном}}$ номиналды мәндері әдетте 25-30 құрайды, оларға номиналды момент $M_{\text{ном}}$ сәйкес келеді, және бұл жағдайдағы максималды моменттің еселігі төмендегідей болады: $\lambda_m = M_{\max} / M_{\text{ном}} = 2..2,5$.

6.2. СИНХРОНДЫ ҚОЗГАЛТҚЫШТЫҢ ІСКЕ ҚОСЫЛУЫ

Ротор жылжымайтын болғанда, және статор орамаларын айнаымалы ток желісіне, ал қоздыру орамаларын тұрақты ток көзіне қосқанда, статор мен ротордың магниттік өрістерінің өзара бағыттары үнемі өзгеріп отыратындықтан, СҚ бағыты бойынша тұрақты моменттің орнына, айнаымалы таңбалы айналдырушы моментін дамытады, соның нәтижесінде оны іске қосатын арнайы шараларсыз ω_0 синхронды жылдамдыққа дейін үдей алмайды.

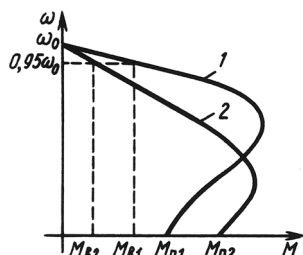
Қазіргі таңда шектеулі түрде қолданылатын іске қосу тәсілдерінің бір түрі қуаты төмен қосалқы қозғалтқышты қолданумен байланысты,

аталған қозғалтқыш СҚ білігінде орна-
тылады. Осы қозғалтқыштың көмегімен
жүктелінбеген СҚ роторы синхронды
жылдамдыққа дейін үдеп, желімен син-
хрондалады.

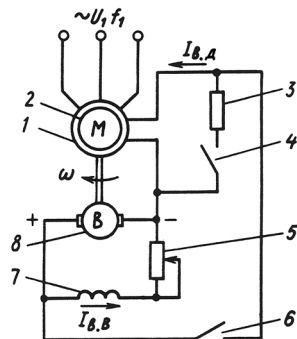
«СҚ – тұрақты ток генераторы»
жүйелерінде қосалқы қозғалтқыш
есебінде іске қосу периодында қозға-
лыс режимінде жұмыс істеп тұратын ге-
нератор қолданылады. СҚ-ты іске қосу
тәсілдерінің ішіндегі ең кең тараған
түрі – асинхронды деп аталады. Оны
іске асыру үшін СҚ роторына қосымша іске қосу орамасы салынады,
ол АҚ-тың тиін торы тәріздес қысқа тұйықталған орамасына ұқсас.
Бұл жағдайда СҚ айнымалы ток желісіне қосылған кезде, оның іске
қосылуы АҚ-қа ұқсас жүреді. СҚ синхрондыдан бірнеше пайызға
ерекшеленетін, синхронды жылдамдыққа жақын жылдамдықпен
жұмыс істегенде, ток қозғалтқыштың қоздыру орамасына беріледі
де, ол желімен синхрондалуға тартылады.

Өзінің параметрлеріне қарай, СҚ-тың іске қосу орамасы меха-
никалық іске қосу сипаттамасының екі негізгі түрін қамтамасыз
етеді (6.3 сур.). 1 сипаттамасы 2 сипаттамасына қарағанда жоғары
синхрондаушы (кірмелік) моментті $M_{г1}$, және төмен бастапқы (іске
қосу) моментін $M_{г1} < M_{г2}$ қамтамасыз етеді. СҚ-тың іске қосу сипат-
тамасының қандай да бір түрін таңдау оның нақты жұмыс шартта-
рымен анықталады.

СҚ-ты іске қосқанда оны қоздырудың екі негізгі схемасы қол-
данылады. 6.4 суретінде көрсетілген қоздырғышты іске қосудың
соңында қосу сұлбасы қолданылғанда, іске қосудың бірінші са-
тысында контакт 6 ашық, ал контакт 4 жабық. Қозғалтқыштың
1 қоздыру орамасы 2 резисторға 3 ашық болады да, асинхронды
іске қосу қолайлы жағдайда жүреді. Іске
қосудың соңында синхрондыға жақын
жылдамдыққа қол жеткізілгенде, арнайы
басқару релесінің командасы бойынша
контакт 4 ашылып, контакт 6 жабылады,
арнайы басқару релесі ретінде жиілік,
ток немесе уақыт релелері қолданылуы
мүмкін. Нәтижесінде, қоздыру орама-
сына 2 қоздырғыштан 8 ток беріледі де,
СҚ синхрондауға тартылады. Қоздыру
тогын реттеу қоздырғыштың қоздыру
орамасының тізбегіндегі 7 резистордың
5 көмегімен жүзеге асырылады.



6.3 сурет.



6.4 сурет.

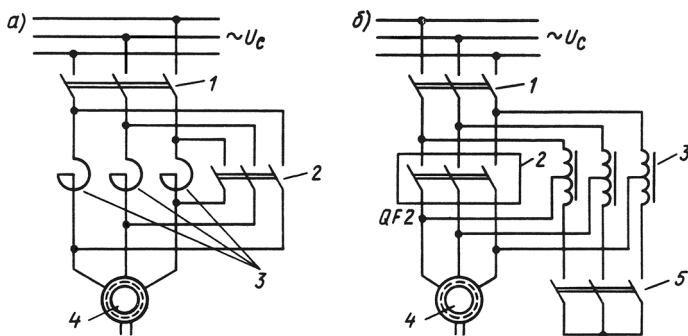
СҚ-ты қоздырудың екінші сұлбасы (6.1, *a* сур. қараңыз) әлдеқайда жеңіл, үнемі қосулы қоздырғыш сұлбасы атауына ие болды. Бұл сұлбада қоздыру орамасы іске қосудың ең басынан бастап үнемі қоздырғышқа 2 қосулы тұрады. $\omega \sim 0,7\omega_0$ жылдамдығында қоздырғыш өзінен өзі қозады да, СҚ-тың қоздыру орамасына қоздыру тогы беріледі, соның әсерінен синхрондыға жақын жылдамдыққа жеткенде қозғалтқыш синхрондауға тартылады.

6.1, *a* схемасына сәйкес іске қосу жоғарыда аталған жағдайлардан қолайсыздау жағдайда жүреді, себебі СҚ-тың іске қосу моменті 6.4 суретіндегі сұлбада қолданылғаннан төмен болады, бұл синхрондауға қиындықтар туғызады. Сондықтан бұл сұлба СҚ білігіндегі жүктеме моменті оның номиналды моментінен 50%-ға артық болмаса, ал ЭЖ пен атқарушы органның инерциялық массалары аз болмаған жағдайда СҚ-ты іске қосу жағдайы салыстырмалы түрде орташа болғанда қолданылады. Бұдан да қолайсыз жағдайларда қоздырғыш іске қосудың соңында қосылады.

СҚ-тың іске қосылуы іске қосу тогының шектелуімен немесе оны тіпті қолданбай орындалуы мүмкін. Көп жағдайда қуаты бірнеше киловаттқа дейін жететін (кейде тіпті одан да көп) СҚ-тар қуатты коректендіруші желі болса, ток шектеуінсіз, тікелей желіге қосу арқылы жүргізіледі. Тікелей іске қосу кезіндегі іске қосу тогының еселігі номиналдыға қарағанда әдетте 4-5-ті құрайды.

Қуаты коректендіруші желінің қуатымен пара-пар СҚ-ты (мыңдаған киловатт) іске қосқанда, іске қосу токтарын шектеу қажеттілігі туындайды, көбіне оған қосымша резисторлар, реакторлар немесе автотрансформаторларды қолдану арқылы қол жеткізеді.

Сұлбадағы реактор мен ажыратқышты 1 тұйықтап (6.5, *a* сур.), ажыратқыш 2 сөндірулі тұрғанда СҚ-ты 4 іске қосу тогын тиісті деңгейге дейін кемітуді қамтамасыз ететін статор тізбегіндегі реактормен 3 іске қосады. СҚ синхрондыға жақын жылдамдыққа



6.5 сурет.

жеткенде, реакторды шунттайтын ажыратқышты 2 тұйықтайды, сонда қозғалтқыш желіге қосылады. Іске қосуды автоматтандыру әдетте уақыт функциясында жүзеге асырылады. Кейбір сұлбаларда реактордың орнына арзанырақ белсенді резисторлар қолданылады.

Автотрансформаторлар қолданылған жағдайда (6.5, б сур. қараңыз), іске қосу кезінде ажыратқыштар 1 және 5 тұйықталады да, СҚ-қа кеміген кернеу беріледі. Олар синхрондыға жақын жылдамдыққа жеткенде, ажыратқыш 5 сөндіріледі, ажыратқыш 2 тұйықталады, ал СҚ тікелей қоректендіруші желінің шығару ұштарына жалғанады.

Автотрансформатор қолданылған жағдайда іске қосу тогы СҚ мен желі кернеулерінің қатынасының квадратына $(U_d/U_c)^2$ пропорционалды түрде кемиді, ал реакторлар мен резисторлар қолданылғанда – осы қатынасқа пропорционалды түрде кемиді. Дегенмен іске қосудың автотрансформаторлық тәсілі реакторлыққа (резисторлық) қарағанда әлдеқайда күрделірек, қымбатырақ әрі сенімсіздеу болып табылады, сондықтан бұл тәсіл сирек қолданылады.

СҚ-ты іске қосудың тәжірибелік сұлбалары 10-шы тарауда қарастырылған.

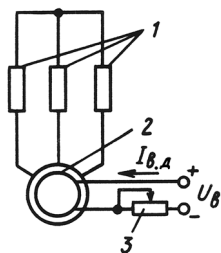
Атап өту керек, СҚ жиілікті түрлендіргіштен қоректенгенде, жиілікті іске қосу іске асырылуы мүмкін, ол арнайы құрылғының көмегімен ротор өріске «үлгеретіндей» және қозғалтқыш ең төменгі жылдамдықтың өзінде қорек көзімен синхронды жұмыс істейтіндей СҚ-ты қоректендіруші кернеудің жиілігін өзгерту екінін (сәйкесінше, оның магниттік өрісінің айналу жылдамдығын да) қамтамасыз етеді. Сондай-ақ, мұндай іске қосу тәсіліне қозғалтқышты іске қосқандағы қуат шығының аз болуы да тән.

6.3. СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ТЕЖЕУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН РЕТТЕУ

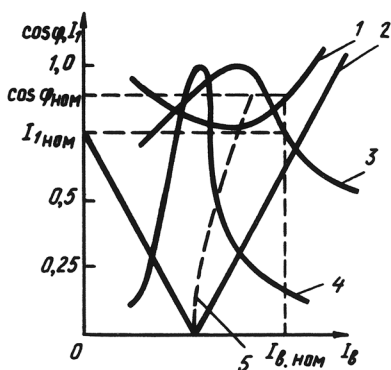
Соңғы кездерге дейін СҚ-ты қолданудың басты саласы – жылдамдығы бойынша реттелмейтін, қуаты жоғары ЭЖ-тер болды. Статикалық жиілікті түрлендіргіштердің пайда болуы ЖТ – СҚ жүйесі бойынша реттелетін синхронды ЭЖ-терді жасаудың тәжірибелік мүмкіндіктерін анықтады, оларды жасаудың басты принциптері мен ерекшеліктері ЖТ – АҚ жүйесімен бірдей.

Кез келген өзге электрқозғалтқыш секілді СҚ-ты тежеу оны генераторлық режимге ауыстыру арқылы жүзеге асырылады.

Бұл ретте 6.6 суретінде бейнеленген динамикалық тежеу сұлбасы көп қолданылады (СҚ жұмысы барысында генераторлық режим айнаымалы ток желісінен тәуелсіз). Бұл сұлбада



6.6 сурет.



6.7 сурет.

ния и применения сложных СҚ статорының орамалары 2 айны-малы ток желісінен ажыратылады да, қосымша резисторларға I тұйықталады, ал қоздыру орамасы резистор 3 арқылы қоздыру көзіне U_B қосулы күйінде қалады.

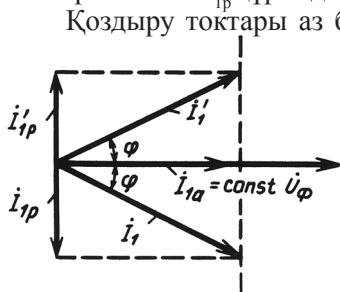
СҚ-ты қарама-қарсы қосу арқылы тежеу тәсілі сирек қолданылады, себебі СҚ-ты бұл режимге ауыстыру кезінде ток пен момент айтарлықтай секіреді, сондықтан токты шектеуді және

күрделі басқару тәсілдерін қолдануды талап етеді.

6.4. СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШ РЕАКТИВТІ ҚУАТТЫҢ ӨТЕМДЕУІШ ЕСЕБІНДЕ

СҚ-тың реактивті қуат көзі (өтемдеуіш) ретінде жұмыс істей алу мүмкіндігін статор қозғалтқышының ток тәуелділігін I_1 және тұрақты кернеу, жиілік пен қуат $U_\phi = \text{const}$, $f = \text{const}$ и $P_1 = \text{const}$ болғандағы I_B қоздыру тогынан $\cos \phi$ тәуелділігін бейнелейтін U-бейнелі сипаттамалары (6.7 сур.) мысал ретінде көрсетеді.

I_1 тәуелділігінің минимумына (I_ϕ) қуат коэффициентінің максимумы $\cos \phi = 1$ сәйкес келеді, оны СҚ-тың векторлық диаграммасының фрагментінің көмегімен түсіндіруге болады (6.8 сур.), бұл фрагмент желі кернеуінің U_ϕ , статор тогының I_1 , СҚ қоздыру тогы әр түрлі болған жағдайдағы статор тогының активті I_{1a} және реактивті I_{1p} құрамдастарын көрсетеді.



6.8 сурет.

Қоздыру токтары аз болғанда, статор тогы $I U_\phi$ кернеуінен ϕ бұрышқа артта қалады, бұл СҚ-тың артта қалған $\cos \phi$ жұмысына және оның реактив қуатты жеткізу желісінен шығатынына сәйкес келеді, себебі жалпы токтың активті құрамдасы $I_{1a} = I_1 \cos \phi$ бағыты бойынша U_ϕ желі кернеуінің векторымен сәйкес келеді, ал реактивті құрамдас I_{1p} одан 90° -қа артта қалады.

СҚ үнемі механикалық жүктеме астында жұмыс істеп, желінің белсенді қуатын жұмсайды деп болжасақ,

$$P_1 = 3U_{\phi}I_1\cos\varphi = 3U_{\phi}I_{1a} \quad (6.2)$$

(6.2)-ден $P_1 = \text{const}$ болғанда $I_1 = \text{const}$ болатынын байқаймыз. Сондықтан, СҚ-тың қоздыру күші артқанда, толық ток I векторының соңы вертикаль штрих сызығына қарай жоғары жылжиды, бұл ток ағымының құрамдас бөлігінің азаюын білдіреді. Номиналды ток ағынына жақын белгілі бір токты қоздыру кезінде токтың реактивті компоненті нөлге тең болады, яғни статор тогы таза белсенді $I_1 = I_{1a}$. Бұл режимге 6.7 суретіндегі 1 және 2 қисықтарының минимум нүктелері мен $\cos\varphi = 1$ максималды мүмкін мәні сәйкес келеді.

СҚ-тың қоздыру тогын одан әрі арттырғанда, қайтадан I_{1p} ток құрамдасы пайда болады, бірақ ол желі кернеуінен 90° -қа алда болады. Осыған байланысты статор тогы да желі кернеуін артта қалдырып, СҚ реактив қуатты қоректендіруші желіге беріп, озық $\cos\varphi$ -мен жұмыс істей бастайды.

6.7 суретінде $I_1(I_a)$ -қисықтар, 1, 2 и $\cos\varphi(I_a)$ -қисықтар, 3, 4 номиналды жүктеме кезінде СҚ Рном (1 и 3) және оның бос жүрісі (2 и 4) көрсетілген. Белгіленген сызықтың 5 оң жағындағы тән аймақ жетекші СҚ-тың $\cos\varphi$ ілгері жұмысына сәйкес келеді, сол жағында-артта қалған, шын мәнінде $\cos\varphi = 1$. Біліктегі механикалық жүктемесіз СҚ реактивті қуат компенсаторы деп аталады және бұл функция энергиямен жабдықтау жүйелерінде көбінесе қолданылады.

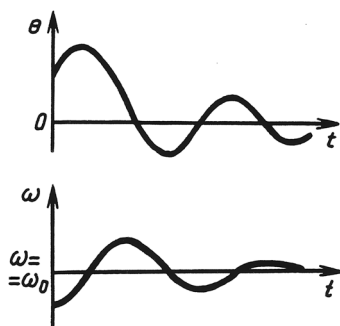
6.7 суретінде көрсетілгендей, жүктеме қуаты артып отырғандықтан, реактивқуатты ($\cos\varphi$ ілгерілеуші) генерациялау аймағы жоғары қоздыру токтарына ауысады. Осылайша, егер СҚ білікке ауыспалы жүктемемен жұмыс істесе, онда қоздыру тогында толық өзгеріс болады.

Қозғалыс тогының реттелуі электр жүйесіндегі реактивті қуат компенсаторы ретінде СҚ-ты ғана қолдануға мүмкіндік бермейді, сонымен қатар механикалық жүктеме өзгерген кезде қозғалтқыштың тұрақтылығын қамтамасыз ету; қозғалтқыш қосылатын қуат жүйесінің түйіндегі қалыпты кернеуді сақтау; қозғалтқыш пен қуат жүйесіндегі ең аз қуат шығыны; $\cos\varphi$ қозғалтқышты немесе торапты электрмен жабдықтау жүйесімен байланыстыруды реттеу.

Жалпы жағдайда СҚ-тың басқару тогы қоздырудың автоматты басқару жүйелері (ҚАБЖ) арқылы бақыланады, онда тиристордың қоздырғыштары мен кері байланысының әр түрлі түрлері пайдаланылады.

6.5. СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕКТІҢ ӨТПЕЛІ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Синхронды электр қозғалтқышы бар электр жетектеріндегі өтпелі процестералуан түрлігімен және күрделілігімен ерекшеленеді. Синхронды қозғалтқыш желіде синхрондалған кезде механикалық жүктемені арттырады (азайтады), азайтады (қозғайды), қоздыру тогын реттейді, электр желілеріндегі қысқа тұйықталу салдарынан туындаған кернеуді өзгертеді. Бұл өтпелі процестерді зерттеу – күрделі міндет болып есептеледі. Бұл СҚ-та бірнеше статор орамалары, қозу және іске қосу бар екенін білдіреді, айнымалы және тікелей токтың арқасында дамыған,



6.9 сурет.

бір-біріне магнитті түрде жалғанған және қозғалтқыш жұмысында тұрақты түрде бір-біріне қатысты жағдайды өзгертеді. Сонымен қатар, көптеген жағдайларда СҚ пен электр желісінің өзара әрекеттесуін ескеру қажет.

Жалпы синхронды ЭЖ-тегі өтпелі процестер электрмеханикалық болып табылады, яғни ЭЖ-тің электрлік және механикалық бөліктеріндегі процестер бір-бірімен байланысты және әдетте тербелмелі сипатқа ие.

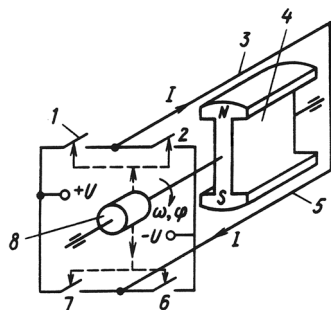
6.9 суретінде мысал ретінде СҚ-тың синхронизмге енгендегі термелі баяулаған өтпелі процестің графикасы көрсетілген.

6.6. ВЕНТИЛЬДІ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕК

Вентильді (ВҚ) деп электронды кернеу қосқышы бар СҚ-ты атайды, оған статор орамасы қосылған, ротордың орналасу сенсоруы қозғалтқыш білігінде орнатылған және ол ротордың орнына байланысты коммутатордың жұмысын басқарады. Ротор күйінің сенсоруы коммутатордың пернелерін ашатын және жабатын, тиісті статор орамаларын желіге қосу мерзімді сигналдарын шығарады. Нәтижесінде статор магнит өрісі ротор сияқты орташа жылдамдықпен айналады.

Вентильді қозғалтқыштың жұмыс принципін қарастырайық (6.10 сурет), 4 роторы білікке арналған датчиктің көмегімен тұрақты магнит N - S болып табылады.

Коммутатор төрт басқарылатын кілтте орындалады 1,2 және 6,7, және тұрақты кернеу U көзіне байланысты. СҚ-тың статор орамасын талдауды жеңілдету үшін диаграммада екі өткізгіш көрсетілген 3 және 5. Басқарылатын кілттер датчиктен 8 келіп түсетін сигналдар бойынша кез келген қажетті реттілікте және кез келген ұзақтыққа ашылып-жабылады деген болжаммен, сұлба жұсымын қарастырып өтейік.



6.10 сурет.

3 және 5 өткізгіштері арқылы I тогының белгі-ленген бағыт бойынша ағып өтуі үшін 1 және 6 кілттері жабық болуы керек. Ротордың магниттік өрісі мен 3 және 5 өткізгіштеріндегі I тогының өзара әрекеттесуінің нәтижесінде айналдырушы момент әрекет ете бастайды, ол роторды сол қол ережесі бойынша сағат тіліне қарай бұрады. Ротор 180° – қа (айналымның жартыс) бұрылғаннан кейін, айналдырушы моменттің бұрынғы бағытын сақтап қалу үшін, қозғалтқыш білігіндегі 3 және 5 өткізгіштердегі ток бағытын қарама-қарсы бағытқа өзгерту керек. Ол үшін датчиктен 8 кілттерді 1 және 6 ашып, 2 және 7 кілттерін жабу туралы команда келіп түседі. Роторды тағы да 180° –қа бұрғаннан кейін, датчик 8 сигналы бойынша 1 және 6 жабылып, 2 және 7 ашылады. Осылайша, ротор күйінің датчигінің 4 сигналдары бойынша басқарылатын кілттердің көмегімен статор орамасындағы токтың коммутациясы жүреді, ол қозғалтқыштың айналдырушы моментінің кез келген айналу жылдамдығында оның тұрақты бағытын сақтап тұруға көмектеседі.

Өзінің әрекет ету принципі бойынша, ВҚ қоздыру орамасы (немесе тұрақты магниттер) роторында (айналатын бөлігі) орналасатын тұрақты ток қозғалтқышына ұқсас екенін байқауға болады. Бұл ретте ВҚ артықшылығы – оның коллекторлы-щеткалы түйіні болмайды, сондықтан тұрақты токтармен қоздырғанда ол толығымен байланыссыз болады, немесе қоздыру орамасы қолданылғанда оның екі байланыс сақинасы болады.

Тұрақты ток қозғалтқышы мен ВҚ әрекет ету принциптарының сәйкестігі олардың механикалық сипаттамаларының ұқсастығын да анықтайды.

ВҚ статорында вентильді коммутатордан қоректенетін үш фазалы айнаымалы ток орамасы орналасады. Қозғалтқыштың қоздырылуын қамтамасыз ететін ротор тұрақты магнит түрінде немесе байланыс сақиналары мен щеткалардың көмегімен тұрақты ток көзінен қоректенетін қоздыру орама түрінде жасалуы мүмкін.

Тұрақты магниттерден қоздырылатын және қуаты 30 кВт дейінгі қозғалтқыштар, әдетте, көп полюсті болады.

Қоздыру орамалары бар қозғалтқыштарға қарағанда, мұндай қуат диапазонында тұрақты магниттері бар қозғалтқыштардың сыртаумақтық өлшемдері мен массасы аз, ал ПӘК-і жоғары болады.

Орташа және көп қуатты ВҚ-тарда әдетте қоздыру орамасы роторда орналасқан СҚ-тар қолданылады.

Соңғы кездері қуаты 30-дан 200 кВт-қа дейінгі ВҚ-тар байланыссыз, үш фазалы орамамен бірге статорда арнайы әдіспен орналастырылатын қоздыру орамасын қолданып жасалады. Бұл ретте, ротор орамасыз тісті сақина (тісті доңғалақ) болып табылады, ол арқылы қоздыру орамалары мен айнымалы токта жасалатын магнит ағын тұйықталады. Ол үш фазалы орама жасайтын айналмалы магнит ағынымен синхронды айналады. Бұл жағдайда қоздыру орамасы магнит ағынын күшейтеді де, сол арқылы қозғалтқыштың айналдырушы моментін арттырады.

ВҚ сұлбасындағы коммутатор өзінің әрекет ету принципі бойынша басқарылатын инвертор болып табылады, ол тікелей тұрақты ток көзінен (тұрақты ток желісі, аккумулятор батареясы) немесе қозғалтқыш айнымалы ток желісіне қосылғанда, басқарылатын түзеткіштен қоректенеді. Бұл ретте коммутатор 5.6 тарауында қарастырылған, айнымалы ток буыны бар жиілікті түрлендіргіш болып табылады.

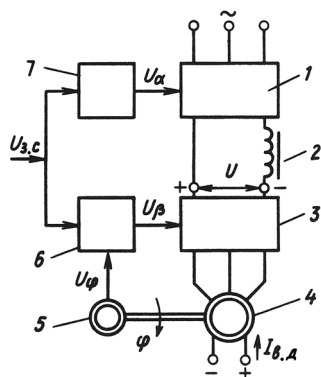
ВҚ-ты ЭЖ-терде қолданылатын тиристорлық жиілік түрлендіргіштерде вентильдегі ток коммутациясы инвертор жүктемесінің жиілігі (СҚ-тың үш фазалы орамасы) инвертордың шықпалық кернеуімен бірдей ЭҚК-ке ие болғанда ғана қолданылады. Сондай-ақ, осы ЭҚК әрекетінің көмегімен вентильдер коммутациясы жүзеге асырылады, ол табиғи коммутация деп аталады.

Сұлбасы қарапайым инверторды қолдануға мүмкіндік беретін вентильдердің табиғи коммутациясы қозғалтқыштың ЭҚК-і салыстырмалы түрде көп болғанда, оның жылдамдығы номиналдықтан 10% төмен болмаса ғана жүзеге асырыла алады. Осыған байланысты ВҚ-ты іске қосу күрделі болып келеді және аталған кемшілікті жөндеу үшін арнайы шаралар қажет етіледі.

Вентильдер коммутациясы жасанды инверторлар дегеніміз – тұрақты ток немесе кернеуді айнымалыға айналдыратын, вентильдерді мәжбүрлі коммутациялайтын түрлендіргіш болып табылады, осының нәтижесінде оның жұмысы жүктеме түрі мен режимінен толығымен тәуелсіз деуге болады. Іске қосу барысындағы қиындықтарды жоятын жасанды коммутациялы ВҚ схемасы 6.11 суретінде бейнеленген, ол табиғи коммутациялы инверторларға тән.

Вентильді қозғалтқыштың 4 жылдамдығын реттеу түзеткіш 1 шығысындағы кернеуді басқару блогынан 7 келіп түсетін U_g сигналының көмегімен өзгерту арқылы, автономды инвертор 3

тиристорларының басқару бұрышын өзгерту арқылы (U_α инверторды басқару 6 шығысынан $\dot{U}_\beta$ сигналы) және қоздыру тоғын $I_{\text{вм}}$ өзгерту арқылы жүзеге асырылады. Алғашқы екі жағдайдағы жылдамдық деңгейі U_{3c} сигналы арқылы анықталады. Ротор күйінің датчигі 5 қозғалтқыштың роторы күйіне пропорционал U_φ сигналы арқылы инвертор 3 тиристорларының коммутациясына қажетті коммутацияны жасайды. Түзеткіш 1 пен инвертор 3 арасында қосылған реактор 2 фильтрдің рөлін атқарады.



6.11 сурет.

Тікелей байланысты жиілікті түрлендіргіштерді қолданып, ВҚ-тарды іске қосу кезінде ешқандай мәселелер туындамайды. Бұл түрлендіргіштерде вентильдер коммутациясы желілік кернеудің нөл арқылы өтуімен, табиғи жолмен жүреді. Алайда, жоғарыда аталып өткендей, тікелей байланысты жиілікті түрлендіргіштертің реттеу мүмкіндіктері шектеулі.

Статикалық және динамикалық режимдерде реттеудің жоғары сапалы нәтижелеріне қол жеткізу үшін, ВҚ-ты ЭЖ-терде әр түрлі кері байланыс түрлері қолданылады.

Қазіргі таңда шығарылатын ЭПБ-1 және ЭПБ-2 сериялы вентильді қозғалтқыштар станоктар мен роботтар механизмінің электржетектерінде қолдануға арналған.

6.7. ҚАДАМДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

Кейбір жұмыс машиналарының және механизмдерінің орындаушы органы қозғалыстың соңында өз қалыпын тиянақтаумен қатаң мөлшерлі ауысу жасауы тиіс. Мұндай машиналар мен механизмдердің ЭЖ дискретті ЭЖ негізін құрайтын қадамды қозғалтқыштар әр түрлі типтегі (ҚК) табысты қолданылады.

Дискретті ЭЖ кең таралуы техниканың барлық салаларында кеңінен қолданылатын цифрлық басқару машиналарымен, бағдарламалық құрылғылармен, микропроцессорлармен табиғи тәсілмен үйлесетін жағдаятымен анықталады. Мысалы, дискретті ЭЖ сандық бағдарламалық басқарумен (СББ) металл өңдеуші білдектерде, роботтар мен манипуляторларда, иілгіш автоматтандырылған өндірісте, электронды және сағаттық өндірісте қолданылады.

ҚК–мен ЭЖ қазіргі уақытта ваттың бөлігінен бірнеше киловаттқа дейін қолданылады, бұл сериялық шығаратын қозғалтқыштардың

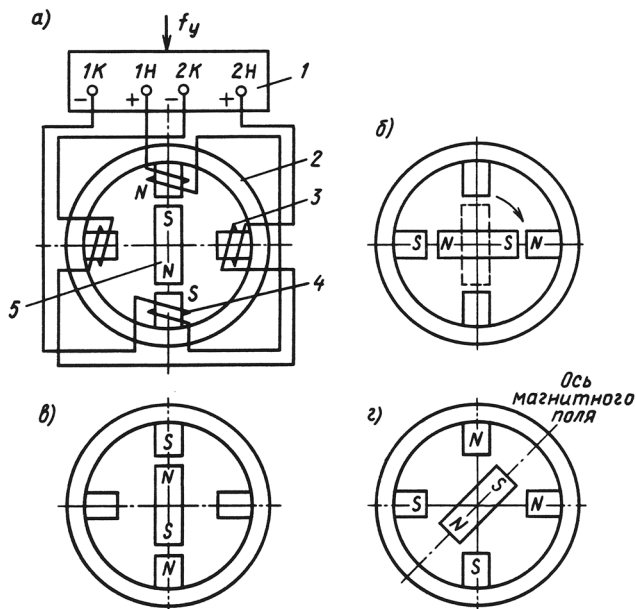
қуаттығымен анықталады. Дискретті ЭЖ қуаттығы шкаласының кеңеюін сәйкес басқару есебінен қадамдық режимде жұмыс істей алатын сериялық АД қолданып жетуге болады.

Қадамдық қозғалтқыш өз әрекетінің принципі бойынша синхрондығымен ұқсас, соңғысына қарағанда ҚҚ магниттік жолағы үздіксіз емес, дискретті, қадамдармен ауысады (айналады). Оның орамасына (фазалары) қоятын көпфазалы кернеуінің жүйесіне басқарылатын импульстардың бір каналды бірізділігін түрлендіретін электронды коммутатордың көмегімен ҚҚ орамаларының импульсті қозуы есебінен жетеді.

ҚҚ фазаларындағы кернеудің дискретті сипатына әуе саңылауындағы электромагнитті дискретті алуға (ауысу) сәйкес, соның салдарынан ротордың қозғалысы бірізді элементарлы бұрылыстар немесе қадамдардан тұрады.

Қадамдық қозғалтқыштың әрекет принципі мен негізгі қасиеттері. Ротордың дискретті ауысуын алу принципін екі фазалы ҚҚ қарапайым сызбасының үлгісінде қарастырамыз (6.12, *a* сурет).

ҚҚ статорда қозу (басқару) орамасы орналасқан анық байқалатын полюстердің екі жұбы бар: $1H - 1K$ түйінімен 4 с орама және $2H - 2K$ түйінімен 3 с орама. Орамалардың әрқайсысы статордың



6.12 сурет.

қарама-қарсы полюстерінде орналасқан екі бөлікті орамадан тұрады. Қарастырылатын сызбадағы ротор болып 5 екі полюсті тұрақты магнит болады.

Орамаларды қуаттандыру басқару құралынан түсетін кернеу импульстерімен іске асырылады, ол ҚҚ фазаларының саны бойынша f жиілігімен басқарудың кіру импульстерінің бір каналды бірізділігін өзгертеді. Кернеудің уақытының бастапқы кезеңіндік 4 орамаға беретіндігін болжамдап ҚҚ жұмысын қарастырамыз. Бұл орама бойынша токтың өтуі $N - S$ полюстарымен вертикалды орналасқан 2 с статорының магниттік өрісінің байқалуына әкеледі. Осы өрістің тұрақты магнитпен (ротормен) әрекет ету нәтижесінде соңғысы статормен ротордың магниттік өрісінің білігі сәйкес келетін тепе-тең қалыпта болады. Қалыпы тұрақты болады, себебі одан ауытқу кезінде роторға оны тепе-тең қалыпқа қайтаруға талпынатын сәт (синхрондайтын) әрекет етеді:

$$M = M_{\max} \sin \alpha, \quad (6.3)$$

мұнда α – статор мен ротордың магниттік өрісі арасындағы бұрыш; $M_{\max}$ – максималды сәт.

1 басқару блогының көмегімен кернеу 4 орамадан алынып, 3 орамаға берілетіндігін болжайық. Бұл жағдайда горизонталды полюстермен (6.12, б суретті қар.) статордың магниттік өрісі қалыптасады, яғни магниттік өріс статор шеңберінің төрттен бір бөлігіне дискретті бұрылыс жасады. Бұл ретте статор мен ротордың біліктері арасында $\alpha = 90^\circ$ келісілмеуі бұрышы пайда болады және $M = M_{\max}$ айналу сәті формулаға (6.3) сәйкес әрекет етеді, оның әрекетімен статор шеңберінің төрттен бір бөлігіне бұрылады және суретте тұтас сызықпен көрсетілген жаңа тұрақты тепе-тең қалыпты алады. Осылайша статор өрісінің қадамдық ауысуы артынан осындай қадамдық ауысуды қозғалтқыш роторы да жасайды.

3 орама сөніп, қоректендіру 4 орамадан қайтадан беріледі, бірақ кернеу полярлығымен 6.12, а суретті салыстыру бойынша қарама-қарсы деп болжайық. Статордың магниттік өрісі тағы да вертикалды орналасқан полюстары, бірақ 6.12, а суретімен салыстырғанда полярлығымен басқаша болады. Бұл магниттік өріс шеңбердің төрттен біріне тағы да бір қадам жасағандығын және ротор синхрондайтын сәтті әрекет етеді, ол 6.12, в суретінде көрсетілген қалыпқа оны бұрады. Егер де 4 ораманы сөндіріп, кернеудің қайта полярлығымен 3 ораманы қосса, сол бағыттағы келесі қадамды ротор жасайды. 3 орамадан кернеуді алу кезінде және 4 орамаға кернеуді бергенде ротор толық айналым жасайды.

Ротордың қадамды ауысуы 90° қамтамасыз ететін қозғалтқыштың орамасының симметриялық коммутациясының қарастырылған тәсілінен басқа ротордың қадамын екі есе азайтатын қозғалтқыштың конструкциясы мүмкіндік беретін коммутациясының тәсілі бар.

ҚҚ бастапқы қалыпы 6.12, *а* суретінде көрсетілген сызбаға сәйкес екендігін болжайық. 4 ораманы сөндірмей, 6.12, *б* суретінде магниттік өрісінің қалыпына сәйкес полярлығы 3 с ораманы қосамыз. Сонымен бірге полюстердің горизонталды жүйесінің екіншісі қалыптасады және әрекет етуші магниттік өріс горизонталды және вертикалды полюстердің магниттік өрісінен жиналады. Осындай тіркейтін өрістің білігі 6.12 суретінде көрсетілген полярлығы бірдей полюстердің арасында орналасады, яғни магниттік өрісінің білігі 45° айналым жасайды. Осындай қозу тәртібіндегі ротор ҚҚ орамасы бұрынғыдай 90° емес, 45° бұрылады.

Егер де енді 4 орамадан кернеуді алса, магниттік өрістің қалыпы 6.12, *б* суретіне сәйкес болады. 3 орамасын сөндірісүз 4 ораманың қозуы және т.б. кезінде мғниттік өрістің және ротордың келесі ауысуы 45° болады. Кезекпен бір немесе екі орама қосылатын коммутациясының сызбасы симметриялық емес деп аталады.

ҚҚ бұрыштық ауысуы жалпы жағдайда анықталады

$$\alpha = 2\pi/(pn), \quad (6.4)$$

мұнда p – ротор полюстерінің жұп саны; n – симметриялық коммутация және симметриялық емес кезінде фазалардың көбейтілген санына және ҚҚ фазаларының санына тең циклдағы ауысулар (такттер) саны.

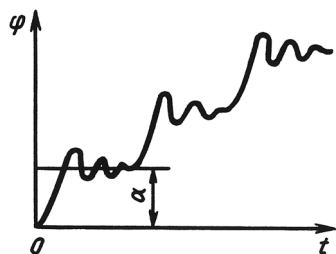
Ротордың қадамдық ауысуы басқарушы импульстердің бірізділігіне сәйкес, сонымен бірге әр импульске ҚҚ орамасына бір ауысуына сәйкес (коммутацияның бір такті) және ротордың бір қадамына сәйкес. ҚҚ бұрылуының суммалық бұрышы импульстер санына пропорционалды, алл оның жылдамдығы – f орама коммутациясының жиілігі.

$$\omega = \alpha f_k, \quad (6.5)$$

ҚҚ реверсі үшін, мысалға коммутацияның симметриялық сызбасы кезінде коммутацияның бұл такті сөндірілгенде ораманың кернеуінің полярлығын өзгерту керек. Онда ҚҚ роторы қарама-қарсы бағытта қадам жасайды.

Қадамдық жетектің жұмыстың негізгі режимі динамикалық болады. СҚ қарағанда ҚҚ тыныштық жағдайынан синхронизмге және ықтиярсыз электрлік тежеуге еруге есептелген . Осыған

байланысты қадамдық ЭЖ Іске қосу, реверс және импульстердің басқару бір жиілігінен басқасына ауысады. ҚҚ іске қосуы кіру сигналының жиілігінің ұлғаю секіrmелі түрде және аз-аздап нөлден бастап жұмыс істейтініне дейін, тежеу – оның нөлге дейін төмендеуімен, ал реверс – ҚҚ орамаларының коммутациясының бірізділігінің өзгеруімен іске асырылады.



6.13 сурет.

6.13 суретінде үш импульсті басқаруды өңдеу кезінде қадамдық ЭЖ $\varphi(t)$ ауысу үрдісі көрсетілген, мұнда φ – ҚҚ валының бұрылуының толық бұрышы, ал α – дара(дара қадам). Суретте көрінгендей берілген ауысудың өңдеуі ету үрдісі теңселу сипаты бар.

ҚҚ ЭЖ ауысу үрдісінің берілген сипатын қамтамасыз ету негізгі және көбіне қиын тапсырма болады, себебі қозғалтқыш орамасының электромагниттік инерциясы салдарынан оның роторының механикалық инерциясы және басқару импульсінің жиілігінің тез өзгеруі кезінде валға жүктеме сәйтінің болуы ротор барлық импульстерді толық өңдеуге үлгермейді. Синхронизмнен (қадамдарды босату) түсусіз қозғалмайтын жағдайдан ҚҚ іске қосу мүмкіндігі болатын басқарушы импульстердің максималды жиілігі қабылдағыштық жиілігі деп аталады.

Қазіргі заманғы ҚҚ конструктивті орындау бойынша әртүрлі. Магниттік жүйенің құрылғысы мен фазалардың санына байланысты олар белсенді және пассивті ротормен бір фазалы, екі фазалы және көп фазалы болады.

ҚҚ белсенді ротор тұрақты магниттерден орындалады немесе кәдімгі СҚ қозу орамасынан жабдықталады. Жұмыстағы жоғары үнемділік және сенімділік, дайындаудың технологиялығы, аздаған габаритті өлшемдер мен массалары салдарынан магнитті электрлі (6.12 сур.қар.) деп аталатын тұрақты магниттерден ротормен ҚҚ кең таралды. Әдетте белсенді ротормен ҚҚ аз полюсті бөлумен оны дайындау қиындығынан 15 бастап 90° дейін қадамдары бар. Қадамды азайту үшін мұндай ҚҚ коммутацияның фазалары мен такттарының санын ұлғайтады, сондай-ақ екі статорлы немесе екі роторлы конструкцияны қолданады.

Активті ротормен ҚҚ жылдамдығы 208 бастап 314 рад/с дейін қабылдағыштық жиілігін, номиналды айналу сәттері $10 \cdot 10^{-6}$ бастап $10 \cdot 10^{-3}$ құрайды.

Қадамды магнитті электрлік қозғалтқыштардың бірнеше сериялары шығарылады: төртфазалы ҚҚА, екі және төртфазалы ҚҚ және ДШ-А, төрт фазалы ШДА-3 және басқалары.

Аздаған жеке ауысуларды алу қажеттілігі кезінде пассивті ротормен қозғалтқыштар қолданылады, олар реактивті және индукторлыға бөлінеді. Мұндай ҚҚ жұмысы магниттік өрісі мен ферромагнитті заттың өзара әрекеттесуі негізделеді. Реактивті ҚҚ статоры мен роторы әдетте кәдімгі тістермен аталатын анық байқалатын полюстері бар. Статордың тістерінде электронды коммутатордан қоректенетін қозу орамалары орналасады. Ротор ферромагнитті материалдан орындалады және қозу орамалары жоқ, соның салдарынан пассивті болып аталады.

Реактивті ҚҚ айқын сипаттайтын ерекшелігі статор z_o мен ротор z тістерінің санының теңсіздігінде, сонымен бірге $z_p > z_c$. Орамалардың әр іске қосуы кезінде мұндай конструкция кезінде ротор айналым (қадам) жасайды, ол статор мен ротордың полюстерінің бөліну тең әртүрлігі:

$$\alpha = \tau_c - \tau_p = 360^\circ / z_c - 360^\circ / z_p. \quad (6.6)$$

z_o мен z_p тістерінің санының әртүрлігін азайтып ротордың қадамын төмендетуге болады. Тәжірибеде бұл әртүрлілікті так қылып таңдайды, бұл ҚҚ қолдануды жақсартады. Қадамды азайту үшін статордың полюстері бірнеше тістерімен орындайды.

Реактивті ҚҚ өзінің қарапайымдылығы және технологиялығында елеулі кемшілігі бар – олардың қолдананылуын шектейтін маңызды емес қуаттылығы мен синхрондайтын сәті. Бұл кемшілік индукторлы ҚҚ жоқ, оларда синхрондайтын сәтте ұлғайту үшін ротор тұрақты магниттер немесе қозудың қосымша орамасының көмегімен статор жағынан магниттеледі.

1,5 бастап 9° қадамдары, Н-м $2,5 \cdot 10^{-6}$ бастап $10 \cdot 10^{-3}$ айналу сәттері және 250 бастап 1200 Гц дейін қабылдағыштық жиілігі бар (Ш, ШДР, ШД, РШД) пассивті ротормен ҚҚ бірнеше сериялары бар.

Дискретті электр жетегінің дамуы ҚҚ арнайы түрлерінің дамуының құрылуына әкеледі – аз инерциялы және домаланған ротормен сызықтық, толқынды.

ҚҚ цилиндрлық сызықтық базасында өз валында екі тәуелсіз – айналу және түсетін қозғалысты суммалайтын ҚҚ сызықтық-бұрылу екі координатты құрылды.

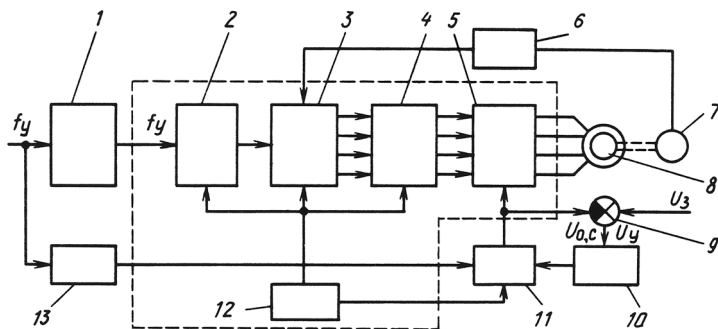
Жазықтықта үш координат бойынша орындаушы органдардың ауысуын іске асыратын дискретті электр жетегінің саласында маңызды жегістігі ҚҚ көпкоординатты аталады. Осы типтес қозғалтқыштар жоғары нақтылық пен жылдамдықпен ерекшеленіп,

манипуляторлардың, роботтардың және білдектердің автоматты сызықтарының жетегінде қолданылады.

Басқару сызбасы. ҚҚ басқаруы атап өткендей электронды блокпен қамтамасыз етіледі.

ҚҚ қазіргі заманғы басқару блогы әртүрлі сызбалар бойынша орындалатын және әртүрлі элементтерді қолданумен орындалатын бірнеше функционалды түйіннен тұрады. Дискретті жетекті қолданумен саласын кеңейтуге құлшыныс, оның қозғалысының сапасы мен нақтылығын, сондай-ақ сенімділігін арттыру, жөндеу мен пайдалануды жеңілдету ҚҚ басқарудың сызбаларының унификациясында байқалады.

ҚҚ ЭЖ жалпыланған функционалдық сызбасын қарастырайық (6.14 сурет). Әдетте жайылыңқы сызба деп аталатын оның негізгі бөлігі штрихтық сызықтармен белгіленген.



6.14 сурет

Кернек импульстары түріндегі f_y басқару сигналы бағдарламалық немесе басқа сыртқы топтық құрылғыдан 2 блогының кіруіне түседі. Басқару сызбасының ары қарайғы блоктарының қалыпты жұмысы үшін қажетті ретінде оларды ұзақтығы мен амплитудасы бойынша қалыптастырып 2 блок осы импульстарды түрлендіреді. 3 импульстер бөлуші пульстердің бірізділігін өзгертеді, мысалы кернеудің бір полярлы кернеуінің төрт фазалы жүйесіне қозғалтқыштың сәйкес фазалары (орамалары).

3 бөлуші шығуының импульстары 4 аралық күшейту көмегімен күшейеді және 8 ҚҚ орамдан қоректенетін 5 коммутаторға түседі. Әдетте коммутатор 12 тұрақты токтан (түзелеуші) қайнар көзінен қоректенеді және ҚҚ орамаларында бір бағыттың пульсталған тоғын қамтамасыз етеді.

Қарастырылған ҚҚ басқарудың ашық сызбасы әрқашан жоғары динамикалық қасиеттер, нақтылық және ЭЖ энергиялық көрсеткішін

қамтамасыз етпейді. Сондықтан ҚҚ басқаруының қазіргі заманғы сызбалары ЭЖ сипаттамалары жақсаратын қосымша тораптары бар. Мұндай тораптарға 11 кернеудің жиілік-импульстық регуляторы, 10 тоғы бойынша қайта байланыс күшейткіші, 13 электронды бөлу қадамының блогы, 1 байсалды ұмтылыс пен тежеу (белсенділік датчигі) блогы, 7 ротордың қалыпы мен жылдамдығының датчигі және 6 цифрлық регулятор жатады.

11 Регулятор мен 10 күшейткіш 9 салыстыру торабымен байланысты, ҚҚ орамаларында тоқтың автоматты тұрақтылығы үшін және оның сәтін ұстап тұру үшін қызмет етеді, бұл қозғалтқыш жұмысының энергетикалық көрсеткіштерін жақсартады. Тоқтың тұрақтылығы тоқ бойынша теріс қайта байланысты енгізумен іске асады, оның көмегімен 11 регулятордың (жиілікті – импульсті модуляция) ауыстыру жиілігін реттеу есебінен коректендіру кернеуінің орташа мәні өзгереді, осылайша ҚҚ орамаларында реттеледі.

ҚҚ орамаларында тоқты қалыптастыру міндеті тоқтық дереккөзі қасиеттері бар 5 коммутаторды қолдану кезінде шешіледі. Бұл жағдайда тоқ және 11 мен 10 блоктарында қайта байланыс қажеттігі керек емес.

Төмен жиіліктер кезінде ҚҚ қозғалысының сапасын жақсарту үшін және 13 блоктың көмегімен басқарудың кіру импульстерін өңдеуінің нақтылығын арттырғанда ҚҚ дара қадамы азаяды.

Дискретті ҚҚ динамикалық қасиеттерін жақсарту, сондай-ақ қозғалтқыштың қолайлығының жиілігін айтарлықтай арттыратын кіру сигналының жұмыс жиіліктерін ұлғайту басқаратын импульстердің өткізуі болмайтын берілген темппен қозғалтқыштың екпіні мен тежеуін қамтамасыз ететін 1 блок сызбаны енгізумен жетуі мүмкін. 1 блокты қолдану кезінде қадамдық электр жетегінің жұмыс жиілігінің облысы 2...3 рет артуы мүмкін.

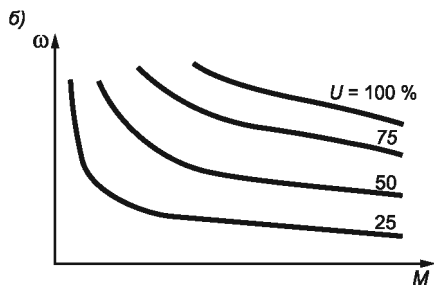
Дискретті ЭЖ мүмкіндіктері 7 датчик пен 6 регулятор негізінде басқарудың жабық сызбаларын қолдану кезінде кеңейеді. Мұндай дискретті жетекте нақты валдың қалыпы мен ҚҚ жылдамдығы туралы ақпарат жетектің қозғалыс сипатын қамтамасыз ететін 6 цифрлық регулятордың кіруіне түседі.

ҚҚ ЭЖ ары қарайғы даму перспективалары басқарудың микропроцессорлық құралдарын қолданумен байланысты. Бұл жағдайда басқару блоктарының 6.14 суретінде көрсетілген барлық функциялары күштік коммутатор, жылдамдық датчигі мен қалыпын қоспағанда сәйкес бағдарлама бойынша микропроцессор орындайды. Мұндай жағдайларда айтатындай ҚҚ басқаруының аппараттық іске асыру сызбасы иілгіш және функционалды бай бағдарламамен ауыстырылады.

Дискретті жетекті қолдану саласы үнемі кеңейеді. Оны алдында көрсетілген жағдайлардан басқа нығыз кесуші және дәнекерлеу

6.8. ВЕНТИЛЬ-ИНДУКТОРЛЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

ВИЖ күштік жағының құрылымдық сызбасы 6.15, *a* суретінде көрсетілген ауыспалы токтың үш фазалы желісінен коректенуі жағдайында. Оның құрамына ИҚ индукторлы қозғалтқыш, К электронды коммутатор, Т түзеуші, ҚД қозғалтқыш роторы қалыпының датчигі, БЖ басқару жүйесі енеді. ВИЖ ерекшелігі статордың полюстерінің және роторда тістердің әртүрлі санымен (әдетте 4...12 шамасында) индукторды қозғалтқышты қолданудан тұрады. Суретте мысал ретінде статордың алты полюсі мен роторда төрт тісі бар үш фазалы қозғалтқыш көрсетілген.



6.15 сурет

Коммутатордың бақарушы кілттері ретінде IGBT изоляцияланған бекітпесінің типімен 77... Т6 күштік биполярлы транзисторлар қолданылады. Кілттермен басқаруды БС басқару сызбасы іске асырады, $U_{зс}$ жылдамдығы мен $U_{оn}$ жағдайының датчигі тапсырмасының сигналдарымен анықталатын қажетті бірізділік пен жиілікпен оларға басқару импульстеріне беруді қамтамасыз етеді.

ВИЖ әрекет ету принципі келесіден тұрады. Бір фазалы транзисторлардың (кілттердің) жұбына басқару импульстерін беру кезінде коммутатор Т түзеуші қозғалтқышының осы фазасына ораманы қосады. Орама бойынша қозғалтқышта магниттік өріс құрайтын ток аға бастайды. Бұл магниттік өріс қозғалтқыштың валында айналу сәтін құрайтын статор мен оның жанындағы ротордың тістері арасында тартылу электромагниттік күші пайда болуына әкеледі. Осы сәттің әрекетімен ротор келісілген қалыпқа ауысады, онда статор мен оның жанындағы ротордың тістері полюстерінің қозған біліктері сәйкес келеді.

Себебі статордың полюстері мен ротордың тістерінің саны әртүрлі, жұмыс істейтін фазамен ротордың келісілген қалыбында келесі фаза келісілмеген жағдайда болып, кезекті қуат көзіне дайындықта болады. Қуат көзіне қозғалтқыш фазаларының қосылу талап етілетін бірізділігі, оның валына айналу сәтінің тұрақты бағыты қамтамасыз етеді, датчик валындағы қалыпы көмегімен іске асырылады.

Ротордың айналу жылдамдығы формуламен анықталады

$$\omega = 2\pi f / (mn), \quad (6.7)$$

Мұнда f – орамалар коммутацияларының жиілігі; m – қозғалтқыш фазаларының саны; n – ротор тістерінің саны

Формула (6.7) ВИЖ әртүрлі жылдамдықтармен орындау мүмкіндігін көрсетеді. ИҚ орамалар коммутацияларының жоғары жиілігі кезінде жоғары айналу жылдамдығы болады, ал статордың саны мен ротор тістерінің санының көптігі олардың төмен жылдамдығын анықтайды. ИҚ төмен жылдамдықтары кезінде ВИЖ кинематикалық сызбасынан редукторларды алып тастауға болады.

У қуаттандырудың әртүрлі кернеуі кезінде ВИЖ ашық құрылымында механикалық сипаттамалар 6.15, б суретінде көрсетілген. Әртүрлі кері байланыс көмегі арқылы талап етілетін ЭЖ координаттарын реттеуді қамтамасыз ететін сипаттамалар қалыптасуы мүмкін. ВИЖ қозғалтқыштың орамасының қосылу және сөну сәттерін таңдау есебінен жұмыстың тежеу режимі де іске асырылуы мүмкін. 6.15, а суретінде D7...D6 диодтары күш транзисторларын сөндіру кезінде ЭЖ электромагниттік

қуаттылығын сөндіреді, ал С конденсаторы түзеушінің шығуында фильтр рөлінде болады.

ВИЖ қазіргі заманғы сызбаларында кейбір жағдайларда қалып датчигін қолданудан бас тартуға мүмкіндік беретін басқарудың микропроцессорлық құралдары кеңінен қолданылады, ротор жағдайы туралы жұмысқа қажетті ақпаратты қосымша жолмен алуға болады. Бұл ВИЖ кинематикалық сызбасын жеңілдетуге және оны қарапайым және сенімді қылуға көмектеседі.

Бақылау сұрақтары

1. СҚ қандай қасиеттер тән?
2. СҚ бұрыштық сипаттамасы деген не?
3. СҚ іске қосу ерекшеліктері қандай?
4. Қосылу кезінде СҚ қозу орамасы қалай қосылады?
5. СҚ қосу кезінде токтарға қалай шектеу қойылады?
6. СҚ U-секілді сипаттамалы дегеніміз не?
7. СҚ арқылы қалай коректентін желіде реактивті қуаттылықты қалай теңгеруге болады?
8. СҚ қозу тоғын реттеу қалай болады?
9. ЭЖ СҚ ауысу үрдісінің ерекшелігі неде?
10. Вентильді қозғалтқыш деген не?
11. ВҚ қандай коммутаторлар қолданылады?
12. Қадамдық қозғалтқыш әрекетінің принципін түсіндіріңіз.
13. ҚҚ басқару сызбасы қандай?
14. ҚҚ түрлерін және ерекшеліктерін атаңыз.
15. Индукторлы қозғалтқышпен вентильді ЭЖ ерекшеліктерін атаңыз.

7 тарау. ӨЗАРА БАЙЛАНЫСТЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

Бірқатар жұмыс машиналары қатарының орындаушы органын қозғалысқа келтіру үшін бір емес, екі және ода да көп электр қозғалтқыштары қолданылады, бұл ЭЖ кейбір спецификалық механикалық сипаттамаларын алуға, ЭЖ бір қозғалтқышты жетегімен салыстырғанда жүйе инерциясының суммалық сәтін төмендетуге, аздаған қуаттылыққа қатысты сериялы қозғалтқыштар базасында қуатты ЭЖ құруға, резервілеу есебінен жетегінің жұмысының сенімділігін арттыруға, ал кейбір жағдайларда – оның машиналарының механикалық бөлігін жеңілдетуге көмектеседі. Өзара электрлі немесе механикалық байланысқан екі немесе бірнеше қозғалтқыштар, жұмыс істеу кезінде олардың қозғалыс бөлігінің жылдамдығы, жүктемесі немесе қалыбының берілген қатынасы ұсталғанда өзара байланысқан ЭЖ деп аталады.

Егер де екі немесе бірнеше қозғалтқыш жалпы валға (өзара механикалық байланысты) жұмыс істесе, онда осындай өзара байланысты ЭҚ көп қозғалтқышты деп аталады. Валдары тікелей емес байланысы бар, ал оларды өзара байланысы электрлік сызбамен қамтамасыз етілетін екі немесе бірнеше қозғалтқыштың бірлескен жұмысын қамтамасыз ететін өзара байланысты ЭЖ электрлік вал деп аталады.

Мысал ретінде қуатты экскаваторлардың, ірі порталды крандардың, шлюздік бекітпелердің және аэродинамикалық құбырлардың бұрылу платформалары өзара байланысты ЭҚ атауға болады.

7.1. ҚОЗҒАЛТҚЫШ ВАЛДАРЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚОСЫЛУМЕН ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

Қозғалтқыш валдарының механикалық қозғалысы кезінде олардың жылдамдығы бірдей, ал ЭҚ сәті бөлек қозғалтқыштар сәтінің алгебралық суммасын білдіреді. Тура сызықтық сипаттамалары бар екі қозғалтқыштың суммалық сәтін жазайық:

$$M = M_1 + M_2 = M_{к1}(\omega_{01} + \omega)/\omega_{01} + M_{к2}(\omega_{02} - \omega)/\omega_{02}; \quad (7.1)$$

немесе

$$M = |\beta_1| (\omega_{01} + \omega) + |\beta_2| (\omega_{02} - \omega), \quad (7.2)$$

мұнда $M_{к1}$, $M_{к2}$, ω_{01} , ω_{02} , $|\beta_1|$, $|\beta_2|$ – сәйкесінше қысқа тұйықтану, әр қозғалтқыштың бас жүрістің жылдамдығы мен механикалық сипаттамалары қаттылығының модулінің жылдамдығы; ω – ағымдағы жылдамдық.

(7.2) екі қозғалтқышты ЭҚ механикалық сипаттамасын теңеуін табамыз

$$\omega = (\omega_{01}|\beta_1| + \omega_{02}|\beta_2|) / (|\beta_1| + |\beta_2|) - M / (|\beta_2| + |\beta_2|). \quad (7.3)$$

егер де қозғалтқыш абсолютті бірдей сипаттамаға ие болса, ТЦ.

$$\omega = \omega_0 - M/|\beta_2|. \quad (7.4)$$

(7.4) көрсетілгендей, бұл жағдайда ЭЖ механикалық сипаттамасы екі есе үлкен қаттылығы бар, ал оның идеалды бос жүрісінің жылдамдығы әр қозғалтқыштың бос жүрісі жылдамдығына сәйкес. Бірдей сипаттамалы электр қозғалтқышының жүктемесе олардың арасында бірдей бөлінеді.

Көптеген жағдайларда қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары бірдей болмайды және олар идеалды бос жүрістің

немесе қаттылығының біліктің әртүрлі жылдамдығына ие. Осындай қозғалтқыштардың бірлескен жұмысы кезінде олардың арасында жүктемені бөлу бірдей болмайды.

Идеалды бос жүрістің бірдей жылдамдығы кезінде, бірақ жүктеме сәтінің қатты сипаттамалығының әртүрлілігі $M_c = M_1 + M_2$ (7.2) сәйкес келесі түрде қозғалтқыштар арасында бөлінеді:

$$M_1 = |\beta_1| (\omega_0 - \omega + M_c/|\beta|); \quad (7.5)$$

$$M_2 = |\beta_2| (\omega_0 - \omega + M_c/|\beta|);$$

мұнда $|\beta| = |\beta_1| + |\beta_2|$.

(7.5) қаттырақ сипаттамасы бар қозғалтқыш көп дәрежеде жүктеледі және керісінше жұмсақ сипаттамалы қозғалтқыш азырақ жүктеледі.

Бос жүрістің әртүрлі жылдамдығы және сипаттамалардың бірдей қаттылығы кезінде қозғалтқыштар арасында жүктемені бөлу келесі қатынастарға сәйкес жүргізіледі

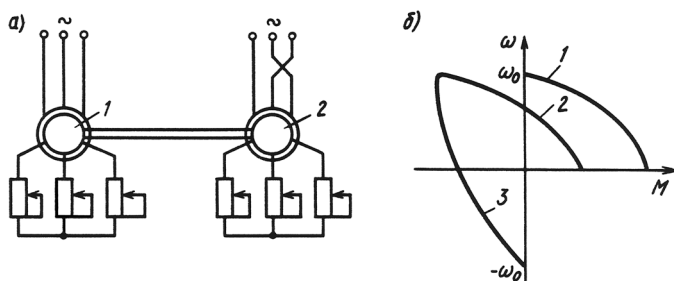
$$M_1 = |\beta_1| (\omega_{01} - \omega + M_c/|\beta|); \quad (7.6)$$

$$M_2 = |\beta_2| (\omega_{02} - \omega + M_c/|\beta|);$$

(7.6) көрінгендей бос жүрістің үлкен жылдамдығымен қозғалтқыштар көп дәрежеде толады.

Бірлесе жұмыс істейтін қозғалтқыштардың бірдей жүктелуі үшін олардың механикалық сипаттамаларының бірдейлігін қамтамасыз ету керек. Осылайша қозғалтқыштардың идеалды бос жүрісінің әртүрлі жылдамдықтары кезінде тәуелсіз қозу тұрақты тоғында аз жылдамдықпен қозғалтқыштың қозу тізбегіне қосымша резистор енгізу керек. Сипаттамалардың бірдей қаттылығын алу үшін қосымша резисторлар аса қатты сипаттамасы бар якорьдің шынжырына немесе қозғалқыштың роторына енгізіледі. Жоғарыда алынған ара қатынастар мен түйіндер егер де механикалық сипаттамалардан жұмыс учаскелері сызықтық деп есептесек асинхронды қозғалтқыштар үшін дұрыс. Бір қозғалтқышты ЭЖ көтеру-көліктік машиналар мен механизмдерде кең қолданыс тапты, себебі олардың ауыстыруын тоқтау алдында төмен жылдамдыққа іске асыру қажет.

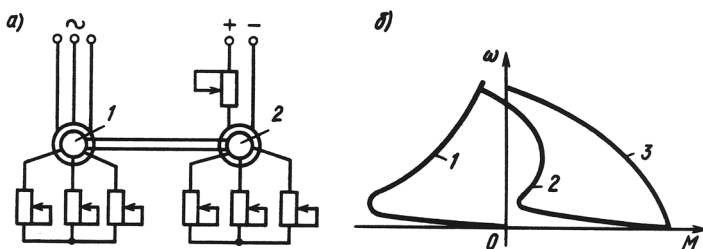
ЭЖ сызбасында 7.1, а суретінде келтірілген екі асинхронды қозғалтқышты қолданумен, жылдамдық төмендету үшін 1 қозғалтқыш қозғалтқыштық режимде жұмыс істеу қалады, ал 2



7.1 сурет

қозғалтқыш қарама-қарсы қосылумен тежеу режимінде фазалардың ауысуының өзеруімен ауыстырылады. 7.1, б суретінде 1 және 3 осы қозғалтқыштардың сәйкесінше механикалық сипаттамалары және бір жылдамдық кезіндегі қозғалтқыштардың сәттерін суммалағанда алынған 1 ЭЖ нәтижелендіретін сипаттама келтірілген. Бірінші квадранта орналасқан 2 ЭЖ сипаттамасының учаскесі орындаушы органың қозғалысының төмендетілген жылдамдығына сай. Энергетикалық көзқарас тұрғысынан мұндай ЭЖ төмен жылдамдықтағы ұзақ жұмысы орынсыз екендігін атап өтейік, себебі 2 қозғалтқышта энергияның көп жоғалтуымен қосақталады (7.1, а сур.қа).

Екі қозғалтқышты ЭЖ төмен жылдамдығы (7.2, а сурет) АД 1 қозғалтқыш режимінің, ал АД 2 – динамикалық тежеу режимінің жұмыс кезінде қамтамасыз етеді. Сәйкесінше 1 және 3 қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларын қосу нәтижесінде алынған 2 ЭЖ механикалық сипаттамасы (7.2, б сур.), төмен жылдамдықтар саласында үлкен учаскесі бар.



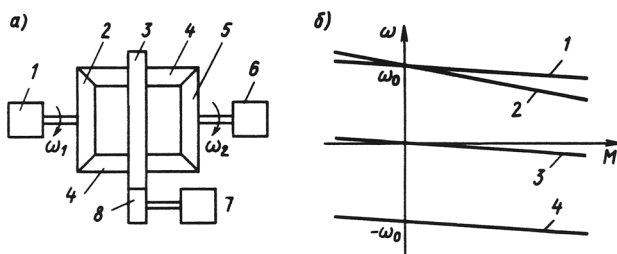
7.2 сурет

ЭЖ осы сияқты сипаттамасы егер де АҚ тұрақты тоқтың көмекші машинасымен бір валда болғанында, сондай-ақ динамикалық тежеу режимінде жұмыс істегенде алынады.

7.2. МЕХАНИКАЛЫҚ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

ЭЖ өзара байланысты түрлерінің бірі механикалық дифференциалмен екі қозғалтқышты жетегі болады, олар [11] металлургиялық өндірісте, крандық механизмде, мұнай ұңғымасын бұрғылау құрылғыларында, тау және құрылыс машиналарында қолданыс табады. Олардың таралуы келесі бағалы қасиеттерімен түсіндіріледі: жұмыс машинасының орындаушы органы қозғалысының тоқтатуы кезінде, қозғалтқыштардың біреуінің жылдамдығын реттеуінің үлкен емес диапазонына қатысты жетектің жылдамдығын реттеудегі үлкен диапазонын алу мүмкіндігімен; екі қозғалтқыштар жүктемесін автоматты бөлуінің болуымен, сәйкесінше жүктемені қою кезінде жылдамдықтың аз түсуімен біреуі кіргенде басқасының істен шығуымен бір қозғалтқыштың қайта жүктеуінің болмауы.

Механикалық дифференциалмен ЭҚ кең таралған сызбасында (7.3, а сурет) 1 және 6 қозғалтқыштар 2 және 5 тегершікпен ω_1 және ω_2 жылдамдықпен айналғанда 4 тегершік домалайды, сателлиттер деп аталады. 4 сателлиттердің айналуы олармен қатты байланысқан 3 тегершік шығуымен байланысты, одан 8 қосымша тегершік арқылы қозғалыс жұмыс машинасының 7 орындаушы органына беріледі.



7.3 сурет

Жалпы жағдайда орындаушы органның қозғалысы бір немесе екі қозғалтқыштан іске асырылуы мүмкін. Біреуі қозғалмағанда (тежелгенде) қозғалтқыштардың біреуінің жұмысы кезінде берілген сызба бір қозғалтқышты ЭҚ сызбасына сәйкес келеді, 3 шығатын тегершіктің жылдамдығы жұмыс істейтін (айналатын) жылдамдығымен анықталады. Екі қозғалтқыш жұмыс істегенде (негізгі режим) ЭҚ шығу жылдамдығы ω_1 және ω_2 жылдамдықтарының мағыналары мен бағыттарымен анықталады.

2, 5 және 4 тегершіктерінің бірдей диаметрлері кезінде 4 сателлиттер айналу жылдамдығы вертикалды білікке қатысты мәнмен анықталады

$$\omega_{\text{сг}} = (\omega_1 - \omega_2)/2 \quad (7.7)$$

3 тегершіктің бұрыштық жылдамдығы, осылайша

$$\omega_3 = (\omega_1 - \omega_2)/2 \quad (7.8)$$

Егер де дифференциалда үйкеліс күшінен өтуге сәтті жоғалтуды елемесе, онда 3 тегершіктегі сәт белгіленген режимдегі мағынасы бойынша 1 және 6 қозғалтқыштар сәтінің суммасымен анықталады:

$$M_3 = M_1 + M_6 = 2M. \quad (7.9)$$

Дифференциалмен ЭЖ механикалық сипаттамасының қаттылығы келесі мәнмен анықталады:

$$\beta = 4\beta_1\beta_6/(\beta_1 + \beta_6), \quad (7.10)$$

мұнда β_1, β_6 – 1 және 6 қозғалтқыштары сипаттамаларының қаттылығы.

7.3, б суретінде мысал үшін қозғалтқыштардың тура сызықтық сипаттамалары кезінде 1 және 3 ЭЖ сипаттамалары көрсетілген.

Екі қозғалтқыштың 2 механикалық сипаттамалардың бірдейлігі жағдайында және олардың айналу бағыттарының ұқсастығында 1 ЭЖ сипаттамасы (7.10) формуласынан шығатындай қозғалтқыштардың сипаттамаларын салыстыру бойынша екі есе жоғары қаттылығы бар. Қарама-қарсы бағытта (4 сипаттама) қозғалтқыштардың біреуі айналу кезінде ЭЖ динамикалық тежеуінің сипаттамасы болатын 3 сипаттамасы бар. Қозғалтқыштың басқа да жасанды сипаттамаларын қолдана отырып, дифференциалмен ЭЖ әртүрлі жасанды сипаттамаларын қалыптастыруға болады.

7.3. ЭЛЕКТР БІЛІКТІ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

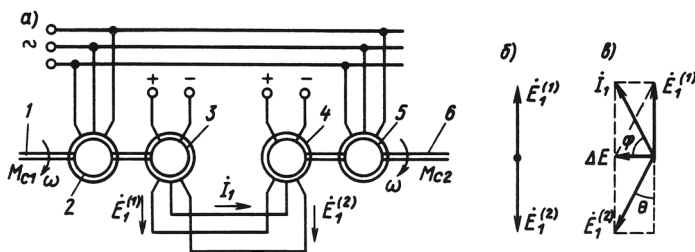
Өзара байланысты ЭЖ қолдануда қажеттілік кезінде бірқатар жағдайларда бөлек қозғалтқыштардың тікелей механикалық бірігуі қиын болады, себебі біріктіру валдарының ұзындығы мен диаметрінің, тірек мойынтіректерінің санын және т.б. ұлғаюын талап етеді. Кейде қозғалтқыштар валының механикалық бірігуі бір-бірінен айтарлықтай жоюынан мүмкін болмайды.

Мұндай жағдайларда ауыр механикалық берілістің орнына электрлік вал жүйесі деп аталатын қолданылады, онда қозғалтқыштардың келісілген қозғалысы сәйкес электр сызбасы мен оның қоспасымен қамтамасыз етіледі. Жұмыс машинасының кинематикалық сызбасын жеңілдетуден басқа электрлік валын қолдану технологиялық үрдістердің автоматтандырылуын, жұмыстың нақтылығын арттыру, механикалық резонанстың мүмкін құбылысын жоюды қамтамасыз етуге көмектеседі. Электрлік вал ажыратушы көпірдің, шлюздік камералар ысырмасының, қуатты көпірлік крандардың, транспортерлердің және т.б. жетектері үшін қолданылады.

Қазіргі заманғы электрлік вал жүйесі екі негізгі топқа бөлінеді: қосымша теңестіру машиналарымен және негізгі жұмыс машиналарымен. Қосымша синхронды немесе асинхронды машиналар негізгі қозғалтқыштардың валдарында жүктемені теңестіру үшін қызмет етеді. Басқа топта теңестірілетін машиналар жоқ және олардың функцияларын негізгі машиналар орындайды.

Синхронды теңестірілетін машиналармен электрлік вал сызбасы 7.4, а суретінде келтірілген. 2 және 5 бас асинхронды қозғалтқыштардың 1 және 6 валдарында 3 және 4 бірдей теңестірілетін синхронды машиналар орнатылған, олардың старторлық орамалары оларға бағытталған ЭҚС және бір-біріне қарама-қарсы бағдарлану тәсілімен қосылған. Қозғалтқыштардың 1 және 6 валдарына сәйкесінше M және M_{c2} жүктемесі қосылған.

Қозғалтқыштың бірінші (2 және 3) мен екінші (4 және 5) жұптарының бірдей жылдамдықтары мен жүктемелері кезінде 3 және 4 синхронды машиналардың ЭҚС векторлары мәні бойынша тең болып, бір-біріне қарсы бағытталады (7.4, б сур.қара). Бұл ретте бұл машиналардың статор шынжыоларындағы тоқ нөлге тең және машиналар ешқандай сәттерді дамытпайды.



7.4 сурет

Егер де жұмыс үрдісі кезінде валдардың біреуіндегі жүктеме өссе, онда ЭҚЖ машинаның векторы $4 E_1^{(1)}$ **повернется в 0** кейбір

бұрышына қалу жағына бұрылады (7.4, в сур.кар.). Осының нәтижесінде статорлық орамалар шынжырларында қалдықты ЭҚЖ АЕ әрекет ете бастайды, оның әрекетінен 3 және 4 машиналар статорының орамалары бойынша & ток (оны жиі теңестірілген деп атайды) ағады, және олар сәтті дамыта бастайды.

Себебі I_1 тоғының вектор проекциясы ЭҚЖ $E_1^{(1)}$ векторына оң, ал $E_1^{(2)}$ теріс болғандықтан, 3 машина білікте 1 тежеу сәтін, ал 4 машина қозғалтқышпен құрып генератормен жұмыс істей бастайды. Осыған сәйкес 6 валдағы қозғалыс сәті өседі және оның жылдамдығы ұлғаяды, ал 1 біліктегі қозғалыс сәті азаяды және оның жылдамдығы төмендейді, яғни 1 және 6 біліктер бірдей жылдамдықпен (синхронды) айнала бастайды.

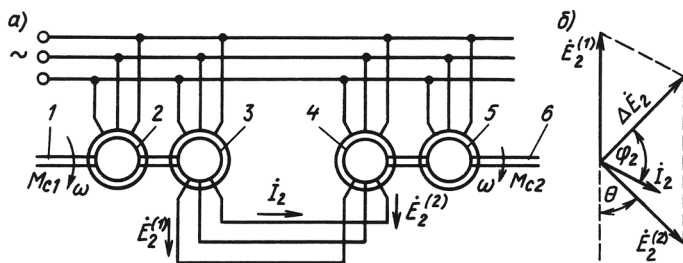
Машиналардың синхрондайтын сәті келесі өрнекпен (6.1) формулаға сәйкес анықталады:

$$M_{\text{син}} = \pm E_1^{(1)} E_1^{(2)} \sin \theta / 2 \omega x_1), \quad (7.11)$$

Мұнда θ – угол сдвига фаз между ЭДС $E_1^{(1)}$ және $E_1^{(2)}$ ЭҚЖ арасындағы фазалар қозғалуының бұрышы; x_1 – машинаның синхронды индуктивтік кедергісі.

Электрлік біліктің қарастырылған жүйесінің елеулі түрде кемшілігі бар – машинаның нөлдік жылдамдығы кезінде синхрондайтын сәттің болмауы, себебі олардың ЭҚЖ бұл жағдайда нөлге тең. Осы себептен көбіне теңестіру машиналары ретінде асинхронды машиналар қолданылады.

Асинхронды теңестіру машиналырмен электрлік біліктің сызбасы 7.5, а суретінде келтірілген. Бұл сызба өз әрекетінің принципі бойынша 7.4, а.суретінде келтірілген сызбамен көп ұқсас.



7.5 сурет

2 және 5 негізгі қозғалтқыштардың 1 және 3 біліктеріндегі байланыс сақиналары бар 3 және 4 теңестіру машиналары бірдей

кернеумен, фазалар мен полюстардың санымен ұқсас АҚ ауыспалы токтың үш фазалы жалпы желісіне қосылған статорлық орамалар, ал роторлықтар өзара оларға қарама-қарсы бағытталған ЭҚС тәсілмен қосылған.

Электрлік біліктің жұмысы келесідей болады. Егер де екі машинаның білігінің жүктемесі бірдей болса, онда олар бір жылдамдықпен синхронды (және синфазалы) айналады. Мәні тең E_2^1 және Е&Р қосымша машиналарының ЭҚС қарсы бағыта салдарынан олардың роторларының шынжырдағы I_2 тоғы болмайды және 3 мен 4 машиналар моменттерді дамытпайды.

6 біліктегі жүктеме моменті қандай да бір себептермен көбейді деп болжайық. Осының салдарынан АД 4 роторы АД 3 роторынан қала бастайды және $E_2^{(2)}$ бұл машинаның ЭҚЖ векторы өз қалыпына қатысты кеңістік 0 бұрышына бұрылады (7.5, 6 сур.қара). 3 және 4 машиналардың роторлық шынжырында $A E_2$ айырымдық ЭҚЖ пайда болады, оның әрекетінен ротор бойынша I_2 теңестіру тоғы өте бастайды. Себебі осы токтың ЭҚЖ $A E_2$ векторының проекциясы оң болады, онда 4 машина 6 білігінде қосымша қозғалыс моментін дамыта бастайды, соның есебінен оның жылдамдығы білігінің жылдамдығымен теңеседі.

3 және 4 машиналар теңестіру әрекеті теңестіруші (синхрондайтын) моментімен анықталады

$$M_{yp} = M_{и.с} s \sin\theta/s_{\kappa}, \quad (7.12)$$

мұнда $M_n = 2M_k (s / s_{k\ell} + s_k / s)$ – іске қосудың қалыпты (негізгі) сызбасында 3 және 4 қосымша асинхронды машиналардың моменті.

Қосымша машиналардың теңестіру әрекеті көп болса, 0 бұрышы сонша көп болады. Теңестіру моментінің көбеюі $\Theta = n / 2$ мәніне дейін болады, содан соң теңестіру моменті азая бастайды және электрлік білік жүйесі синхрондықтан түсіп қалуы мүмкін. Қосымша машиналар жұмыс істейтін теңестіру моменті сырғанауға пропорционалды. Сондықтан электрлік білік жүйесінің құру кезінде олардың көп сырғанауы кезінде осы машиналардың жұмысын қамтамасыз етуге тырысады. Бұл үшін негізгі қозғалтқыштармен салыстырғанда жоғарырақ номиналды жылдамдықты қосымша машиналарды таңдайды немесе бірліктен көп жылжытатын магниттік өріске қарсы қосымша машиналардың айналуын қолданады.

Бірінші жағдайда бірліктен көп емес қосымша машиналардың сырғанауын қамтамасыз етеді. Мысалы, егер де электрлік біліктің негізгі қозғалтқыштары қосымша машиналардан екі есе аз номиналды жылдамдығы болса, соңғыларының жұмысы $s > 0,5$ сырғанауында болады.

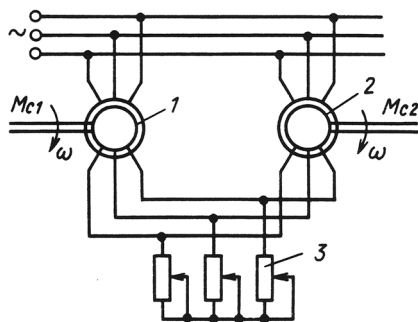
Өріске қарсы қосымша машиналардың айналуын қамтамасыз ету тәжірибеде жиі іске асырылады, себебі бұл әртүрлі типті машиналарды қолданумен байланысты емес және үлкен теңестіру нәтиже береді. Сонымен бірге бұл жағдайда қосымша машиналар роторының шынжырларында ротор тоғының жиілігі артуынан қуаттылықты жоғалтуы артатындығын атап кеткен жөн.

Қосымша машиналарсыз электрлік біліктің сызбасы 7.6 суретінде келтірілген. Электрлік біліктің жүйесі сондай-ақ тек негізгі қозғалтқыштардан жасалған, олар бұл жағдайда жұмыс және теңестіру машиналарының функцияларын орындайды. Бұл үшін 1 және 2 қозғалтқыштардың статорлық орамалары желіге қоректендіретін паралельно қосылады, ал роторлылар қарсы біріктіріледі. Барлық үш фазаға ротордың орамаларына паралельді $R_{2д}$ кедергісімен 3 с реттелетін резисторлары қосылады. $R_{2д} = 0$ кезінде электрлік білігі қысқа бекітулі роторлармен бір-бірінен тәуелсіз жұмыс істейтін асинхронды қозғалтқыштар әдеттегідей жұмыс істейді.

$R_{2я} \neq 0$ және бірдей жылдамдықта АҚ айналу кезінде $0 = 0$ машиналарының ЭҚЖ векторлары арасында жылжу бұрышы кезінде және олар реостатты сипаттамаларда жұмыс істеп бірдей моменттерді дамытады.

Бір қозғалтқыштың жүктемесі ұлғайту кезінде 0 бұрышы нөлге теңеспейді, сондықтан теңестіру тоғы мен момент пайда болады. Теңестіру моменті үлкен жүктемелі машинаны жеңілдетеді және азырақ жүктеуліні толтырады, бұл ретте қозғалтқыштың жылдамдығы теңеседі, ал олардың роторларының қалыпы $\theta \neq 0$ келісілмеуі кейбір бұрышымен сипатталмайды. Қарастырылатын сызба үшін максималды мүмкін келісу бұрышы теңестіру машиналарымен жүйе үшін сияқты $\pi / 2$ құрайды.

Негізгі жұмыс машиналарымен электрлік біліктің негізгі құндылығы қосымша машиналардың жоқтығы болып табылады.



7.6 сурет

Бірақ та қозғалтқыштардың роторлық шынжырына сырғанауды арттыру жолымен теңестіру моментін арттыру үшін қосымша кедергіні қосу қажет, бұл ондағы қуаттың қосымша жоғалтуына әкеледі. Әдетте негізгі жұмыс машиналарымен электрлік вал екі валға қосылынған жүктеме моментінің аздаған айырмашылығында ғана қолданады.

Бақылау сұрақтары

1. Өзара байланысты ЭЖ дегеніміз не?
2. Қандай өзара байланысты ЭЖ көп қозғалтқышты және қандай электрлік вал деп аталады?
3. Механикалық дифференциалмен ЭЖ ерекшелендіру қасиеттері қандай?
4. Теңестіру машиналарымен электрлік білік сызбасында негізгі қозғалтқыштардың жылдамдықтарын теңестіру ненің есебінен пайда?
5. Теңестіру машиналарынсыз электрлік вал әрекетінің принципін түсіндіріңіз.

8 тарау. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ЭНЕРГЕТИКАСЫ

ЭЖ басты мақсаты жұмыс машиналары мен механизмдердің орындаушы органының қозғалысында және осы қозғалыспен басқару болады. Бірақ та бұл ретте электрэнергиясын қолдану мен жоғалтуды ескеру қажет, ЭЖ желі мен басқа электр қабылдағыштарына қалай әсер ететіндігін. ЭЖ бұл қасиеттерін бағалау энергетикалық көрсеткіш деп аталатын көмегімен іске асырылады, олардың қатарына тиімді әрекетінің коэффициентіне, қуаттылығының коэффициенті, қуаттылық пен энергияны жоғалту, ал кейде желіден қоректенетін тиісті қуаттылығы мен энергиясы қатарына жатады.

Энергетикалық көрсеткіштер жаңаларды құру кезінде де, әлдеқашан әрекет етуші ЭЖ жұмысын бағалау кезінде де кең қолданылады. Әлбетте жұмыс машиналары немесе механизмдерінің белгіленген технологиялық үрдісін қамтамасыз етіп, басқа энергетикалық көрсеткіштермен салыстырғанда жоғарырақ болуы тиіс. Егер де әлдеқашан жұмыс істеген ЭЖ бұл көрсеткіштері айтарлықтай номиналдыдан жаман, бұл ЭЖ модернизация туралы сұрақты қою заңды. Бұған қоса жетілдіруге капиталды шығындар ПЖК и cos ϕ арттыру есебінен эксплуатациялық шығындарды қысқартумен салыстыру керек.

Энергетикалық және материалдық ресурстарды үнемдеу бірінші дәрежелі маңыздылық міндетіне ауысқанда қазіргі уақытта ЭЖ жоғары энергетикалық көрсеткіштерінің қамтамасыз ету өзекті екендігін атап өтейік.

ЭЖ қуаттылық пен энергияны жоғалту жалпы жағдайда электр қозғалтқыштағы, механикалық ауысудағы, күштік түрлендіруде және басқару жүйесіндегі жоғалтулардан тұрады, бірақ та негізгі болып ары қарай негізгі назар аударылатын электр қозғалтқыштағы жоғалтулар болып табылады.

8.1. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ОРНЫҚҚАН РЕЖИМІНДЕГІ ҚУАТ ПЕН ЭНЕРГИЯНЫ ЖОҒАЛТУ

Руатын жоғалту электр қозғалтқышында екі жоғалтуды құрайтын суммасын ұсыну ыңғайлы – тұрақты K және ауыспалы V яғни

$$\Delta P = K + V. \quad (8.1)$$

Тұрақты дегеніміз қозғалтқыштың жүктемесіне тәуелсіз қуатты жоғалту ұйғарылады. Оларға магнит өткізгіш болатындағы жоғалтулар, мойынтіректегі үйкелістен механикалық жоғалтулар және желдету жоғалтулар жатады. СҚ мен тұрақты ток қозғалтқышында тұрақты жоғалтуларға тәуелсіз қозулармен қозу орамаларындағы жоғалтуларды жатқызады.

Қатаң айтқанда нақтылықтағы тұрақты жоғалтулар өзгеріссіз болмайды, қозғалтқыштың жылдамдығынан, оны қоректендіретін кернеудің амплитудасы мен жиілігі және басқа да факторлар қатарына байланысты. Бірақ та бұл жоғалтулар болмашы өзгергендіктен, олар әдетте өзгермеген және тең номиналмен қабылданады.

Өзгермелі деп ЭЖ механикалық жүктемесімен анықталатын олармен ток өту кезінде қозғалтқыш орамаларында ерекшеленетін жоғалтулар ұйғарылады. Қозғалтқыштағы қуаттың ауыспалы жоғалтулары жалпы жағдайда электрлік немесе механикалық ауыспалы және параметрлер арқылы анықталады.

Тұрақты ток қозғалтқыштарында қуаттың ауыспалы жоғалтулары

$$V = I^2 R, \quad (8.2)$$

мұнда I , R – сәйкесінше қозғалтқыш якорі шынжырының кедергісі

Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштарда

$$V_1 = V_1 + V_2 = 3I_1^2 R_1 + 3I_2'^2 R_2', \quad (8.3)$$

мұнда V_1 , V_2 – сәйкесінше статор мен ротор орамалары шынжырындағы қуатты жоғалту. II-сияқты орын басу сызбасын қолдану кезінде (5.2 сур.қар.), R_1 резистор бойынша I_2^1 ток өтеді, статордағы жоғалтулар

$$V_1 = 3I_1^2 R_1 = I_2'^2 R_1 R_2' = V_2 R_1 / R_2' \quad (8.4)$$

ал толық ауыспалы жоғалтулар

$$V_1 = 3I_2'^2 (R_1 + R_2') = V_2 (1 + R_1 / R_2'). \quad (8.5)$$

Синхронды қозғалтқыштарды

$$V = 3I_1^2 R_1. \quad (8.6)$$

Номиналды режимде қозғалтқыш жұмысы кезінде қуатты жоғалту номиналды ПЖК және қозғалтқыштың номиналды қуатының төлқұжаттық деректері бойынша анықталады:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}(1 - \eta_{\text{ном}})/\eta_{\text{ном}}. \quad (8.7)$$

Қуатты үнемі жоғалту

$$K = \Delta P_{\text{ном}} - V_{\text{ном}}. \quad (8.8)$$

Қозғалтқыштағы энергияны жоғалту. t қозғалтқышының жұмысында тұрақты жүктемемен энергияны толық жоғалту, K мен V шартталған,

$$\Delta A = \Delta P t_p. \quad (8.9)$$

Циклдық өзгеретін жүктемемен қозғалтқыштың жұмысы кезінде бар циклда энергияны толық жоғалту

$$\Delta A = \int_0^{t_n} \Delta P(t) dt \approx \sum_{i=1}^m \Delta P_i t_i, \quad (8.10)$$

мұнда $\Delta P_i t_i$ – циклдің i -учаскесінде қуатты жоғалту мен жұмыс уақыты;
 m – циклдің бөлек учаскелерінің саны, $\sum_{i=1}^m t_i = t_n$ – цикл уақыты

Жоғарыда келтірілген формулалар қозғалтқыштардың тоқтары мен шынжырлардың кедергілері бойынша қуат пен энергияны жоғалту есебін орындауға мүмкіндік береді. Бұл жоғалтулар механикалық ауыспалы және қозғалтқыштардың параметрлері бойынша да есептелуі мүмкін.

Тұрақты тоқ қозғалтқышының якорі мен асинхронды қозғалтқыштың роторында ерекшеленетін қуаттың ауыспалы жоғалтулары механикалық ауыспалы және параметрлері арқылы өрнегі (4.11) көмегімен анықталуы мүмкін

$$V = V_2 = M\omega_0 \delta = M\omega_0 s, \quad (8.11)$$

мұнда $\delta = s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ – ДПТ салыстырмалы жылдамдығы немесе АҚ сырғанауы.

(8.4) сәйкес АҚ статорындағы ауыспалы жоғалтулар

$$V_1 = V_2 R_1 / R_2' = M\omega_0 s R_1 / R_2'. \quad (8.12)$$

АҚ толық ауыспалы жоғалтулар:

$$V = V_1 + V_2 = M\omega_0 s (1 + R_1 / R_2'). \quad (8.13)$$

(8.13) формуласы АҚ қуатты жоғалтуды белгілі момент, идеалды бос жүрістің жылдамдығы бойынша (магниттік өрісінің айналу жылдамдығы), R_1 және R кедергілерінің сырғанауы мен қатынасы) бойынша есептеуге мүмкіндік береді.

Қозғалтқыштардағы энергияның толық жоғалуы осы жағдайда (8.9) немесе (8.10) бойынша есептеледі.

Түрлендіргіште қуат пен энергияны жоғалту электрлік болады және (8.2) және (8.9) формулалары бойынша анықталады. Қозғалтқыштармен басқару үшін жартылай өткізгіш түрлендіргіштерді қолдану кезінде олардағы жоғалтулар шұрадағы, трансформаторлардағы, тегістеуші және теңестіруші реакторларда, жасанды коммутация құрылғыларының сүзгілері мен элементтеріндегі жоғалтулардан құрылады. Түрлендіргіштердің жартылай өткізгіш элементтеріндегі жоғалтулар біршама аз (номиналды қуаттан бірнеше пайыз).

Трансформаторлар мен роторлардағы жоғалтуларды есептеу кезінде олардың орамаларындағы кедергі немесе формуламен анықталатын түрлендіргіштің эквивалентті кедергісі алынады (4.34).

Қуатсыз басқару жүйесінде қуатты жоғалту әдетте бірнеше ондаған ваттан артпайды және нақты электрлік есептеулерді орындау кезінде назарға алынады.

Механикалық ауысда қуатты жоғалту ең алдымен қозғалатын бөліктердегі үйкеліспен анықталады және беретін моменттен айтарлықтай тәуелді.

Механикалық ауысудағы жоғалтулар әдетте ПЖК көмегімен анықталады, оның мәні әртүрлі түрлері мен жүктемелері үшін анықтамалық әдебиетте келтіріледі, мысалы [24].

8.1* есеп. 4АН160S4 типті АҚ $P_{\text{ном}} = 18,5$ кВт номиналды қуаты бар; жылдамдығы $n = 1450$ айн/мин; статор тоғы $I_1 = 36,5$ А; ПЖК $\eta_{\text{ном}} = 88\%$; $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,87$; $M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}} = 1,3$; $M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}} = 2,1$; $J = 0,37$ кг·м².

АҚ қуатын жоғалтуды егер де қатынасы $R_1/R_2' = 0,6$ табиғи сипаттамада $M_c = 0,9M_{\text{ном}}$ моментімен оның жұмысы кезінде есептеу.

Себебі жұмыс режімі жүктеме моментімен тапсырылған, механикалық координаттары мен параметрлері арқылы жоғалтуды есептеу үшін формуланы қолданасыз. Номиналды режим мен бос жүріс кезінде АҚ жылдамдығын анықтаймыз:

$$\omega_{\text{ном}} = 2\pi n_{\text{ном}} / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1450 / 60 = 152 \text{ рад/с};$$

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 / 2 = 157 \text{ рад/с}.$$

Номиналды сырғанау мен АҚ моментін анықтаймыз:

$$s_{\text{ном}} = (\omega_0 - \omega_{\text{ном}}) / \omega_0 = (157 - 152) / 157 = 0,033;$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 18500 / 152 = 122 \text{ Н·м}.$$

АҚ механикалық сипаттамасының жұмыс учаскесін сызықтық деп қабылдап, (5.16) $M_c = 0,9 M_{\text{ном}} = 0,9 \cdot 122 = 110 \text{ Н-м}$ кезінде

$$s_c = s_{\text{ном}} = 0,033 \cdot 0,9 = 0,03 \quad \text{табамыз.}$$

(8.13) формула бойынша берілген нүктеде ауыспалы жоғалтуларды анықтаймыз:

$$V = V_1 + V_2 = M\omega_0 s(I + R_1 / R'_2) = 110 \cdot 157 \cdot 0,03(1 + 0,6) = 829 \text{ Вт.}$$

(8.7) бойынша номиналды режимде толық жоғалтуларды табамыз:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}) / \eta_{\text{ном}} = 18500(1 - 0,88) / 0,88 = 2523 \text{ Вт.}$$

Номиналды режимде ауыспалы жоғалтулары (8.13) бойынша табамыз:

$$V_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} \omega_0 s(I + R_1 / R'_2) = 122 \cdot 157 \cdot 0,033(1 + 0,6) = 1011 \text{ Вт.}$$

АҚ тұрақты жоғалтулар

$$K = \Delta P_{\text{ном}} - V_{\text{ном}} = 2523 - 1011 = 1512 \text{ Вт.}$$

8.2* есеп. 2ПН-132 типінің ДПТНВ келесі номиналды деректері бар: $P_{\text{ном}} = 5,5 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$; $I_{\text{ном}} = 59 \text{ А}$; $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об/мин}$; $\eta_{\text{ном}} = 80\%$; $R_{\text{я}} = 0,146 \text{ Ом}$; $J = 0,05 \text{ кг-м}^2$. Жұмыс циклі ішінде қозғалтқыш якорінде ауыспалы энергия жоғалтуын анықтау, онда ол $t_1 = 10 \text{ мин}$ уақыты ішінде $M = 0,6$ Ином жүктеме моментімен жұмыс істейді, $t = 3 \text{ мин}$ уақыты ішінде $M_{c2} = M_{\text{ном}}$ номиналды жүктемесімен жұмыс істейді және $t_3 = 15 \text{ мин}$ уақыты ішінде $M_{c3} = 0,8 M_{\text{ном}}$ моментімен жұмыс істейді. Циклдағы қозғалтқыштың қозу тоғы өзгермейді және номиналдыға тең.

Қозғалтқыштағы магниттік түйдек өзгермегендіктен, (4.3) формула көмегімен моменттің белгілі еселік бойынша циклдің бөлек учаскелерінде якордің шынжырындағы тоқтарын табуға болады:

$$I_{c1} = I_{\text{ном}} M_{c1} / M_{\text{ном}} = 59 \cdot 0,6 = 35,4 \text{ А}; I_{c2} = I_{\text{ном}} = 59 \text{ А}; I_{c3} = 0,8 I_{\text{ном}} = 47,2 \text{ А.}$$

(8.10) формулаға сәйкес якорь орамаларындағы энергияны жоғалту

$$\Delta A = \sum_{i=1}^3 \Delta V_{i1} t_i = \sum_{i=1}^3 I_{i1}^2 R_{i1} t_i = 0,146(35,4^2 \cdot 600 + 59^2 \cdot 180 + 47,2^2 \cdot 900) = 493,8 \text{ кДж.}$$

8.3. есеп. 8.1 есебінің шарттары үшін номиналды режимде және бір сағатта белгіленген нүктеде АҚ желісінен тұтылынатын энергияның санын анықтау.

8.4. есеп. 8.2 есебінің шарттары үшін цикл уақытына желіден тұтынылатын электр энергиясының санын анықтау.

8.2. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ АУЫСПАЛЫ РЕЖИМДЕРІНДЕ ҚУАТ ПЕН ЭНЕРГИЯНЫ ЖОҒАЛТУ

Іске қосу, реверс, тежеу кезінде туындайтын жылдамдық пен токтың жүктемесінің өзгеруі қағида бойынша номиналды деңгейді арттырады. Осы себептен қозғалтқыш пен ЭЖ басқа элементтерінде ерекшеленетін жоғалтулар маңызды болып, оның жұмысының энергетикалық көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер етеді. Сондай-ақ қозғалтқыштағы жоғалтулардың артуы оның қосымша қызуына әкелетіндігін атап кеткен жөн, бұл оларды дұрыс бағалаудың маңыздылығын баса айтады.

Ауыспалы үрдістегі электр энергиясын жоғалтуды анықтаудың динамикалық режимдері негізгі болатын ЭЖ үшін үлкен маңызы бар. Оларға мысалы, илемдік орнак, көтергіш кран, сүргілеу білдектері, лифтер және т.б. жатады.

Жалпы жағдайда $t_{n,n}$ ауыспалы үрдісі уақытнда келесі өрнек көмегімен анықталуы мүмкін:

$$\Delta A = \int_0^{t_{n,n}} \Delta P dt = \int_0^{t_{n,n}} K dt + \int_0^{t_{n,n}} V dt = \Delta A_K + \Delta A_V, \quad (8.14)$$

Мұнда ΔA_K және ΔA_V – сәйкесінше қуаттың тұрақты және ауыспалы жоғалтулармен белгіленген энергия жоғалту, потери энергии,

ΔA_K энергиясын жоғалту K қуатты тұрақты жоғалту ауыспалы үрдіс уақыты кезінде өзгермегенде тез табуға болады, яғни

$$\Delta A_V = K t_{n,n}. \quad (8.15)$$

ΔA_V энергиясын жоғалту ток және кедергі арқылы ауыспалы қуатты жоғалтуды білдіретін (8.2) ... (8.4) формулары арқылы табуға болады:

$$\Delta A = \int_0^{t_{n,n}} i^2(t) R dt \quad (8.16)$$

(8.16) өрнегін ΔA_V анықтау үшін қолдану көптеген жағдайларда ауыспалы үрдісте $i(t)$ қозғалтқыш тоғының өзгеру заңын білу қажетті екендігінен қиынға түседі, сондай-ақ R кедергісінің өзгеруі туралы деректерді білу. Себебі әдетте $i(t)$ тәуелділігі аналитикалық білдірілмейді, ал R ауыспалы үрдістерінде өзгермейді, интегралдың нақты есептеуі (8.16) қиынға түседі.

Ауыспалы үрдісте энергияны жоғалтуды анықтау үшін ең ыңғайлы қатынасын есептеуі егер қуаттың ауыспалы жоғалтуы

механикалық ауыспалы және параметрлері арқылы белгіленгенде анықталады.

Жүктемесіз ЭЖ жұмысы кезінде энергияны жоғалту ($M_e = 0$). ДПТ якорі мен АҚ роторында энергияны жоғалту бір формула бойынша (8.11) анықталады және сондықтан энергияның ауыспалы жоғалтулары қозғалтқыштың осы бөліктерінде тағы сәйкес анықталады:

$$\Delta A_{r0} = \Delta A_{20} = \int_0^{t_{п.п}} M \omega_0 s dt = \int_0^{t_{п.п}} M (\omega_0 - \omega) dt, \quad (8.17)$$

Мұнда $s = \delta = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ – қозғалтқыштардың сырғанауы немесе қатысты жылдамдығы.

Механикалық қозғалыс теңеуін (2.16) қолданып, ауыспалы ретінде уақытты (8.17) шығарып тастайық. (5.4) есебімен $M_e = 0$ кезінде аламыз

$$dt = J d\omega / M = -J \omega_0 ds / M. \quad (8.18)$$

(8.18) сәйкес (8.17) dt ауыстырайық, біріктіру шегін бір уақытта өзгертеміз, яғни $t = 0$ ауыспалы үрдіс уақытының бастапқы моментіне $s = s_{\text{нач}}$ жылжу сәйкес келеді, ал соңғы уақытына $t_{п.п}$ – жылжу $s = s_{\text{кон}}$. Онда (8.18) түрі болады

$$\Delta A_{20} = \int_{s_{\text{нач}}}^{s_{\text{кон}}} M \omega_0 s (-J \omega_0 ds / M) = -J \omega_0^2 \int_{s_{\text{нач}}}^{s_{\text{кон}}} s ds = J \omega_0^2 (s_{\text{нач}}^2 - s_{\text{кон}}^2) / 2. \quad (8.19)$$

(8.19) алынған өрнек энергия жоғалтуын анықтау үшін ыңғайлы, себебі оны қолдану кезінде уақыттағы ЭЖ координаттары өзгеруін білу талап етілмейді, J , ω_0 параметрі мен $s_{\text{нач}}$ мен $s_{\text{кон}}$ мәні болса болды

(8.19) арқылы, мысал үшін, ДПТ якорі мен АҚ роторындағы энергияны жоғалтуды оларды іске қосу, реверс және бос тежелгендегі энергия жоғалтуын анықтайық.

$\omega_{\text{нач}} = 0$ және $\omega_{\text{кон}} = \omega_0$ қозғалтқыштарын іске қосқанда, себебі $s_{\text{нач}} = 1$, $s_{\text{кон}} = 0$, осымен сәйкес

$$\Delta A_{20}^n = J \omega_0^2 / 2. \quad (8.20)$$

(8.20) сәйкес энергияны жоғалту сандық кинетикалық энергияға тең екендігін атаған қызық, ол ЭЖ қозғалатын механикалық бөліктерін іске қосу соңында жиналады.

Энергияны жоғалтудың динамикалық тежеуінде $s_{\text{нач}} = 1$ және $s_{\text{кон}} = 0$ болғандықтан, (8.20) мәнімен анықталады, яғни $\Delta A_{20}^n = \Delta A_{20}^r$ бұл режимде ЭЖ кинетикалық энергияны барлық қоры жылу түрінде ін энергия жоғалтуын айналады.

Қарама-қарсы қосулы тежеу кезінде $s_{нач} = 2, s_{кон} = 1$, энергияны жоғалтулар

$$\Delta A_{20}^T = 3J\omega_0^2/2. \quad (8.21)$$

яғни олар ЭЖ кинетикалық энергиясы қорының үшеуіне тең. Демек, қарамақарсы қосылумен тежеу кезінде энергияны жоғалту динамикалық тежеу кезіндегі жоғалтудан айтарлықтай (3 есе) артық.

$s_{нач} = 2, s_{кон} = 0$ реверс және энергия жоғалту кезінде

$$\Delta A_{20}^P = 4J\omega_0^2/2. \quad (8.22)$$

Яғни қарама-қарсы қосу мен іске қосу тежеу кезіндегі жоғалту суммасына тең.

(8.19) өрнегі ДПТ толық ауыспалы энергия жоғалтуын анықтайды, яғни $\Delta A_{20} = \Delta A_{r0}$.

АҚ толық ауыспалы энергия жоғалтуын анықтау үшін статор шынжырындағы жоғалтуларды табу керек. Бұл үшін (8.12) өрнегін қолданамыз, одан байқағанымыздай

$$\Delta A_{10} = \Delta A_{20} R_1/R_2'. \quad (8.23)$$

Онда АҚ толық энергия жоғалтуы

$$\Delta A_{r0} = \Delta A_{10} + \Delta A_{20} = J\omega_0^2(1 + R_1/R_2')(s_{нач}^2 - s_{кон}^2)/2. \quad (8.24)$$

АҚ роторындағы энергияны жоғалту оның кедергісіне байланысты емес, ал АҚ статорындағы жоғалтулар уақытында оның кедергісінен пропорционалды.

Жүктемемен ЭЖ жұмысы кезінде энергияны жоғалту ($M_c \neq 0$). Жүктемемен қозғалтқыштың жұмысы кезінде энергияны жоғалтуды анықтау үшін сондай-ақ бастапқы формула (8.17) дұрыс. Осы формуладан көрінгендей ДПТ якорі мен АҚ роторында энергияны жоғалтуды анықтау үшін ауыспалы үрдісте қозғалтқыш жылдамдығы мен оның жүктелу моментін білу қажет, яғни $\omega(t)$ и $M(t)$ тәуелділігі болу керек. Осы тәуелділіктерді (8.17) формуларға қойып, қойылған есепті шешуге болады.

Энергетикалық көрсеткіштерді бағалық есептеу үшін энергияны жоғалту жеңілдетілген есептеуін орындайды, яғни ауыспалы үрдістердегі қозғалтқыш моменті өзгермейді және M_{cp} кейбір орташа моментке тең, онда ауыспалы үрдістердің ұзақтығы қозғалтқыштың моменті нақты өзгергендегі кезіндегі сияқты болып қалады. Есептеу формуласын алу үшін (8.17) бастапқы формуласы қолданылады, онда

$$dt = -J\omega_0 ds / (M \pm M_c).$$

мұнда «-» белгісі іске қосуға, ал «+» белгісі – қозғалтқыштың тежеуіне сәйкес келеді. (8.17) dt қойып және M -ны $M_{\text{ср}} = \text{const}$ біріктірілу шегін бір уақытта ауыстырып, келесі өрнекті аламыз:

$$\Delta A_{2n} = \Delta A_2 M_{\text{ср}} / (M_{\text{ср}} \pm M_c), \quad (8.25)$$

мұнда $M_{\text{ср}}$ – орташа, ауыспалы үрдіс уақытында өзгермеген қозғалтқыш моменті.

(8.25) өрнегі АҚ роторы мен ДПТ якорінде ауыспалы үрдістерінде жүктемемен энергияны жоғалтуды анықтайды. $\Delta A_{\text{ин}}$ статоры мен АҚ $\Delta A_{\text{н}}$ толық жоғалту анықтау үшін (8.23) және (8.24) формулаларын қолданады.

(8.25) сәйкес жүктемемен қозғалтқыштың жұмысы кезіндегі энергияны жоғалту оның бос жұмысы кезіндегі жоғалтулармен салыстырғанда іске қосу режінінен артады және тежеу режімінде азаяды. Соңғысы тежеу кезінде қордағы кинетикалық энергияның бөлігі жүктеменің моментін жеңуге шығындалады, сондықтан қозғалтқышта жоғалту түрінде оның қалған бөлігі бөлінеді.

«Түрлендіруші-қозғалтқыш» жүйесінде энергияны жоғалту. П-Д жүйесінің оң қасиеті болып ауыспалы үрдістерде энергияны жоғалтуды айтарлықтай қысқарту мүмкіндігі болады. Бұл ДПТ үшін басқарушы түзеу кернеуі және АД үшін түрлендіруші жиілігінің кернеу жиілігі көмегімен ауыспалы үрдістерде бірқалыпты өзгеріс жолымен жетеді, соның нәтижесінде олармен белгіленетін қозғалтқыштың идеалды бос жүрісінің жылдамдығы біртіндеп өзгеріс болады. Бұл ретте ω_0 жылдамдығы мен якорь немесе роторының жылдамдығы арасындағы айырмашылық аз болады, кернеу немесе жиілігінің секірмелі түрдегі өзгерісі кезінде қозғалтқыштағы жоғалтуларға әкеледі. $M_c = 0$ және ω_0 жылдамдығы болғанда шексіз ақырын өзгереді, энергияның берілетін көзі кинетикалық энергия қозғалтқышының хабарламасына ғана барады, ал жоғалтулар болмайды.

Идеалды бос жүріс жылдамдығының уақытнад сызықтық өзгеріс кезінде қозғалтқышта энергияны жоғалту неге тең болатынын қарастырайық. Бұл жағдайдағы ауыспалы үрдістер (4.8 бөл.қар.) екі кезеңге бөлінеді. Бірінші кезеңде На первом этапе $0 < t < t_0$ уақытының бөлігінде ω_0 идеалды бос жүрісінің жылдамдығы сызықтық заң бойынша өзгереді:

$$\omega_0 = \pm \varepsilon t + \omega_{0\text{нач}}, \quad (8.26)$$

мұнда $\varepsilon = d\omega_0(t)/dt$, – жылдамдықтың өзгеріс темпі (туынды) ал қозғалтқыштың жылдамдығы мен моменті (4.49) мен (4.50) сәйкес

көрсетіледі. Екінші кезеңде $t > t_0$ $\omega_0 = \text{const}$ кезінде жылдамдық та, момент те (2.30) және (2.32) сәйкес көрсетілді.

Сәйкесінше ауыспалы үрдіс кезіндегі энергияны жоғалту кезеңдердің әрқайсысы үшін екі құраушы сумма түрінде ұсынуға болады.

ДПТ якорі мен АҚ роторында энергияны жоғалту ауыспалы үрдістің бірінші кезеңінде оған (4.49) $\omega(t)$ және (4.50) $M(t)$ байланысты қойып, (8.17) бастапқы формуласының көмегімен алуға болады. Энергияны жоғалту ауыспалы үрдістің екінші кезеңінде (8.17) көмегімен, бірақ сәйкесінше (2.30) және (2.32) оған $\ln(t)$ мен $M(t)$ өрнектерді қойғанда анықталады

Көрініп тұрғандай, жалпы жағдайда П-Д жүйесінде энергияны жоғалтуды есептеу оңай емес есепті білдіреді, оның шешімі [8, 12, 14] қарастырылған. Жеке жағдайларда қозғалқыштың бос іске қосылғанында, энергияны жоғалту үшін қорытынды өрнегі келесі түрде болады

$$\Delta A_{20}^n = \Delta A_{20} \cdot 2T_m / t_{n0}. \quad (8.27)$$

мұнда T_m – уақыттың электромеханикалық тұрақтылығы; t_{n0} – нөлден бастап белгіленген жылдамдыққа дейін жылдамдықтың сызықтық өму уақыты; $\Delta A_{j0} - \omega_0$ жылдамдықтың сатылап өзгеруі кезінде энергияны жоғалтуы (8.19).

(8.27) көрінгендей, t_{n0} уақытты көбейткенде, қозғалтқыштағы энергияны жоғалту азаяды. ω_0 жылдамдығының бірқалыпты өзгеруі жағдайында қозғалтқыштың реверсі мен тежеуі кезінде энергияны жоғалтудың азаюы болады.

Генератордан («генератор – қозғалтқыш» жүйесі) оны қуаттандыру кезінде ДПТНВ ауыспалы үрдісінде энергияны жоғалту зор емес. Бұл жағдайда генератордың ЭДС пен қозғалтқыштың идеалды жүріс жылдамдығы экспоненциалдық заң бойынша ауыспалы режимде өзгереді, бұл генераторды қоздыруының инерциялық шынжырында үрдістермен анықталады. Іске қосы режимінде қозғалтқыштағы энергияны бос жоғалту

$$\Delta A_{20} = \Delta A_{j0} = J\omega_0^2 / [2(m+1)]. \quad (8.28)$$

мұнда $m = T_b / T_m$ – тұрақты уақыт еселігі; T_b – генератор қозуы шынжырының тұрақты уақыты.

(8.28) көрінгендей бұл жағдайда қозғалтқышта энергияны жоғалту якордегі кернеуді секірмелі өзгеру кезінде сәйкес жоғалтулармен салыстырмалы бойынша $(m+1)$ есе азаяды. Басқаша айтқанда генератордың қозу инерциялық шынжыры және ДПТ кернеу баяу өзгерсе, ондағы ауыспалы үрдістерде энергия жоғалтулары аз болады.

Ауыспалы үрдістерде электр энергиясын жоғалтудың тәсілдері. Ауыспалы үрдістерде электр энергиясын жоғалтудың азаюы маңызды мағынасы бар, себебі ЭЖ жұмысының энергетикалық көрсеткіштерін жақсартуға көмектеседі.

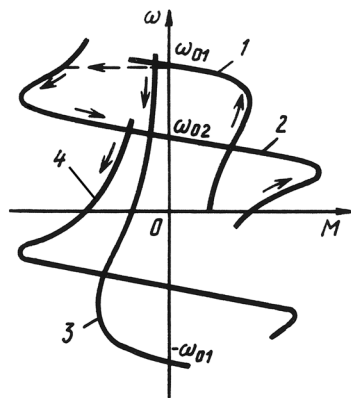
Алынған формулалары талдауы, әсіресе (8.19), ауыспалы үрдістерде электр энергиясын жоғалтуды төмендетудің екі негізгі тәсілі бар: ЭЖ J инерциясының моментін азайту және ω_0 қозғалтқышының идеалды бос жүрісінің жылдамдықтарының ауыспалы үрдістерінде реттеу.

ЭЖ инерция моментін азайту қолданылатын электр қозғалтқыштарының инерция моментін төмендету есебінен мүмкін, яғни якорьдің инерция төмендетілген моменті бар аз инерциялы қозғалтқыштарды қолдану есебінен (бос немесе дискілік якорьмен оның диаметріне якорьдің ұзындығына жоғарылатылған қатынасымен қозғалтқыштар); механикалық берудің рационалды құрастыру (редуктордың оптималды табыстама санын, рационалдық өлшемдерін, механикалық беру элементтерінің түрлерін таңдау); оның жартылай номиналды қуаттығы бар бір қозғалтқышты екеуімен ауыстыру. Есептеу көрсеткендей, жартылай қуаттылықтың екі қозғалтқышының инерциясының суммалық моменті толық қуатты бір қозғалтқыштың инерция моментінен аз болады. Мысалы, қуаттылығы 45 кВт 4АН200 типті екі қозғалтқыш инерциясының суммалық моменті $2 \cdot 1,38 = 2,76 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Қуаттылығы 90 кВт 4АН250 қозғалтқышы сол жылдамдыққа есептелген, инерцияның моменті $3,53 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, яғни 30% көп.

Тұрақты тоқ қозғалтқыштардың *идеалды бос жүрісінің жылдамдығын реттеу* «басқарушы түзеуші – қозғалтқыш» жүйесінде якорьда кернеудің өзгеруімен қамтамасыз етіледі, ал АҚ – «жиілік түрлендіруші -АҚ» жүйесінде қуаттандыратын кернеудің жиілігінің немесе көп жылдамдықты АҚ полюстерінің жұп саны өзгеруімен қамтамасыз етіледі.

Мысал ретінде 8.1. суретінде келтірілген оның жоғары жылдамдықта (I сипаттама) екпіні немесе механикалық сипаттамалар арқылы жүктеме болмағанда жоғары жылдамдықпен тежеу кезінде екі жылдамдықты АҚ роторында электр энергиясын жоғалтуды есептейміз.

АҚ іске қосуы екі тәсілмен мүмкін: статор орамасының p_1 полюстар



8.1 сурет

жұбының санына қосылуымен (тікелей іске қосу, 1 сипаттама) немесе статор орамасының алдымен $p_2 = 2p_1$ (2 сипаттамасы) полюстар жұбының санына қосылумен, ал сосын статор орамасының p полюстары жұбының санына ауыстырумен (сатылы іске қосу).

(8.19) сәйкес 1 сипаттама бойынша тікелей іске қосу кезінде АҚ роторында энергияны жоғалту $s_{\text{нач}} = 1$, а $s_{\text{кон}} = 0$ $\Delta A_{2n} = J \omega_{01}^2 / 2$ түрде болады.

$s_{\text{нач}} = 1$, $s_{\text{кон}} = 0$ және $\omega_{02} = \omega_{01} / 2$ есепке ала 2 сипаттама бойынша (іске қосудың бірінші сатысы) АҚ екпіні кезінде сатылы іске қосуы кезінде энергияны жоғалту келесі түрде болады

$$\Delta A_{2c1} = J \omega_{02}^2 / 2 = J \omega_{01}^2 / 8,$$

Ал $s_{\text{нач}} = 0,5$, $s_{\text{кон}} = 0$ есепке ала отырып 1 сипаттама бойынша (іске қосудың екінші сатысы) АҚ екпіні кезінде

$$\Delta A_{2c2} = J \omega_{01}^2 / 8.$$

Сатылық іске қосу кезінде суммалық жоғалтулар

$$\Delta A_{2c} = \Delta A_{2c1} + \Delta A_{2c2} = J \omega_{01}^2 / 4.$$

Салыстыру көрсеткендей, сатылық іске қосу кезінде тікелей іске қосуды салыстыру бойынша электр энергиясын жоғалту төмендеуі еке есе болды. Осылайша, бос жүрістің жылдамдығы ауыспалы үрдісте өзгеріс есебінен ротордағы энергияның жоғалтуы төмендеуі болады, ол статордағы жоғалту мен АҚ толық жоғалтуды анықтайды.

Жалпы жағдайда егер ауыспалы үрдісте идеалды бос жүрістің жылдамдығы n реттеу сатылары бар, ротордағы энергияны жоғалту n есе азаяды:

$$\Delta A_2 = J \omega_{0n}^2 / (2n),$$

мұнда ω_{0n} – соңғы сатыға сәйкес келетін қозғалтқыштың идеалды бос жүрісінің максималды жылдамдығы.

Көп жылдамдықты АҚ және жоғары жылдамдықпен көп сатылы тежеу кезінде жоғалтулар азаяды. 1 сипаттамалы қозғалтқыш бір сатыға қарсы қосылумен тежеу кезінде p_1 қозғалтқышының полюстары жұптарының санына сәйкес, бірақ статордағы кернеудің фазаларын алмасу тәртібінің өзгеру кезіндегі 3 сипаттама бойынша жұмысқа ауысады. Нөлдік жылдамдыққа дейін тежеу уақытнда роторда энергияны жоғалту.

$$\Delta A_2 = 3 J \omega_{01}^2 / 2.$$

Полюстар жұбының санын p_1 -дан $p_2 = 2p_1$ -ға өзгерту жолымен сатылы тежеу кезінде АҚ алдымен 2 сипаттама бойынша жұмысқа ауысады, онда желіге энергия берумен ω_{02} жылдамдығына дейін тоқтайды. Бұл кезеңде энергияны жоғалту ($s_{\text{нач}} = -1$, $s_{\text{кон}} = 0$ кезінде)

$$\Delta A_{2c1} = J\omega_{02}^2/2 = J\omega_{01}^2/8,$$

Келесі кезеңде полюстар жұбының сол санында фазалардың кезектесуінің өзгеру жолымен қарсы қосылумен (4 сипаттама) тежеу іске асырылады, онда жоғалтулар (при $s_{\text{нач}} = 2$, $s_{\text{кон}} = 1$)

$$\Delta A_{2c2} = 3J\omega_{02}^2/2 = 3J\omega_{01}^2/8,$$

Сатылық тежеу кезінде суммалық жоғалтулар

$$\Delta A_{2c} = \Delta A_{2c1} + \Delta A_{2c2} = J\omega_{01}^2/2.$$

Яғни тікелей тежеу кезінен үш есе аз. Осыған пропорционалды статордағы жоғалтулар мен АҚ суммалық жоғалтулар төмендейді.

8.5* есеп. Бос іске қосу мен жүктеменің номиналды моменті кезінде 4АН160S4 типі АҚ ауыспалы энергияны жоғалтуды анықтау (8.1 есебінің деректерін қар.).

$s_{\text{нач}} = 1$, $s_{\text{кон}} = 0$ босқа іске қосу кезінде (8.24) формуласы бойынша қозғалтқыштағы ауыспалы жоғалтуларды анықтаймыз:

$$\Delta A_{\text{ГО}} = J\omega_0^2(1 + R_1/R_2)(s_{\text{нач}}^2 - s_{\text{кон}}^2)/2 = 0,37 \cdot 157^2(1+0,6)(1^2 - 0^2)/2 = 7296 \text{ Дж.}$$

Жүктемемен іске қосу кезінде энергияны жоғалтуды есептеу үшін жақын формуланы (8.25) қолданамыз. Іске қосу кезінде қозғалтқыштың орташа моментін іске қосулық және максималды (сыни) моментінің суммасының тең жартысына қабылдаймыз:

$$M_{\text{ср}} = (M_{\text{пуск}} + M_{\text{мах}})/2 = (1,3 M_{\text{ном}} + 2,1 M_{\text{ном}})/2 = 122(1,3 + 2,1)/2 = 207 \text{ Н·м.}$$

$$M_c = M_{\text{ном}} \text{ номиналды жүктемемен іске қосу кезіндегі жоғалтулар}$$

$$\Delta A_{\text{ГОМ}} = \Delta A_{\text{ГО}} M_{\text{ср}}/(M_{\text{ср}} - M_c) = 7296 \cdot 207/(207 - 122) = 17 \text{ 685 Дж.}$$

8.6* есеп. 2ПН-132 (8.2 есептегі мәліметтерді қар.) типінің тәуелсіз қозусыз тұрақты тоқ қозғалтқышы үшін $t_{\text{п0}} = 1$ с оның кіру кернеуінің уақытының өсуімен басқарушы өзгерту және желіден бос іске қосу кезінде якорьдағы энергияны жоғалтуды салыстыру. Қозғалтқыштың білігіне келтірілген суммалық инерция моменті $0,1 \text{ кг·м}^2$ құрайды.

Алдын-ала номиналды жылдамдықты анықтайық:

$$\omega_{\text{ном}} = \pi n_{\text{ном}}/30 = 3,14 \cdot 1500/30 = 157 \text{ рад/с.}$$

Номиналды режим үшін электронмеханикалық сипаттаманы $k\Phi_{\text{ном}}$ көбейтіндіні табайық (4.4)

$$k\Phi_{\text{ном}} = (U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} R_{\text{ном}}) / \omega_{\text{ном}} = (110 - 59 \cdot 0,146) / 157 = 0,65 \text{ В} \cdot \text{с}$$

және бос жүрістің жылдамдығы

$$\omega_0 = U_{\text{ном}} / k\Phi_{\text{ном}} = 110 / 0,65 = 169 \text{ рад/с.}$$

(8.19) формуласы бойынша желіден бос қозғалтқыш кезінде якорьдегі энергияны жоғалтуды анықтаймыз (кернеуді сатылы беру):

$$\Delta A_{\text{я0}} = J\omega_0^2(s_{\text{нач}}^2 - s_{\text{кон}}^2) / 2 = 0,1 \cdot 169^2(1^2 - 0^2) / 2 = 1428 \text{ Дж.}$$

ЭЖ электромеханикалық тұрақты уақыты мен қозғалтқыштың номиналды моментін анықтаймыз:

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 5500 / 157 = 53 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{\text{м}} = J\omega_0 / M_{\text{к.з}} = J(\omega_0 - \omega_{\text{ном}}) / M_{\text{ном}} = 0,1(169 - 157) / 35 = 0,03 \text{ с.}$$

(8.31) формула бойынша бір секунд ішінде кернеудің сызықтық өсуі кезінде якорьде энергияны жоғалтуды есептейміз:

$$\Delta A_{20}^n = \Delta A_{\text{я0}} \cdot 2T_{\text{м}} / t_{\text{п0}} = 1428 \cdot 2 \cdot 0,03 / 1,0 = 86 \text{ Дж.}$$

Кернеудің бірқалыпты өсуі кезінде $t_{\text{п0}} / 2T_{\text{м}} = 1 / 2 \cdot 0,03 = 16,7$ есе.

8.7 есеп. АҚ үшін (8.5 есептегі мәліметтерді қар.) динамикалық тежеу және бос реверс кезінде қозғалтқыштағы энергияны ауыспалы жоғалтуды анықтау және $M_{\text{с}} = M_{\text{ном}}$ жүктемесінің номиналды моменті кезінде есептеп, тежеу және реверс кезінде қозғалтқыш $M_{\text{ср}} = 207 \text{ Н} \cdot \text{м} = \text{const.}$ моментін дамытады.

8.8 есеп. 4A180S4/2 екі жылдамдықты АҚ келесі төлқұжаттық мәліметтері бар: $P_{\text{ном}} = 22/26,5 \text{ кВт}$; $n_{\text{ном}} = 2920 \text{ ай/мин}$; және $n_{2\text{ном}} = 1470 \text{ ай/мин}$; $J = 0,21 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Бос тікелей және сатылы іске қосу кезінде оның роторында ауыспалы жоғалтуды салыстыру.

8.3. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ПАЙДАЛЫ ӘСЕР КОЭФФИЦИЕНТІ

Жалпы жағдайда, ЭЖ әртүрлі жылдамдықпен немесе жүктемемен білікте кей циклде жұмыс істеп тұрғанда қалыптасқан, сондай-ақ өтпелі режимдерде циклді (немесе орташа) ПӘК

$$\eta_{\text{ц}} = A_{\text{пол}} / A_{\text{потр}} = A_{\text{пол}} / (A_{\text{пол}} + \Delta A) = \sum_{i=1}^n P_{\text{пол}i} t_i / (\sum_{i=1}^n P_{\text{пол}i} t_i + \sum_{i=1}^n \Delta P_i t_i), \quad (8.29)$$

сәйкесінше мұнда $A_{\text{пол}}$, $A_{\text{потр}}$ – пайдалы механикалық және пайдаланылған электр энергиясы, ΔA – энергияның шығыны; $P_{\text{пол}}$ – циклдың i -ші бөлікшесінде пайдалы механикалық қуат; ΔP_i – циклдың i -ші бөлікшесінде қуаттың шығыны; n – ЭЖ жұмыс бөлікшелерінің саны.

Егер ЭЖ қалыптасқан тәртіпте жұмыс істесе, онда формула (8.29) жайдақталады және мындай түрде болады

$$\eta = P_{\text{пол}} / (P_{\text{пол}} + \Delta P). \quad (8.30)$$

ЭЖ электр механикалық жүйе ретінде болса, оның ПӘК түрлендіргіш құрылғының, электр қозғалтқыш пен механикалық берілістің ПӘК көбейтіндісімен анықталады:

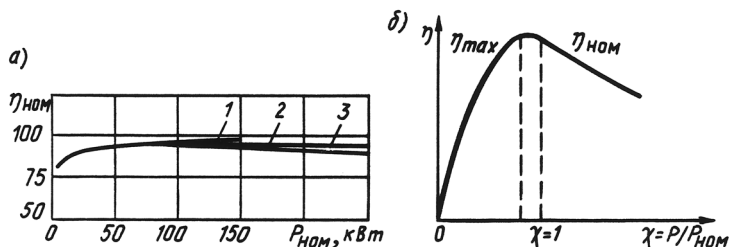
$$\eta = \eta_{\text{п.у}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{м.п}}. \quad (8.31)$$

(8.29) формула бойынша ЭЖ бөлек элементтерінің ПӘК анықтағаннан кейін (8.31) бойынша жалпы ЭЖ ПӘК табады.

(8.31) өрнегінде қозғалтқыштың ПӘК анықтаушы болады, оны толығырақ қарастырамыз.

8.2 сурет, а) тұрақты және айнымалы токтың электр қозғалтқыштарының номинал ПӘК өзгеру заңдылығын олардың номиналды қуатына P және жылдамдығына байланысты көрсетеді. Көрініп тұрғандай номиналды қуат деңгейі өскенде номиналды ПӘК де өседі, ол қозғалтқыштың пайдалы қуатына қатысты қуат шығынының азаюымен түсіндіріледі.

Жоғары жылдамдықпен қозғалтқыштарда (кисық 1-3 сәйкесінше $\omega_0 = 314; 157; 105$ рад/с) осындай номиналды қуат кезінде одан жоғары номиналды ПӘК болады. Осылайша одан да қуатты және жылдам қозғалтқыштар жоғарырақ номиналды ПӘК-пен сипатталады.



8.2 сурет

Жұмыс істеп тұрған қозғалтқыштың ПӘК оның білікте пайдалы механикалық қуаттың нығайтылуына байланысты болады. Аз жүктеме кезінде қозғалтқыштың ПӘК көп болмайды (8.2 сурет қ., б), жүктеме көбейгенде ол номиналдан біршама аз қуат кезінде максималды мәніне жеткенше $\eta_{\text{тах}}$ өседі.

Қозғалтқыштың ПӘК арттыру тәсілдері мынадай: бос жүріс кезінде қозғалтқыштың жұмыс уақытын шектеу; номиналға жақын жұмыс кезінде қозғалтқыштың жүктемесін қамтамасыз ету (соның ішінде аз жүктелген қозғалтқышты аз қуатты қозғалтқышқа

ауыстыру жолымен, оны экономикалық тұрғыдан түсіндіру қажет, яғни ауыстыруға кеткен күрделі шығындардың орны пайдалану шығындарын азайту есебінен толтырылуы керек); үнемдеу реттегішін қолдану (5.5 тар. қ.); өтпелі режимдерде энергия шығындарын азайту. Реттелетін ЭЖ-де қуатты шығыны аз әдістер қолдану керек, мысалы асинхронды және синхронды қозғалтқыштардың жиілісін реттеу.

8.9* тапсырма. 2ПН-132 типті қозғалтқыштың ПӘК берілген циклдегі оның жұмысы кезінде есептеу (8.2 берілген тапсырмаларда қ.).

Қозғалтқыш білікте ауыспалы жүктемемен жұмыс істегендіктен, ПӘК (8.29) формула бойынша есептеледі.

(8.7) бойынша қуаттың толық шығынын номинал режимде есептейміз:

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} (1 - \eta_{\text{НОМ}}) / \eta_{\text{НОМ}} = 5500(1 - 0,8)/0,8 = 1357 \text{ Вт},$$

және қуаттың тұрақты шығындарын:

$$K = \Delta P_{\text{НОМ}} - V_{\text{НОМ}} = 1375 - 508 = 867 \text{ Вт}.$$

Жүктеме моменттеріне сәйкес ТТҚ жылдамдығы циклдің бөлек бөлікшелерінде (4.5) формула бойынша есептеледі. Сондықтан алдын ала анықтаймыз

$$M_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} / \omega_{\text{НОМ}} = 5500/157 = 35 \text{ Н·м};$$

$$k\Phi_{\text{НОМ}} = M_{\text{НОМ}} / I_{\text{НОМ}} = 5500/(157 \cdot 159) = 0,6 \text{ В·с};$$

$$\omega_0 = U_{\text{НОМ}} / k\Phi_{\text{НОМ}} = 110/0,6 = 183 \text{ рад/с}.$$

$$\text{Сонда } \omega_{c1} = \omega_0 - M c1 R_{\text{я}} / (k\Phi_{\text{НОМ}})^2 = 183 - 0,6 \cdot 35 \cdot 0,146 / (0,6)^2 = 167 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{c2} = \omega_{\text{НОМ}} = 157 \text{ рад/с}; \omega_{c3} = 162 \text{ рад/с}.$$

$$P_{\text{ПОЛ}} = P_{\text{МЕХ}} = M_c \omega_c, \text{ есепке алсақ, } \Delta P = K + V, \text{ табамыз}$$

$$\eta_{\text{ц}} = (\sum_1^3 M_{c1} \omega_{c1} t_i) / (\sum_1^3 M_{c1} \omega_{c1} t_i + K \sum_1^3 t_i + \sum_1^3 V_i t_i) =$$

$$= (21 \cdot 167 \cdot 600 + 35 \cdot 157 \cdot 180 + 28 \cdot 162 \cdot 900) / (7167 \cdot 10^3 + 867 \cdot 1680 +$$

$$+ 0,146 \cdot [(0,6 \cdot 59)^2 \cdot 600 + 59^2 \cdot 180 + (0,8 + 59)^2 \cdot 900]) = 0,83.$$

8.10 тапсырма. 4АН160S4 типті қозғалтқыштың ПӘК берілген нүктеде оның жұмысы кезінде есептеу (8.1 берілген тапсырмада қ.).

8.4. ЭЛЕКТР ЖЕТЕК ҚУАТЫНЫҢ КОЭФФИЦИЕНТІ

Айнымалы тоқ желісіне қосылатын ЭЖ одан белсенді P_a және реактивті Q қуатты қабылдайды. Белсенді қуат ЭЖ пайдалы жұмысына және оның шығынын толтыруға жұмсалады, ал реактивті қуат қозғалтқыш пен оның басқа элементтерінің электромагнит өрісінің құрылуын қамтамасыз етіп тікелей пайда жұмыс істемей-

ді. Реактивті қуатқа қатысты оны қолдану туралы емес, ал желі мен қозғалтқыш арасындағы алмасу (церкуляция) туралы айту жөн екенін атап өтеміз.

ЭЖ жұмысы активті және реактивті қуаттың басқа қолданушысындағыдай қуат коэффициентімен сипатталады

$$\cos \varphi = P_a / S = P_a / \sqrt{P_a^2 + Q^2}, \quad (8.32)$$

мында S – толық (немесе жорамал) қуат.

Электртехникадан белгілі болғандай φ бұрышы желі кернеуі мен ЭЖ тоғы арасындағы фаза жылжуын анықтайды: егер ол реактивті қуатты қолданса онда фазалардың жылжуы $\varphi \neq 0$ және $\cos \varphi \neq 1$. Егер ЭЖ реактивті қуатты қолданбаса онда $\varphi = 0$ и $\cos \varphi = 1$.

ЭЖ реактивті қуатты қолданғанда онымен электрмен жабдықтауды оның элементтерінде кернеу мен энергияның косымша шығындарын келтіріп жүктейді. Осы себептен әрқашан жұмысының негізгі энергетиялық көрсеткіштерінің бірі ретінде максималды мүмкін $\cos \varphi$ қамтамасыз етуге тырысу керек.

Егер ЭЖ қалыптасқан және өтпелі режимдерде әр түрлі жүктемемен немесе жылдамдықпен жұмыс істесе, онда ол реактивті қуат тұтынушы ретінде қуаттың орташа немесе циклді коэффициентімен сипатталады, ол сәйкес формуламен A_a цикл үшін тұтынылған энергияның A_n толық және жорамал энергиясына ара қатынасымен анықталады

$$\cos \varphi = A_a / A_n = \sum_{i=1}^n P_{ai} t_i / \sum_{i=1}^n S_i t_i, \quad (8.33)$$

мында $S_i = \sqrt{P_{ai}^2 + Q_i^2}$.

ЭЖ айнаымалы ток қозғалтқышымен жұмысы, оған қоса «басқарылатын түзеткіш – тұрақты ток қозғалтқыш» тұрақты тоғының ЭЖ жүйесі қуат коэффициентімен сипатталады,

АҚ қуат коэффициенті. Қуаттың белсенді P_a және реактивті Q үш фазалық АҚ белгіленген жұмыс режиміне қарай келесі формулар бойынша есептеледі:

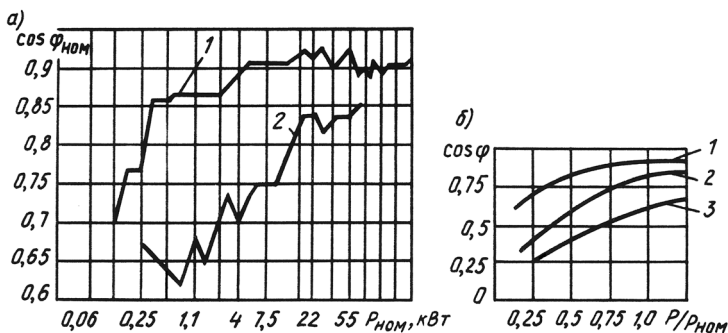
$$P_a = P_1 = P_{\text{мех}} + \Delta P = M\omega + K + V_1 + V_2; \quad (8.34)$$

$$Q = 3I_\mu^2 x_\mu + 3I_1^2 x_1 + 3I_2^2 x_2' \quad (8.35)$$

$R_\mu \approx 0$ және $I_\mu = U_\phi / x_\mu$ болғанда АҚ П-түрлі алмастыру сұлбасының (5.2 суретін қ.) формуласын (8.35) былай жазуға болады:

$$Q = 3U_\phi I_\mu + 3I_2^2 x_k = 3U_\phi I_\mu + M\omega_0 s x_k / R_2'. \quad (8.36)$$

8.3, а суретінде АҚ номиналды қуат коэффициентінің түрлі номиналды қуаттардан $P_{\text{ном}}$ және полюстер p сандарынан (егер $p_1 = 1$ қисық 1, егер $p=4$ қисық 2 кезінде) тәуелділігі келтірілген. Номиналды қуат пен айналу жылдамдығы жоғары болған қозғалтқытар үшін $\cos \varphi_{\text{ном}}$ жоғары болған мәні тән.



8.3 сурет

Көпшілік АҚ $\cos \varphi_{\text{ном}} \sim 0,8-0,9$. Бұл мәндерге $Q = (0,5-0,75) P_1$, яғни, АҚ белсенді қуаттың әр киловатына желіден 0,5-0,75 кВА реактивті қуатты тұтынады және неғұрлым $\cos \varphi$ төмен болса соғұрлым АҚ желіден көп реактивті қуатты қолданады, ал ол қосымша тоқпен жүктей отыра қосымша шығындар тудырады.

АҚ қуат коэффициенті біршама оның жүктемесіне тәуелді болады. Бос жүріс кезінде АҚ қуат коэффициенті көп емес, себебі бұл ретте белсенді қуатпен салыстырғанда реактивті қуат үлесі біршама жоғары. АҚ жүктемесі өскенде шамамен оның номиналды мәндерінің тұсында өзінің максималды мәніне жетіп $\cos \varphi$ мәні де өседі. $\cos \varphi_{\text{ном}}$ түрлі номинал мәндері кезінде сериясы 4А АҚ үшін $P / P_{\text{ном}}$ жүктемесінің механикалық еселігіне $\cos \varphi$ тәуелділігі 8.3 б-суретінде көрсетілген.

АҚ электрмен жабдықтау жүйесінде реактивті қуаттың негізгі тұтынушылары болып келеді, сондықтан олардың қуат коэффициентін арттыру маңызды техникалық-экономикалық міндетті білдіреді. Қазіргі таңда АҚ $\cos \varphi$ арттырудың бірнеше әдістері бар.

Аз жүктелген АҚ қуаты аз қозғалтқыштармен ауыстыруы, 1, 2, 3 қисықтармен келтірілген, олар сәіндейкесінше $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,9; 0,8$ және 0,6 (8.3, б-с. қ.) кезінде құрылған. Аз қуатты АҚ ауыстырған кезде артықтау $\cos \varphi$ -пен үлкен жүктемелер саласында жұмыс істейтін болады. Толық жүктелген қозғалтқыштың ПӘК

жоғары болатынын ескертеміз. Қозғалтқыштың ауыстырылуы ЭЖ кез-келген жаңғыруы сияқты экономикалық негізделуі тиіс.

Бос жүрістегі АҚ жұмыс уақытын, яғни төмен $\cos \varphi$ – мен жұмыс уақытын шектеу. Ол үшін қозғалтқыш оның бос жұмысы кезінде автоматты түрде немесе оператормен сөндіріледі.

Аз немесе айнымалы жүктемемен жұмыс істейтін *АҚ қоректену кернеуінің төмендеуі*. Бұл ретте желіден тұтынылатын ток пен реактивті қуат азаяды және $\cos \varphi$ көбейеді. Бұл әдіс кернеу реттегішінің көмегімен (5.5 тарау. Қ.) немесе мүмкіндік болса статор орамын үшбұрыш сұлбасынан жұлдызға ауыстырумен іске асырылады, ол әр фазаның орамында $\sqrt{3}$ рет кернеу төмендеуіне әкеледі.

АҚ СҚ-ға ауыстыру, егер ол жұмыс машинасының технологиялық процесс шарттары бойынша мүмкін болғанда және экономика жағынан негізделгенде.

«Басқарылатын түзеткіш – тұрақты ток қозғалтқышы» (БТ-ТТҚ) жүйесінің қуат коэффициенті. Бұл жүйеде қозғалтқыш зәкірінің кернеуі басқарылатын түзеткіш шұраларының ашылуындағы кідіріспен реттелетіндіктен кернеуге қатысты ЭЖ тоғының фазасы жылжиды және ол реактивті қуатты желіден тұтына бастайды. Бұған қоса, БТ-ТТҚ жүйесінің жұмысы электрмен жабдықтау жүйесі кернеуінің синусоидалық формасының бұрмалануын туғызады, ол электр қозғалтқыштарының қызып кетуінен, олардың қуаты мен ПӘК төмендеуінен, жұмыс кезінде қатты вибрация мен шудың болуынан байқалатын басқа ЭЖ кері әсерін тигізеді.

Кернеудің синусоидалық формасының бұрмалануы басқа электр энергиясын қолданушылардың, автоматика, қорғау және хабарлағыш құрылғыларының қалыпты жұмысын бұзатын, байланыс желісінде кедергі тудыратын кернеудің жоғары гармоникасының пайда болуына әкеп соқтырады.

Кернеу мен токтың синусоидалсыздығы өлшегіш құралдарының қосымша қателіктеріне әкеледі, оған қоса реактивті қуатын өтеу үшін қолданылатын конденсаторлар батареяларына, олардың ток пен кернеу бойынша асқын жүктелуін тудырып кері әсер етеді.

БТ-ТТҚ жүйесінің қуат коэффициенті екі фактормен анықталады: ток желісінен қолданылатын негізгі бірінші гармониканың φ_1 бұрышпен ток кернеуі мен осы токтың бұрмалану коэффициентіне ν қатысты жылжуы:

$$\cos \varphi = \nu \cos \varphi_1, \quad (8.37)$$

$$\cos \varphi_1 = \cos(\alpha + \gamma/2), \quad (8.38)$$

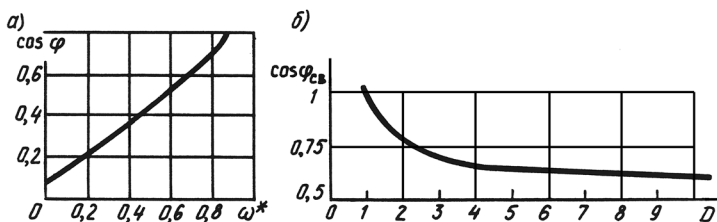
мұнда $\nu = I_i/I$ – бұрмалану коэффициенті; I – ток желісінен қолданылатын әрекеттік мән; I_i – осы токтың бірінші

гармоникасының әрекеттік мәні; α , γ – сәйкесінше шұраларды басқару және коммутация бұрыштары.

Келтірілген өрнектерден тұрақты тоқ шұралық ЭЖ қуат коэффициенті қозғалтқыштың шұраларды басқару бұрышымен а анықталатын қозғалтқыш жылдамдығынан және коммутация бұрышы у анықтайтын оның жүктемесімен байланысты болатынын көреміз. Жылдамдықтың төмендеуі (реттеу диапазонының ұлғаюы) немесе жүктеменің көбеюі ЭЖ қуат коэффициентін азайтады. Қозғалтқыш білігіндегі номинал жүктеме кезінде (8.4, а-с.) $\phi^* = \phi / \phi_{0c}$ салыстырмалы жылдамдықтан шұралық ЭЖ $\cos \phi$ тәуелділік анализі қуат коэффициентінің азаюы жылдамдықтың төмендеуіне пропорционал жүретінін, яғни реттеу диапазонының ұлғаюын көрсетеді. Бұл келесі жылдамдықты реттеу кезіндегі қуат коэффициенті үшін жақын өрнектен де көрінеді:

$$\cos \phi \approx \cos \alpha = E_{dmax} = \omega 0 / \omega_{0e} \quad (8.39)$$

мұнда E_d – қайта жасаушының ЭДС; ω_0 – мінсіз бос жүру жылдамдығы, сәйкес E_d .



8.4 сурет

$M_c = \text{const}$ болған кезде қозғалтқыштың әр жылдамдықтағы бірдей жұмыс уақытымен жылдамдықты реттеу кезінде D реттеу диапазонынан қуаттың орташа циклдік коэффициентінің $\cos \phi_{св}$ тәуелділігі 8.4, б с. көрсетілген.

БТ-ТТҚ жүйесінің жұмысы кезінде қуат коэффициентінің артуы мен желі кернеуінің синусоидальдылығының азаюына бірнеше әдіспен қол жеткізуге болады:

Бір уақытта реактивті қуат орнын толтыруды, жоғарғы гармоникаларды сүзгілеу мен фазалар бойынша кемшіліктердің азаюын қамтамасыз ететін орнын толтырушы сүзгі және симметриялаушы сүзгі құрылғыларын қолдану есебінен.

Бұл құрылғыларды ЭЖ электр желісіне қосу түйінінде орналастырған жөн. Олар реактивті қуатты реттейтін және әдетте арнайы теристорлы қайта жасаушы негізінде орындайды басқарылмалы өтемдеуіштен және ЭЖ тоғының жоғарғы

гармониктарын сүзу, оған қоса реактивті қуаттың орнын толтыру үшін қолданылатын энергетикалық сүзгіден тұрады. Энергетикалық сүзгілер шұралық ЭЖ (жүктеме) жоғарғы гармоника жиілігіне ниеттенген бірізді индуктивті-сыйымды резонанстық тізбекті білдіреді. Сүзгінің параллель қосылған резонанстық тізбек саны кернеудің синусоидалсыздық коэффициенті 5% көп болмайтындай болуы керек. Әр жоғарғы гармоника үшін өзінің сүзгісі қолданылады;

синхронды қозғалтқыштар мен конденсаторлар, реактивті қуаттың тиристорлы көздері жататын дәстүрлі өтемдеуіш құрылғыларын қолдану жолымен. Синхронды қозғалтқыштар электрмен жабдықтау жүйесінде реактивті қуаттың орнын толтыратын ыңғайлы және тиімді құрал болып табылады. Өзінің негізгі жетекті электр қозғалтқыш қызметін орындай отыра СҚ бір уақытта желіге реактивті қуатты түрлендіре алады, яғни озық $\cos \phi$ жұмыс істейді, ол қозу токтарының сәйкес реттелуімен қамтамасыз етіледі (6.4 т. қ.). Синхронды өтемдеуіштер жүктемесіз жұмыс істейтін СҚ білдіреді. Олардың негізгі қызметі электрмен жабдықтау жүйесінде реактивті қуатты реттеуден тұрады. Өзінің әрекеті бойынша конденсаторлар тым аса қозған СҚ эквивалентті, басқа реактивті қуат көздерімен салыстырғанда олардың осы қуатты аз шығындау, монтажи мен пайдалануы қарапайым сияқты артықшылықтары бар. Олардың кемшіліктеріне түрлендіретін қуаттың кернеуден тәуелділігін, тоқ пен кернеу бойынша шамадан тыс жүктеме кезінде жеткіліксіз төзімділігін, оған қоса құрамында жоғарғы гармоника артық желілерде жұмысының нашарлауын жатқызуға болады. Реактивті қуаттың тиристорлы көздері шұраларының жасанды коммутациясы бар түрлендіргіштерді қолданумен құрылады. Мұндай қайта жасаушының түзетілген тоқ жағында реакторы (энергияның индуктивті жинақтаушысы) немесе конденсаторлар батареялары (энергияның сыйымды жинақтаушысы) болады. Түрлендіргіштің реактивті элементпен байланысы электрмен жабдықтау жүйесінде реактивті қуатты реттеу үшін құрылғы жасауға мүмкіндік береді;

БТ басқарудың арнайы заңдылықтарын және олардың ұраларын коммутациялау әдістерін қолдану жолымен, оларға өндеуіштерді кезекті және симметриясыз басқару және түрлендіргіштердің шұралар жасанды коммутациясы жатады. Бұл тәсілдердің болмысы [12] қаралған.

8.11* тапсырма. МТКН 412-6 типті АҚ төлқұжаттық деректері: ПВ = 25% қосу ұзақтығы кезінде $P_{\text{ном}} = 36$ кВт; $n = 920$ айн/мин; Қуат коэффициентін анықтаңыз оның табиғи сипатындағы жұмысы кезінде

жүктеме кезімен $M_c = 0,5 M_{\text{ном}}$.

$\cos\varphi$ есебі (8.32) формула бойынша құрылады, ол үшін алдын ала мінсіз бос жүру тәртібінде және қозғалтқыштың номинал жүктемесі кезінде жылдамдықтарын анықтаймыз:

$$\omega_0 = 2\pi f/p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50/3 = 105 \text{ рад/с};$$
$$\omega_{\text{ком}} = \pi n_{\text{ном}}/30 = 3,14 \cdot 920/30 = 96,3 \text{ рад/с};$$

номинал қозғалтқыштың жылжуы және моменті:

$$s_{\text{ном}} = (\omega_0 - \omega_{\text{ном}})/\omega_0 = (105 - 96,3)/105 = 0,08;$$
$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/\omega_{\text{ном}} = 36000/96,3 = \text{Н} \cdot \text{м};$$

табиғи сипатында жылжуы, жүктеменің кезіне сәйкес $M_c = 0,5 M_{\text{ном}} = 0,5 \cdot 374 = 187 \text{ Н} \cdot \text{м}$:

$$s_c = s_{\text{ном}} M_c / M_{\text{ном}} = 0,08 \cdot 0,5 = 0,04.$$

(5.7) формула бойынша $M_c = 187 \text{ Н} \cdot \text{м}$ жүктеме кезінде АҚ роторында келтірілген тоқты анықтаймыз:

$$I_2' = \sqrt{M_c \omega_0 s_c / (3R_2')} = \sqrt{187 \cdot 105 \cdot 0,04 / (3 \cdot 0,24)} = 33 \text{ А}.$$

(8.34) бойынша желіден қолданылатын номинал активті қуатты анықтаймыз:

$$P_{1\text{ном}} = 3U_{1\text{ф}} I_{1\text{ном}} \cos\varphi_{\text{ном}} = 3 \cdot 220 \cdot 81 \cdot 0,82 = 43873 \text{ кВт}.$$

Қуаттың толық номиналды шығындарын шығарамыз:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{1\text{ном}} - P_{\text{ном}} = 43873 - 36000 = 7873 \text{ Вт}.$$

ротордың номиналды келтірілген тоғын табамыз:

$$I_{2\text{ном}}' = \sqrt{M_{\text{ном}} \omega_0 s_{\text{ном}} / (3R_2')} = \sqrt{374 \cdot 105 \cdot 0,08 / (3 \cdot 0,24)} = 33 \text{ А}.$$

қуаттың тұрақты шығындары

$$K = \Delta P_{\text{ном}} - V_{1\text{ном}} - V_{2\text{ном}} = 7873 - 3 \cdot 81^2 \cdot 0,13 - 3 \cdot 66^2 \cdot 0,24 = 2142 \text{ Вт}.$$

берілген жүктеме кезінде қолданылатын активті қуаты

$$P_a = M_c \omega_c + K + V_{1c} + V_{2c} = 187 \cdot 105 (1 - 0,04) + 2142 + 3 \cdot 33^2 (0,13 + 0,24) = 22200 \text{ Вт}.$$

(8.35) бойынша реактивті қуат

$$Q = 3U_{\text{ф}} I_{1\text{х.х}} + 3I_{2\text{к}}^2 x_k = 3 \cdot 220 \cdot 41,5 + 3 \cdot 33^2 \cdot 0,45 = 28860 \text{ В} \cdot \text{А}$$

(8.32) бойынша берілген нүктеде АҚ жұмысы кезінде ізделіп отырған қуат коэффициенті

$$\cos\varphi = P_a / \sqrt{P_a^2 + Q^2} = 22200 / \sqrt{22200^2 + 28860^2} = 0,57.$$

8.12 тапсырма. МТКН 412-6 қозғалтқышы (берілген тап.8.11 қ.) жүктеме моменті $M_{c1} = 0,9$, $M_{ном}$ кезінде 7 мин жұмыс істейді, 12 мин ішінде $-M_{c2} = 0,4 M_{ном}$ және 4 мин ішінде $-M_{c3} = M_{ном}$. Жұмыс циклі кезінде АҚ орташа қуат коэффициентін анықтаймыз.

8.5. ЭЛЕКТР ЖЕТЕК ҚҰРАЛДАРЫМЕН ЭНЕРГИЯНЫ ҮНЕМДЕУ

Энергияны тиімді қолдану халық шаруашылығының маңызды заманауи мәселелерінің бірі болып табылады. Ол мәселені шешу өндірістік және ауыл шаруашылық өнімдерінің өндірісінде энергетикалық және материалды ресурстардың шығындарын азайтуға, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық саласында мемлекет пен халықтың өндірістік емес шығындарын азайтуға, елдегі экологиялық жағдайын жақсартуға мүмкіндік береді. Бұл мәселені шешуде электр энергиясының негізгі қолданушысы ЭЖ маңызды рөл атқарады.

Энергияны үнемдеу ЭЖ өзінде, оған қоса ол қызмет көрсететін технологиялық процестерде де, жобалау және құрылымдау кезеңінде, оған қоса оны пайдалануда іске асырылады.

ЭЖ жобалау мен құрылымдау ЭЖ теориясы мен практикасының және ғылым мен техниканың межелес салалары – электромеханика, электроника, автоматика, механика мен есептегіш техниканың заманауи даму деңгейімен анықталу қажет. Бұл кезеңде негізгі энергия үнемдеу әдістері:

1. Талап етілетін қозғалтқыш қуатының, жұмыс машинасының АО немесе жұмыстың барлық жағдайларын есепке алып өндірістік механизмнің негізделген есебі. 8.3 и 8.4 тарауында жоғары қуатпен қозғалтқыш жұмысының төмен энергетикалық көрсеткіштері болатыны көрсетілген және бұл жағдайда оған кепілге қойылған материалдық ресурстар толық қолданылмайды. Екінші жағынан қуаты жеткіліксіз қозғалтқышты қолдану технологиялық жабдықтың өндірістілігін азайтады, қозғалтқыштың шамадан тыс жүктелуіне және уақытынан бұрын шығып кетуге әкеп соқтырады. Қуат есебі және қозғалтқышты таңдау толығырақ 9 тарауында қаралған.

2. Жұмыс кезінде аз энергия шығындайтын ЭЖ компоненттерін таңдау. Бірінші кезекте бұл пайдалы қозғалыс коэффициенті мен қуаттың ең жоғары мүмкіндігі болуы қажет қозғалтқыштарға қатысты.

3. Қолданған кезде қуат пен энергия шығындары аз болатын ЭЖ координаттарын реттеу әдістерін және техникалық құралдарын таңдау. Мысалы, жиіліктің жартылай жетекті өндегіштер көмегімен айналымы тоқ қозғалтқыштарының жылдамдығын реттеу 5.6 және 6.3 тарауларында қаралған.

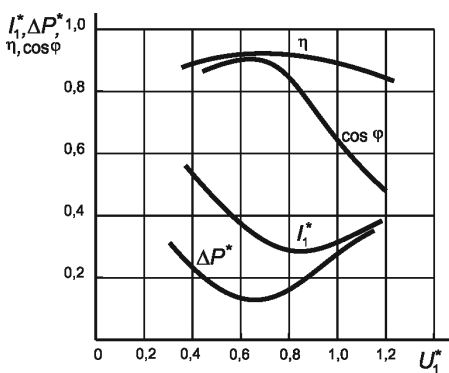
Жұмыс істейтін ЭЖ пайдалану кезінде энергия жаңарту бойынша дұрыс техникалық қызмет көрсету және іс-шаралар өткізу есебінен үнемделеді.

ЭЖ техникалық қызмет көрсету электр құрылғыларын пайдалану ережелеріне сәйкес персоналмен өткізілуі тиіс және жетек элементтерінің мерзімдік тексерісін, алдын алу шараларын қарастыру керек – мойынтірек пен басқа қозғалатын механикалық бөлшектерін майлау, коллекторлар мен қозғалтқыштардың байланыс сақиналары мен электр аппаратының байланыстарын тазалау, электрлік болтты біртүтіргіштерді тарту мен т.б.

ЭЖ жаңарту (8.3 және 8.4 тар. қ.) пайдалану кезінде жетектің энергетикалық көрсеткіштерін арттыратын техникалық іс-шараларды қарастыру керек: аз жүктелген қозғалтқыштарды ауыстыру, бос жүрісте олардың жұмысын шектеу немесе толық алып тастау, аз жүктеме кезінде АҚ статорында кернеуді төмендету, реактивті қуатты өтеу және т.б.

Кез келген жаңарту міндетті түрде оны жүзеге асырудан күтілетін техникалық-экономикалық әсердің бағасымен сүйемелденуі қажет. Жартылай жетекті күштік түрлендіргіштерді қолдану есебінен реттелмейтін ЭЖ реттелетінге ауысу электр үнемдеудің тиімді тәсілі болып табылады. Бұл шара энергия үнемдеуді ЭЖ өзінде, оған қоса қызмет көрсетілетін техникалық процестерде жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Мысал ретінде кернеу реттегіш көмегімен аз жүктеме кезінде асинхронды ЭЖ энергия үнемдеу мүмкіндігін қарастырамыз.

5.5 тарауында оған келтірілген кернеу төмендеген кезде ток желісінен қолданылатын (5.13 с.) АҚ төмендеу мүмкіндігі көрсетілді. АҚ статорында кернеуді реттеу есебінен аз жүктеме немесе бос жүріс



8.5 сурет

кезінде [25,26] ток, желіден тұтылатын қуат, қуат шығыны төмендетілуі, немесе оның ПӘК мен $\cos \varphi$ өсуі мүмкін.

8.5 суретінде мысал ретінде 4А180 М4 типті қуаты 30 кВт қозғалтқыш үшін құрылған $\eta, \cos \varphi$ тәуелділігі, статор тоғына қатысты $I_1^* = I_1 / I_{1\text{ном}}$ және статордағы кернеуге қатысты $U_1^* = U_1 / U_{\text{ном}}$ жүктеме кезінде қуат шығыны $\Delta P^* = \Delta P / \Delta P_{\text{ном}}$ номиналдан 20 % құрайтын.

Келтірілген қисықтардан бұл айнымалылар ең көп мән-ге номиналдан 60-80% кернеу

кезінде жететіні көрініп тұр, айта кететіні экстремум нүктелері жалпы жағдайда сәйкес келмейді.

Айнымалы мәндердің экстремалды деңгейге дейін бірнеше бірлік немесе ондық пайыздарға дейін көтерілуі АҚ типіне байланысты болады, қозғалтқыштардың үлкен қуаты немесе олардың аздау жүктермен жұмыстарының ұзақ мерзімдері кезінде айтарлықтай экономикалық әсер беруі мүмкін.

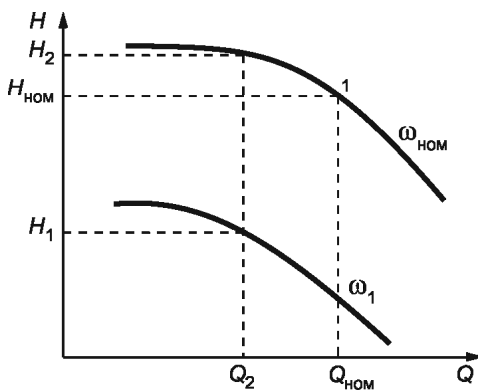
Айнымалылардың экстремалды мәндеріне АҚ белгілі оптимал жылжулармен жұмысы кезінде қол жетеді. Ендеше АҚ кез келген жүктемесі кезінде қолданылатын тоқтың аз болуын қамтамасыз ету үшін оның жылжуы мындай деңгейде сақталуы керек

$$s_{\text{opt}} = R'_2/x_{\mu}. \quad (8.39)$$

Басқа айнымалыларды оптимизациялау кезінде оптимал жылжуларды есептеу үшін формулалар [25] келтірілген. Жылжуды талап етілетін оптималды деңгейде ұстау жылдамдық бойынша теріс кері байланыспен жүйеде қамтамасыз етеліде. (11.30 с.).

Реттелетін ЭЖ қолдану техникалық процестердің бүтін қатарында энергия үнемдеуді қамтамасыз етеді. Кейде ЭЖ өзінде энергия үнемдеу басым болып келеді. Мысалы, ЭЖ көмегімен транспортер таспасының, шындау пешіне бөлшектердің құлау жылдамдығын реттеу олардың сұрыптамаларына, шындау технологиясына және басқа факторларға байланысты шындауға жұмсалатын жылу энергиясының көлемін азайтуға мүмкіндік береді. Жылдамдық бойынша аса тиімді реттелетін АҚ сорғы, шұралар мен компрессор сияқты жұмыс машиналарында энергия үнемдеуді қамтамасыз етеді. Бұл жұмыс машиналары өндірісте, ауыл мен тұрғын үй-коммуналдық шаруашылығында кеңінен тарағандықтан және барлық өңделетін электр энергияның 40% қолданатындықтан бұл жағдайда энергияны үнемдеу өте тиімді болады.

Энергия үнемдеуді ортадан тепкіш сорғы АҚ мысалында қарастырайық. Сорғының негізгі сипатына Q су шығынына ол құрайтын қысымның H тәуелділігі жатады. 8.6 суретінде келтіруші қозғалтқыштың номинал ω мен төмендетілген ω екі жылдамдығы үшін – $H = f(Q)$ келтірілді.



8.6 сурет

Сорап қондырғы жұмысының ерекшелігіне уақыт ішінде берілетін сұйықтық көлемінің өзгеруі жатады. Мысалы, тұрғын үйлерде судың қолданылуы тәулік ішінде өзгереді және екі максимумы бар – таңғы және кешкі. Бастапқы қалыпта сорғы Q номинал шығынымен және I нүстесінде H қысыммен жұмыс істеді деп болжайық. ЭЖ өзгермеген жылдамдығында су шығынының Q_2 мәнге дейін төмендеуі кезінде сипатқа сәйкес H_2 мәніне дейін өседі. Бұл ретте қуат желіде қолданылады

$$P_2 = H_2 Q_2 / (\eta_n \eta_{\text{эп}}), \quad (8.40)$$

мұнда $\eta_n, \eta_{\text{эп}}$ – сәйкес сорап пен ЭЖ ПӘК.

Сол су шығынын H аз қысымы кезінде де ЭЖ көмегімен қозғалтқыш жылдамдығын ю деңгейіне дейін төмендетсе қамтамасыз етуге болады.

$$P_1 = H_1 Q_2 / (\eta_n \eta_{\text{эп}}).$$

Сорап жұмысы уақытында Q_2 шығынымен электр энергиясын үнемдеу (ЭЭ) бұл ретте

$$\text{ЭЭ} = Q_2 T_p (H_2 - H_1) / (\eta_n \eta_{\text{эп}}).$$

Реттелетін АҚ сораптарын қолдану мысалдары сорап қондырғыларының түрлері мен жұмыс режимдеріне байланысты электр энергиясын үнемдеу 50 % және одан асатынын көрсетеді. Оған қоса, аз қысымды желілердің жұмысы кезінде судың жылыстауы желілер мен арматурада (15-20% және одан көп), біршама аз. Айнымалы тоқтың АҚ сораптарында көбінесе жиіліктің статистикалық өндеуіштері қолданылады.

Бақылау сұрақтары

1. ЭЖ энергетикалық көрсеткіштерін атаңдар.
2. Қуаттың тұрақты және айнымалы шығындар құрамына не жатады?
3. Қуат пен энергия шығындары бір-бірімен қалай байланысты?
4. ТТҚ зәкірінде және АҚ роторында қуат пен энергия шығындарын неге бір формуламен шығаруға болады?
5. Ауыспалы процестерде энергия шығынын есептегенде ЭЖ жүктемесі қалай оңай есепке алынады?
6. Энергия шығындарын төмендету көз-қарасынан П-Қ жүйесінде қарқынды қолдану нені береді?
7. ЭЖ ауыспалы процестерінде энергия шығындарын азайтудың қандай тәсілдері бар?
8. Орташа ПӘК дегенеміз не?
9. ЭЖ ПӘК қалай көтеруге болады?

10. Қуат коэффициенті дегеніміз не?
11. ЭЖ қуат коэффициентін қандай жолдармен арттыруға болады?
12. Энергияны тиімді қолдану міндетінің маңыздылығы неде?
13. Қолданған немесе жаңарту кезінде ЭЖ құралдарымен энергия үнемдеуді қандай техникалық іс-шаралар қамтамасыз етеді?

9 тарау. ҚОЗҒАЛТҚЫШТАР МЕН РЕЗИСТОРЛАРДЫ ТАҢДАУ ЖӘНЕ ТЕКСЕРУ

Жаңа ЭЖ жасау (жобалау) немесе қолданыстағыларды жаңарту кезінде оларға жүктелген қызметтерді өте жақсы орындай алатын және жетек пен жұмыс машинасының шарттарына сәйкес келетін сериялы шығарылатын қозғалтқыштар мен резисторларды таңдайды. Олардың төлқұжаттық деректері (номинал) (қуаты, кернеуі, ток, жиілік пен т.б.) жүктелген ЭЖ жұмысы кезіндегі есептік деректерге жақын болуы керек, конструкциялық орындауы оның орналастыру әдістеріне және қоршаған орта жағдайларына сәйкес болуы керек.

Кез келген ЭЖ негізгі элементі қозғалтқыш болып табылады. Дәл оның деректерімен басқа элементтер таңдалады – түрлендіргіштер, коммутация аппаратуралары, резисторлар, қорғау элементтері және т.б. Осы себептен бұл тарауда қуат есебіне және қозғалтқыш таңдауға басым назар аударылады.

9.1. ҚУАТ ЕСЕБІ ЖӘНЕ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ТАҢДАУ

Электр қозғалтқышты таңдаудың негізгі талабы оның жұмыс машинасының технологиялық процесс шарттарына сәйкестігі. Таңдау міндеті жұмыс машинасының қойылған технологиялық циклін қамтамасыз ете алатын, пайдалану және жұмыс машинасымен тұтастыру шарттарына сәйкес келетін қозғалтқышты таңдаудан тұрады, ал бұл жағдайда оның қызуы нормативтік деңгейден (ұйғарынды) аспауы керек.

Жеткіліксіз қуатпен қозғалтқышты таңдау белгіленген технологиялық циклдің бұзылуына және жұмыс машинасы өндірісінің төмендеуіне әкеп соқтыруы мүмкін. Бұл ретте болатын оның қатты қызуы және оқшаулаудың жылдам тозуы қозғалтқыштың өзінің уақытынан бұрын жарамсыз болуын, жұмыс машинасының тоқтап қалуын және сәйкес экономикалық шығындарын тудырады.

Оған қоса жоғары қуатты қозғалтқыштарды да қолдануға жол берілмейді, бұл жағдайда алғашқы құны жоғары болғанмен ЭЖ төмен ПӘК және қуат коэффициентімен жұмыс істейді.

Осылайша, электр қозғалтқыштың негізделген таңдауы көбінесе «ЭЖ-жұмыс машинасы» кешен жұмысының техникалық-экономикалық көрсеткішін анықтайды.

Электр қозғалтқышты таңдау әдетте былай болады: алдымен талап етілетін қуат есептеледі, сосын алдын ала таңдалған қозғалтқыш іске қосу, шамадан тыс жүктеу және қызу шарттары бойынша тексеріледі. Егер ол тексеру шарттарын қанағаттандырса таңдау осымен аяқталады, ал егер қанағаттандырмаса басқа қозғалтқыш таңдалады (әдеттегідей қуаты үлкен) және тексеру қайталанады.

Жаңадан жасалатын ЭЖ жобалағанда қозғалтқышты таңдаумен бірге беріліс санының (келтіру радиусы) есебі және қозғалтқыш пен жұмыс машинасының атқарушы органы арасында механикалық беріліс таңдауы жүргізіледі. Осы тарауда қарапайым міндет қарастырылады – белгілі механикалық берілістер кезінде, оның беріліс санында (немесе келтіру радиусы) және ПӨК-те қозғалтқышты таңдау.

Қуат есебі және электр қозғалтқышты таңдау үшін бастысы жүктеме диаграммасы мен жұмыс машинасының атқарушы орган жылдамдығының диаграммасы (тахограмма).

Жұмыс машинасының атқарушы орган **жүктеме диаграммасы** $M_c(t)$ уақытында қозғалтқыш білігіне келтірілген жүктеменің статистикалық моментінің өзгеру кестесін білдіреді. Бұл диаграмма машина мен механизмдердің жұмыстарын және механикалық беріліс параметрлерін сипаттайтын технологиялық деректер негізінде құрылады. Мысал үшін кейбір машиналар мен механизмдер атқарушы органдарының жұмысы кезінде қозғалтқыш білігінде пайда болатын M_c кедергі моментін есептеуге болатын формулаларды келтіреміз.

Көтергіш шығыр механизмі жұмысы кезінде

$$M_c = GR/(i\eta), \quad (9.1)$$

мұнда G – көтерілетін жүктің ауырлық күші, H ; R – көтергіш шығыр барабанының радиусы, m ; i , η – сәйкесінше механикалық берілістің беріліс саны мен ПӨК.

Көтергіш қранын қозғалту механизмінің жұмысы кезінде

$$M_c = k_f G \mu r + f/(i\eta), \quad (9.2)$$

мұнда G – көшірілетін массаның ауырлық күші, H ; $k_f = 1,8-2,5$ – рельстерге жүріс доңғалақтар кемерігінің үйкелісінен қозғалыс кедергісінің ұлғаюын есепке алатын коэффициент; $\mu = 0,015-0,15$ – жүріс доңғалақтар тіреуішіндегі үйкеліс коэффициенті; $f = (5-12) \cdot 10^{-4}$ – рельстер бойынша жүріс доңғалақтарының шайкалуының үйкеліс коэффициенті, m ; r – жүріс доңғалақтарының осінің мойынша радиусы, m .

Желдеткіштер жұмысы кезінде

$$M_c = k_3 QH / (\eta_b \omega_b \eta_i) \quad (9.3)$$

Мұнда Q – желдеткіштің өнімділігі, м³/с; H – газ қысымы, Па; $\eta_b = 0,4-0,85$ – желдеткіш ПӘК; η_b – желдеткіш жылдамдығы, рад/с; $k_3 = 1,1-1,5$ – қор коэффициенті.

Сораптар жұмысы кезінде

$$M_c = k_3 g \rho Q (H_c + \Delta H) / (\eta_n \omega_n \eta_i) \quad (9.4)$$

Мұнда Q – сораптың өнімділігі, м³/с; H_c – статикалық қысым, м; ΔH – құбырда қысымның шығыны, м; $g = 9,81$ – бос құлаудың үдеуі, м/с²; ρ – айдалатын сұйықтық тығыздығы, кг/м³; $k_3 = 1,1 \dots 1,3$ – қор коэффициенті; $\eta_n = 0,45 \dots 0,75$ – сорап ПӘК; ω_n – сорап жылдамдығы, рад/с.

Жылдамдық диаграммасы немесе тахограмма $V_{ио}(t)$ или $\omega_{ио}(t)$. уақытына атқарушы орган қозғалысы жылдамдығының тәуелділігін білдіреді. Келтіру операциясын орындағаннан кейін бұл тәуелділіктер $w(t)$ уақытында қозғалтқыш білігі жылдамдығының өзгеріс кестесі түрінде бейнеленеді.

9.1, а суретінде жүктеме диаграммасының мысалы келтірілген, ол кейбір атқарушы орган өзінің жұмысы кезінде t_1 уақыт ішінде M_{c1} жүктеме моментін жасайтынын көрсетеді, ал t_2 – уақыт ішінде M_{c2} жүктеме моменті. Тахограммадан (9.1, б с. қ.) оның қозғалысы екпін бөлікшерінен, белгіленген жылдамдықтан, тежеу мен іркілістен тұратынын көрінеді.

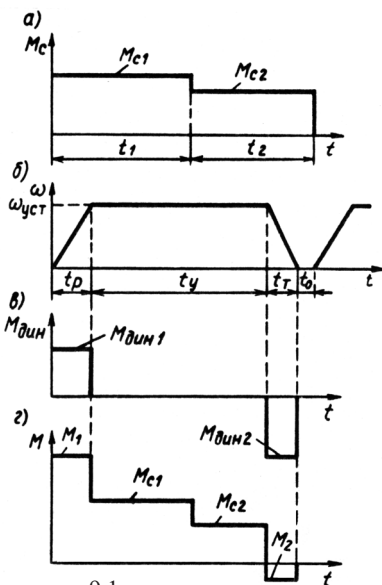
Бұл бөлікшелердің ұзақтығы сәйкесінше t_p , t_y , t_m , t_0 тең, ал циклдің толық уақыты $t_u = t_p + t_y + t_m + t_0 = t_1 + t_2$.

Қозғалтқышты алдын ала таңдау мен тексеру қуатын есептеу тәртібін осы диаграммалар мысалында қарастырамыз.

Қозғалтқыштың есептік қуатын анықтау. Қозғалтқыштың есептік моменті шамамен

$$M_{расч} \geq k_3 M_{с.э}, \quad (9.5)$$

Мұнда $M_{с.э}$ – жүктеменің эквивалентті моменті; k_3 – электр қозғалтқыштың жоғарғы қуат пен моменттерде жұмыс істегендегі динамикалық режимдерін есепке алатын қор коэффициенті.



9.1 сурет

Егер M_c жүктеме моменті уақытта өзгерсе жүктеме диаграммасында бірнеше бөлікше болады, 9.1, а суретінде көрсетілгендей, ендеше M_{c3} орташа шаршы ұзындық ретінде анықталады:

$$M_{c3} = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n M_{ci}^2 t_i} / t_{ц}}, \quad (9.6)$$

Мұнда M_{ci} , t_i – жүктеме диаграммасының i бөлікшесінде сәйкесінше моменті мен ұзақтығы.

Қаралып отырған қозғалыс графигінде қозғалтқыштың есептік жылдамдығы $\omega_{расч} = \omega_{уст}$. Егер атқарушы орган жылдамдығы реттелсе қозғалтқыштың есептік жылдамдығы қиынырақ тәсілмен анықталады және оның реттеу тәсіліне байланысты болады [12].

Қозғалтқыштың есептік қуаты

$$P_{расч} = M_{расч} \omega_{расч} = k_3 M_{c3} \omega_{уст}. \quad (9.7)$$

Қозғалтқышты таңдау және оны шамадан тыс жүктеу мен іске қосу шарты бойынша тексеру. Каталогтан қуаты мен кернеуінің мәні жақын жоғары қозғалтқышты таңдаймыз. Бұл ретте таңдап алынған қозғалтқыш кернеудің түрі мен мәні бойынша өзі қосылатын айнымалы немесе тоқ, не күштік өндіргіштер желілерінің параметрлеріне сәйкес келу керек; конструкциялық орындау бойынша – атқарушы органмен және жұмыс машинасына бекіту тәсілімен оның тұтастыру шарттарына, ал желдеткіш тәсілі мен қоршаған ортаны қорғау бойынша – оның жұмыс шарттарына сәйкес болу керек.

Таңдап алынған қозғалтқыш шамадан тыс жүктелу қабілеті бойынша тексеріледі. Ол үшін $M(t)$ уақытынан моментінің тәуелділігі есептеледі, яғни қозғалтқыштың жүктеме диаграммасы. Ол төмендегідей түрде жазылған механикалық қозғалыс теңдігінің (2.15) көмегімен құрылады

$$M = M_c + Jd\omega/dt = M_c + M_{дин}. \quad (9.8)$$

Динамикалық момент $M_{дин}$ иннерцияның J жиынтық келтірілген моментімен және $\omega(t)$ жылдамдық диаграммасының тежеу бөлікшесіндегі екпін мен ақырындау бөлікшесінің берілген үдеуімен анықталады (9.1, б с.). Егер $\omega(t)$ графигін қарқын мен тежеу бөлікшесінде сызықтық деп санасақ, онда осы бөлікшелердегі динамикалық моменттерді келесі түрде жазуға болады:

$$M_{дин.р} = J\Delta\omega/\Delta t = J\omega_{уст}/t_p = \text{const}; \quad (9.9)$$

$$M_{дин.т} = -J\omega_{уст}/t_{т}.$$

Динамикалық моменттің графигін біле отыра (9.1, в с.) тұрақты үдеу мен ақырындауда (9.8) негізінде құрылған $M(t)$ тәуелділікті, $M_{\max}$ қозғалтқыштың максималды ұйғарынды моментін M қарқынындағы максималды моментімен салыстырамыз (9.1, з с.). Қарастырылып отырған жағдайға мынадай қатынас орындалу керек

$$M_{\max} \geq M_1. \quad (9.10)$$

Егер (9.10) қатынасы орындалса қозғалтқыш екпін бөлікшесінде тапсырылған үдеуді қамтамасыз етеді (9.1 с.), орындалмаса – осы бөлікшеде қозғалыс графигі тапсырылған графиктан ерекшеленеді және басқа қозғалтқыш таңдау қажет, егер сондай жылдамдық графигі орындалуы міндетті болса.

Қарапайым орындаудың және синхронды қозғалтқыштың тұрақты тоқ қозғалтқышы үшін $M_{\max} = M_{\text{доп}} = (1,5 \dots 2,5) M_{\text{ном}}$ фазалық роторлы АҚ үшін бұл момент сыниға шамамен тең қабылдануы мүмкін.

Қысқаша тұйықталған роторлы АҚ таңдаған кезде қозғалтқыш сонымен бірге іске қосу шартына тексерілуі қажет, ол үшін оның M_n іске қосу моменті M_{π} іске қосу кезінде жүктеме моментімен салыстырылады

$$M_{\pi} \geq M_{\text{с.п.}}. \quad (9.11)$$

Қарастырылып отырған мысал үшін $M_{\text{с.п.}} = M_{\text{с1.}}$ Егер таңдап алынған қозғалтқыш қарастырылған шарттарды қанағаттандырса, әрі қарай оның қызу бойынша тексерісі жүзеге асырылады.

9.1* тапсырма. ЭЖ жұмысы 9.1, а, 6. суретімен сипатталады, бұл ретте: $M_{\text{с1.}} = 40 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_{\text{с2.}} = 15 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $t_1 = 20 \text{ с}$; $t_2 = 60 \text{ с}$; $t_p = 2 \text{ с}$; $t_r = 1 \text{ с}$; $t_y = 77 \text{ с}$; $\omega_{\text{уст}} = 140 \text{ рад/с}$; $J = 0,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Қозғалтқыштың есептік моменті мен қуатын анықтау және оның жүктемелік диаграммасын құрастыру.

Қозғалтқыштың есептік моментін (9.5) бойынша (9.6) есепке алып анықтаймыз, ал есептік қуатты – (9.7) бойынша:

$$M_{\text{расч}} = k_3 M_{\text{с.з}} = 0,2 \sqrt{(40 \cdot 20 + 15 \cdot 60) / (20 + 60)} = 28,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$P_{\text{расч}} = M_{\text{расч}} \omega_{\text{расч}} = 28,7 \cdot 140 = 4006 \text{ Вт} \approx 4 \text{ кВт}.$$

Қозғалтқыштың жүктемелік диаграммасын $M(t)$ құру үшін алдымен $M_{\text{дин.р}}$ екпін алу мен $M_{\text{дин.т}}$ тежеу бөлікшесіндегі динамикалық моменттерін анықтаймыз:

$$M_{\text{дин.р}} = J \omega_{\text{уст}} / t_p = 0,8 \cdot 140 / 2 = 56 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{дин.р}} = -J \omega_{\text{уст}} / t_r = -0,8 \cdot 140 / 1 = -112 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Екпін M_1 мен тежеу M_2 бөлікшесіндегі қозғалтқыш моментін (9.8) бойынша табамыз:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{c1} + M_{\text{дин.р}} = 10 + 56 = 96 \text{ Н}\cdot\text{м}; \\ M_2 &= M_{c2} + M_{\text{дин.т}} + 20 - 112 = -92 \text{ Н}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

Белгіленген қозғалыс ($t_1 \dots t_p$) и ($t_2 \dots t_r$) бөлікшесінде қозғалтқыш моменттері M_{c1} және M_{c2} , жүктеме моменттеріне тең, өйткені оларға динамикалық момент нөлге тең.

9.2. ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫ ҚЫЗУЫ БОЙЫНША ТУРА ӘДІСПЕН ТЕКСЕРУ

Электр қозғалтқыш жұмыс кезінде тек анықталған ұйғарынды температураға дейін қыза алады, ол бірінші кезекте қолданылатын оқшаулау материалдарының қызуға төзімділігімен анықталады. Зауыт-шығарушы белгілеген, қозғалтқыштың төлқұжаттық деректеріне енгізілген ұйғарынды қызу температурасын сақтау оның қызметінің 15-20 жыл шамасында нормалық мерзімін қамтамасыз етеді. Ұйғарынды температурадан асыру электр қозғалтқыштың оқшаулау орамдарының уақытынан бұрын бұзылуына және қызмет ету мерзімінің қысқаруына соқтырады. Ұйғарынды қызу температурасын $8-10^\circ \text{C}$ дейін арттыру оқшаулаудың қызмет ету мерзімін екі есе азайтады.

Заманауи қозғалтқыштарда бірнеше кластың оқшаулауы қолданылады, ұйғарынды қызу температурасы: А класы – 105°C дейін, Е – 120°C дейін, В – 130°C дейін, F- 155°C дейін, Н – 180°C дейін, С – 180°C жоғары.

Қазіргі таңда электр қозғалтқыштарын дайындаған кезде негізінен В, F және Н класс оқшауларын қолданады.

Қозғалтқышты қызуы бойынша тексерудің мәні ол үшін ұйғарынды температурамен оның жұмыс кезіндегі температурасын салыстырудан тұрады. Әлбетте, егер жұмыс температурасы ұйғарындыдан аспаса онда қозғалтқыш ұйғарынды жылу режимінде және керісінше істей алады. Өдетте абсолютті температура емес, қызып кету t бағаланады, ол қозғалтқыш және қоршаған орта температурасының теңдігін білдіреді $t_{oc}: m = t - \tau_{oc}$.

Жылу есептерін орындаған кезде қоршаған ортаның 40°C тең стандартты температурасы алынады, оған қалқаншасында көрсетілген қозғалтқыштың номиналды қуаты сәйкес келеді. Қоршаған ортаның төменірек температурасы кезінде қозғалтқыш номиналды қуаттан біршама жоғары жүктелуі мүмкін, ал жоғарырақ температура кезінде оның

жүктемесін азайту керек немесе оны қосымша суыту немесе одан қуаттылау қозғалтқышқа ауыстыру бойынша шаралар қолдану қажет.

Қозғалтқыш ұйғарынды жылу режимінде шарттарды орындаған жағдайда жұмыс істейді

$$\tau_{\text{раб}} < \tau_{\text{доп}} \quad (9.12)$$

мұнда $\tau_{\text{доп}}$ – қозғалтқыштың ұйғарынды (нормативті) қызуы, оның оқшаулау класымен анықталатын; $\tau_{\text{раб}}$ – қозғалтқыштың жұмыс кезінде қызуы.

Тексеру кезінде $\tau_{\text{раб}}$ ретінде қозғалтқыштың жұмыс уақыты ішінде орташа немесе максималды қызуы таңдалады. Орташа қызуға бағыт алған кезде қозғалтқышты толық қолдану орын алады, бірақ оның жұмысының кей кезеңдерінде қызу орташадан асып отырады. Егерде максималды қызуға бағыт алса, онда қозғалтқыштың жұмыстық қызуы әрқашан нормативтіден аз болады, бұл ретте қозғалтқыш өзінің қуаты бойынша толық қолданылмайды.

Шарттарды тексеру (9.12) тура немесе жанама әдіспен орындалуы мүмкін. Тура әдісті қолдану есепті және қозғалтқыштың жұмыс циклі ішінде $t(t)$ жана қызуды құруды қарастырады. Осы жанама бойынша ұйғарындымен салыстырылатын максималды немесе орташа қызу тікелей анықталады, осылар негізінде қозғалтқыштың жылу режимі туралы жорамалдайды. Жанама әдістерді қолданғанда қозғалтқыштың қызуы туралы сол немесе басқа жанама көрсеткіштер бойынша жорамалдайды – қуат жоғалту, эквивалентті тоқ, момент пен қуат.

Тура әдісті қолдану үшін қозғалтқыштың жылу режимінің математикалық сипаттамасы болу керек. Қозғалтқыштың қызу және суу процестерінің нақты сипаттамасы өте қиын тапсырма болып келеді. Қозғалтқыш олардың жылу сыйымдылығы мен жылу берісінің түрлі болуын түсіндіретін әртүрлі материалдардан жасалған түрлі конфигурация бөлшектері мен тораптарының жиынтығын білдіреді. Қозғалтқыштың бөлек бөлшектерінің қызу шарттары бірдей болмайды, ал жылу ағындары оның жұмыс режиміне байланысты болады.

Қозғалтқыштардың жылу процестерін зерттеу кезінде дәл анализ жүргізудің қиындығына орай әдетте келесі жорамалдар қабылданады: қозғалтқыш шексіз үлкен жылу өткізгіштігі бар және өзінің барлық нүктелерінде температурасы бірдей біртекті дене ретінде қаралады; жылу бергіштік сыртқы ортаға қозғалтқыш пен қоршаған орта температураларының бірінші деңгей айырмасына пропорционал; қоршаған ортаның жылу сыйымдылығы шексіз үлкен, яғни қозғалтқыштың қызу процесінді оның температурасы өзгермейді; қозғалтқыштың жылу сыйымдылығы мен оның жылу бергіштік коэффициенті температураға байланысты емес. Осы шарттармен жылу балансының келесі алғашқы теңеуді жазуға болады:

$$\Delta P dt = A \tau d\tau + C d\tau, \quad (9.13)$$

мұнда ΔP – қозғалтқышта қуат шығыны, Вт; A – қозғалтқыштың жылу бергіштігі, Дж/(с·°C); C – қозғалтқыштың жылу сыйымдылығы, Дж/°C.

Теңдеу шешуінің түрі (9.13)

$$\tau = (\tau_{\text{нач}} - \tau_{\text{уст}}) e^{-t/T_t} + \tau_{\text{уст}}, \quad (9.14)$$

мұнда $\tau_{\text{уст}} = \Delta P / A$ – қозғалтқыш температурасының қалыптасқан жоғарлауы, °C; $T_t = C / A$ – қозғалтқыштың қызу мен салқындау уақытының тұрақты жылуы, с; $\tau_{\text{нач}}$ – қозғалтқыштың бастапқы қызып кетуі, °C.

Өрнек (9.14) қозғалтқыштың қызу және салқындау кезінде де жылу режимін зерттеу үшін қолданыла алады. Тек сәйкес $\tau_{\text{уст}}$, $\tau_{\text{нач}}$ мәндерін және сәйкес T_n қызу мен T_o суыту мәндерінің T_t тұрақты жылу уақытын ұсыну қажет.

Қозғалтқыштың кейбір түрлерінде қызу және суыту процестері түрлі жылу тұрақты уақытымен сипатталады. Бұл температураның өзгеру процесін сипаттайтын жылу тұрақты уақытының қозғалтқыштың жылу бергіштігіне кері пропорционалдығымен байланысты. Сондықтан қозғалтқышты сөндіргіннен кейін салқындаған кезде оның жылу бергіштік шарттары өзгергендіктен тұрақты уақытта өзгереді.

Жылу бергіштің сандық нашарлауы қозғалыссыз ротор кезіндегі жылу бергіштіктің нашарлау коэффициентімен сипатталады

$$\beta_o = A_o / A, \quad (9.15)$$

мұнда A_o , A – қимылсыз қозғалтқыш пен оның номинал айналу жылдамдығы кезіндегі сәйкес жылу бергіштік.

Қозғалтқыштар үшін β_o коэффициентінің мысалды өрнектерін келтіреміз:

тәуелсіз желдеткішпен	1
еріксіз суытпай	0,95...0,98
өздігінен желдететін	0,45...0,55
қорғалған өздігінен желдететін	0,25...0,35

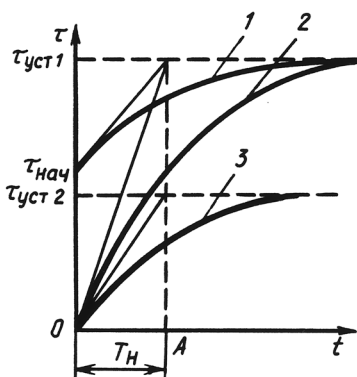
(9.15) есепке алғанда қозғалтқыштың салқындау тұрақты уақыты T_o қызу тұрақты уақытымен байланысты T_n келесі қатынаста: $T_o = T_n / \beta_o$. Себебі $\beta_o < 1$, онда $T_o > T_n$, яғни қимылсыз қозғалтқыштың салқындауы қызуға қарағанда ақырын болады.

9.2 суретінде түрлі $\tau_{\text{нач}}$ мен ΔP үшін қозғалтқыштың жанама қызуы келтірілген. Қабылданған жорамалдар кезінде қозғалтқыштың

қызуы экспоненциалды заң бойынша жүреді және T_n тұрақты уақытпен сипатталады.

ΔP_1 қуаттың үлкен шығындарына $\tau_{уст1}$ қалыптасқан қызып кетудің үлкен мәні сәйкес келеді (қысық 1 және 2), ΔP_2 аз шығындары $\tau_{уст2}$ аз қызуды анықтайды.

Экспоненциалды заң кезінде қалыптасқан қызуға жету уақыты оның өзгеруі шексіз үлкен. Қызудың практикалық процесін қалыптасқан деп $\tau_{уст} = (3-4) T_n$ уақытта қозғалтқыштың температурасының жоғарылауы (0,95-0,98) $\tau_{уст}$ деңгейіне жеткенде есептеуге болады.



9.2 сурет

Осылайша, өзінің қалыптасқан қызумен жеткен уақыты қозғалтқыштың тұрақты қызу уақытына байланысты. Қозғалтқыштың жылу сыйымдылығы оның көлеміне, жылу бергітігі жазықтық ауданына пропорционал болғандықтан, үлкен габариттік өлшемдері бар үлкен қуатты қозғалтқыштар үлкен қызу тұрақты уақыты болады.

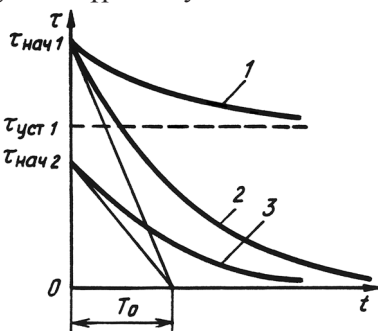
Қозғалтқыштардың салқындауы жүктемені азайту кезінде 1 қысық (9.3 с.) және қозғалтқышты желіден ағыту кезінде 2 мен 3 қысық бойынша қызудың төмендеуімен сүйемелденеді.

Электр қозғалтқышты тура әдіспен қызу бойына тексеру келесіден тұрады. Қозғалтқыштың жүктеме графигі бойынша жұмыс циклінің бөлек бөлікшелерінде қуатты жоғалтумен анықталады және $\tau_{уст} = \Delta P / A_i$ формула бойынша әр біреуінде қалыптасқан қызудың мәні табылады.

Әрі қарай қозғалтқыштың жұмыс бөлікшелері (қызу) және іркіліс (салқындау) үшін қызу мен салқындаудың тұрақты уақыты анықталады.

Одан кейін (9.14) формула бойынша циклдің әр учаскесіне қызудың қысық $\tau(t)$ құрылады, бұл ретте әр бөлікшеде $\tau_{нач,i}$ бастапқы мәні болып алдыңғы бөлікшедегі $\tau_{онец(i-1)}$ соңғы мәні табылады.

Осылайша құрылған қызудың қысық $\tau(t)$ бойынша оның максималды немесе орташа мәні орналасады және шарттарды орындау тексеріледі (9.12).



9.3 сурет

9.3. ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫ ҚЫЗДЫРУ БОЙЫНША ЖАНАМА ӘДІСПЕН ТЕКСЕРУ

Қозғалтқыштарды қыздыру бойынша тура тексерудің бір кемшілігі бар – оны қолдану үшін жылу параметрлерін білу керек – жылу бергіштік A мен жылу сыйымдылығын C . Қозғалтқыштар бойынша каталог пен анықтамаларда бұл параметрлер көрсетілмегендіктен тексерудің тура әдісін практикалық қолданылуы қиын болады. Осыған орай көп жағдайларда қозғалтқыштарды қыздыру бойынша тексерілуі кесте $t(t)$ құруды талап етпейтін жанама әдістермен өтеді. Оларға орташа шығындар және эквивалентті шамалар әдістері жатады.

Орташа шығындар әдістері жанама әдістердің ең нақты және әмбебабы болып келеді. Бұл әдістің мәні қозғалтқыштардың жұмыс циклі ішінде орташа қуат шығындарын ΔP_{cp} анықтауда және оларды номинал қуат шығындарымен ΔP салыстыруда.

Орташа шығындар әдісін қолдану кезінде қозғалтқыштың айтарлықтай қашықтықтағы жұмыс циклі қарастырылады, онда оның орташа қызып кетуі өзгермейді.

Қозғалтқыштың жұмыс режиміндегі цикл ішінде бөлінген жылу қоршаған ортаға берілгенге теңейді, квазиорныққан деп атайды

$$\tau_{cp} = \int_0^{t_n} \Delta P dt / (At_c) = P_{cp} / A, \quad (9.16)$$

$$\Delta P_{cp} = \int_0^{t_n} \Delta P dt / t_u - \text{цикл ішіндегі орташа қуат шығындары.}$$

Сонымен, (9.16) сәйкес цикл ішіндегі орташа шығындар қозғалтқыштың орташа қызуын τ_{cp} анықтайды. Ұқсастығы бойынша номинал қуат шығындары қозғалтқышта

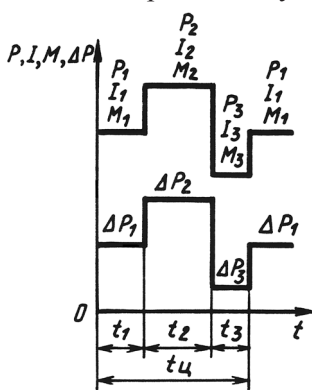
оның ұйғарынды қызуын анықтайды (нормативті) $\tau_{доп}, \tau_{доп} = \Delta P_{ном} / A$

(9.16) есепке алғанда қозғалтқыштың ұйғарынды қызуы шарты кезінде болады

$$\Delta P_{cp} \leq \Delta P_{ном}, \quad (9.17)$$

ол орташа шығындар әдісінің негізгі есептік ара қатынасы болады.

Бөлек цикл учаскелерінде жүктеме тұрақты болған жағдайда 9.4 с. мысалында сияқты, орташа шығындар формула бойынша анықталады



9.4 сурет

$$\Delta P_{\text{cp}} = (\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \Delta P_3 t_3) / (t_1 + t_2 + t_3) = \sum_1^n P_i t_i / \sum_1^n t_i. \quad (9.18)$$

Қозғалтқыштың номинал қуат шығындары каталогтық деректер бойынша формуламен анықталады

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}) / \eta_{\text{ном}}. \quad (9.19)$$

Орташа шығындар әдісі қозғалтқыш жұмысының жылу режимін температураны орташа жоғарылаты бойынша бағалауға мүмкіндік береді. Мұнда әдістің белгілі кемшілігі жатыр, өйткені қозғалтқыштың максималды қызып кетуі циклдің бөлек учаскелерінде τ_{cp} асып кетуі мүмкін. Бұл әдіспен қызуды нақты бағалау жоғары болады, неғұрлым қозғалтқыштың тұрақты қызуы $T_{\text{н}}$ көп болса қозғалтқыш жұмыс циклінің ең ұзақ учаскесінде $t_{\text{max}} < T_{\text{н}}$ теңсіздігін орындау кезінде. Бұл ретте $t_{\text{cp}} \sim T_{\text{max}}$.

Эквивалентті шамалар әдістері орташа шығындар әдісіне негізделеді.

Эквивалентті тоқ әдісін есептік жолмен немесе эксперимент ретінде алуға болатын қозғалтқыш қуатының уақыт ішінде өзгеру кестесі белгілі болғанда қолданған орынды.

Эквивалентті тоқ әдісіннің есептік формуласын алу үшін (8.1) сәйкес қозғалтқышта орташа қуат шығындарын тұрақты сома K және айнымалы шығын V ретінде келтіреміз:

$$\Delta P_{\text{ном}} = 1/t_{\text{ц}} \sum_{i=1}^n P_i t_i = 1/t_{\text{ц}} \sum_{i=1}^n K t_i + 1/t_{\text{ц}} \sum_{i=1}^n V_{\text{ном}} (I_i / I_{\text{ном}}) 2 t_i, \quad (9.20)$$

где ΔP , I , t — қуат шығыны, қозғалтқыш тоғы мен жұмыс циклі учаскесінің i -ұзақтығы.

(9.20) есепке ала отырып қозғалтқыш жылуы тексеру шарты (9.17) бірнеше өзгерулерден кейін келесідей болады:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (I_i^2 t_i) / t_{\text{п}}} = I_{\text{экв}} \leq I_{\text{ном}}. \quad (9.21)$$

$I_{\text{экв}}$ тоғы қозғалтқыш тоғының уақыт ішінде өзгертін нақты қызу шарттары бойынша эквивалентті.

Сонымен (9.21) формуласына сәйкес қозғалтқыштың орташа қызуы ұйғарынды (нормативті) деңгейден аспайды, егер эквивалентті тоқ оның жұмыс циклі ішінде номинал (төлқұжаттық) тоқтан аспаса. (9.21) формуласы тура, егер тұрақты шығындар сжұмыс циклі ішінде өзгермесе, ал басты тізбектердің кедергісі жұмыс циклі ішінде өзгеріссіз қалса. Сондықтан егер тұрақты шығындар немесе қозғалтқыштың басты тізбектерінің кедергісі

өзгерсе эквивалентті тоқтың әдісі қозғалтқыштың жылу жағдайын бағалауда қателік жібереді.

Эквивалентті момент әдісін $M(t)$ уақытында қозғалтқыш моментінің өзгеру кестесі белгілі болғанда қолдануға ыңғайлы. Эквивалентті тоқ әдісін эквивалентті момент әдісі кезінде қолдануың көрсетілген шарттарына қосымша тағы бір шарт сақталу керек – бүкіл жұмыс циклі бойында қозғалтқыштың магнитті түйдектің тұрақтылығы.

Егер бұл шарт орындалса, өрнектің екі бөлігін (9.21) $k\Phi_{\text{ном}}$ көбейтіп келесі формуланы жасаймыз:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i^2 t_i) / t_{\text{ц}}} = M_{\text{эқв}} \leq M_{\text{ном}}. \quad (9.22)$$

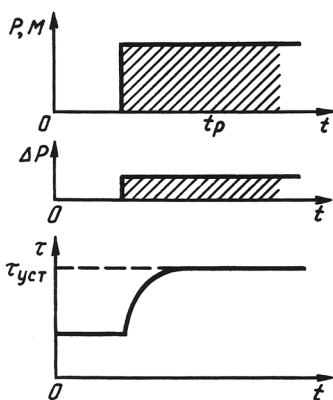
$M_{\text{эқв}}$ – қызу шарты бойынша эквивалентті, жұмыс циклі ішіндегі қозғалтқыштың орташа шаршы моменті.

Эквивалентті қуаттың әдісі тұрақты шығындардың, магнит түйдектері мен жұмыс циклінің барлық учаскелерінде қозғалтқыш жылдамдығының бірқалыптық шарты кезінде қуаттың уақыт ішінде өзгеру кестесі белгілі болғанда қолданады.

Циклдің барлық учаскелерінде қозғалтқыштың жылдамдығы номиналға тең деп алайық. Ара қатынастың екі бөлігін ю көбейткенде (9.22) шығады

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i^2 t_i) / t_{\text{ц}}} = M_{\text{эқв}} \omega_{\text{ном}} = P_{\text{эқв}} \leq P_{\text{ном}}. \quad (9.23)$$

$P_{\text{эқв}}$ – эквивалентті қызу шарты бойынша, қуат жұмыс циклі ішінде қозғалтқыштың анықталатын механикалық қуаты ретінде.



9.5 сурет

Егер ара қатынасы орындалса (9.23), онда алдында көрсетілген шарттар сақталған кезде қозғалтқыштың қызуы ұйғарынды деңгейден аспайды.

Қозғалтқыштарды жұмыстарының түрлі режимдері кезінде қызу бойынша жанама әдістермен тексеру ерекшелігі. Қозғалтқыштардың жұмысы олардың білігінде жүктеменің өзгеру сипаты бойынша, осылайша олардың қызу және салқындау түрі $S1$ –ден $S8$ -ге дейін шартты белгілермен белгіленіп сегіз режимге бөлінеді. Қозғалтқыштың ұзақ но-

минал жұмыс режимі $S1$) оның барлық бөлшектері қалыптасқан мәнге жететін уақыт бойы өзгермейтін жүктемемен сипатталады. P білігінде қуаттың өзгеру кестелері, M моменті, ΔP қуат шығыны мен t режим қызуы 9.5 суретінде келтірілген. $S1$ режимінің белгісі $t_p > 3T_n$ шартын орындау, t_p - қозғалтқыштың жұмыс уақыты. $S1$ режимінде қозғалтқыштың жұмысы тұрақты немесе айнымалы циклді жүктемемен орындалуы мүмкін.

Тұрақты жүктемемен қозғалтқыштың жұмысы кезінде (9.5 с. қ.), себебі қозғалтқыш $P \leq P_{\text{ном}}$ шарты бойынша таңдалғандықтан шарттар да орындалады

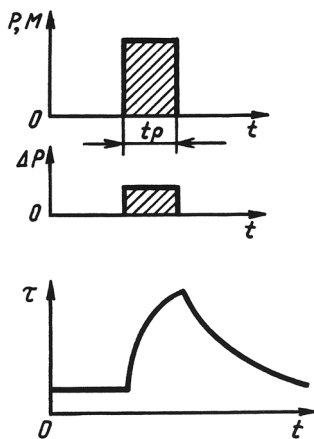
$$\Delta P \leq \Delta P_{\text{ном}}, \tau_{\text{max}} = \tau_{\text{уст}} \leq \tau_{\text{доп}}. \quad (9.24)$$

Осылайша, тұрақты ұзақ жүктеме кезінде қозғалтқыштың қызуын анықтауға қосымша есептер талап етілмейді.

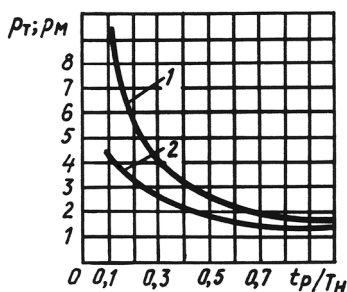
Қозғалтқыштың айнымалы циклді жүктемесі кезінде (9.4 с.) оның тоғы, моменті, шығындары өзгеріп отырады. Қозғалтқышты қыздыру бойынша тексеру бұл жағдайда орташа шығындар немесе эквивалентті шамалар әдістерімен тексеріледі. Қысқаша уақытты номинал режим ($S2$) өзгермейтін жүктеме мерзімдерінің қозғалтқышты сөндіру мерзімдерімен кезектесуімен сипатталады; бұл ретте оның жұмыс уақыты кезінде t температураның көтерілуі қалыптасқан деңгейге жетпейді, ал сөндіру кезінде t_0 қозғалтқыштың барлық бөліктері қоршаған орта температурасына дейін суиды. Жұмыс кезеңінің ұзақтығының стандартты мәні 10, 30, 60 және 90 минутты құрайды. Қозғалтқыш жұмысының қысқаша уақытты режимі 9.6 суретінде көрсетілген. $S2$ режимі $t < 3T$, $t > 3T_0$ шарттарына сай.

Егер қозғалтқыш ұзақ жұмыс режиміне арналса қысқаша уақытты жұмыс режимі кезінде температураның жоғарылауы жұмыс кезеңінің соңында t_p қалыптасқан мәнге жетпейді, яғни бұл жағдайда қозғалтқыш қыздыру және өзінің қуаты бойынша толық қолданылмайды.

Қысқаша уақытты жұмыс режимінде ұзақ режимде жұмыс істеуге арналған қозғалтқышты толық қолдану үшін оны біліктегі қуат бойынша жүктеу қажет. Бұл жағдайда жұмыс кезеңінің соңында оның қатты қызуы ұйғарынды (нормативті) деңгейге жетеді.



9.6 сурет



9.7 сурет

Қозғалтқыштың амадан тыс жүкте-луі мен қыздыруын көлемдік бағалау үшін термикалық және механикалық жүктемелердің коэффициенті алынады.

Термикалық жүктеме коэффициенті деп p_m қысқаша уақытты режим кезінде ΔP_k қуат шығынының қуаттың номинал шығындарына қатынасын атайды $\Delta P_{ном}$:

$$p_t = \Delta P_k \leq \Delta P_{ном} = 1/(1 - e^{-t_p/T_n}). \quad (9.25)$$

Қозғалтқыштың қысқаша уақытты режимі кезінде термикалық жүктеме коэффициентінің p оның жұмыс кезеңінің t/T_n салыстырмалы ұзақтығына тәуелділігі 9.7 суретінде көрсетілген (қисық 1).

Механикалық амадан тыс жүктеме коэффициенті p_m деп қысқа уақытты жұмыс режимінде қозғалтқыш жүктемесі қуатының P_k номинал қуатқа $P_{ном}$ ұзақ режимде қатынасын айтады: $p_m = P_k/P_{ном}$.

Механикалық шамадан тыс жүктеме коэффициентін термикалық шамадан тыс жүктеме коэффициентінің көмегімен көрсетуге болады:

$$P_t = (a + p_m)/(a+1), \quad (9.26)$$

$a = K/V$ – шығындар коэффициенті.

(9.26) шығады

$$p_m = \sqrt{(1+a)p_t + a}. \quad (9.27)$$

$t_p/T_n = 0,3...0,4$ кезінде қыздыру шарттары бойынша рұқсат етілген механикалық шамадан тыс жүктеме коэффициенті p_m шамамен 2,5 тең (9.7, қисық 2), ол жалпы өндірістік сериялар қозғалтқыштардың мадан тыс жүктелу қабілетіне ортаа сәйкес келеді. Осыдан t_p/T_n аз мәндері кезінде мұндай қозғалтқыштардың қыздыру бойынша толық қолданылуы олардың шамадан тыс жүктелу қабілетімен шектеледі. Басқаша айтқанда, t_p/T_n қатынасының аз мәндері кезінде қозғалтқыштар қыздыру бойынша қыздыру бойынша қолданылмай қалады, сондықтан бұл жағдайларда олардың қыздыру бойынша тексерісін мүлдем жүргізбеуге болады, тек шамадан тыс жүктелу бойынша тексерісімен шектелуге болады.

Өндірісте қысқаша уақытты режимге есептелген арнайы электр қозғалтқыштарын шығарады, олардың негізгі ерекшелігі шамадан тыс жүктелу қабілетінен тұрады, ол қыздыру бойына оларды толығырақ қолдануға мүмкіндік етеді. Бұл қозғалтқыштардың жұмыс уақыты нормаланады және 10, 30, 60 және 90 мин.күрайды. Мысалы номинал қуатпен $P_{ном} = 10$ кВт қозғалтқыш $t_p = 30$ мин кезінде 30

минутта жүктелмей 10 кВт қуат шығарады. Содан кейін ол желіден қоршаған орта температурасына дейін толық салқындағанша ағытылу керек.

Қысқаша уақыт жұмыс режиміне арналған қозғалтқыштарды ұзартылған режимде оларға тән қуаттың жоғары тұрақты шығындарына байланысты қолдану орынсыз екенін атап өту қажет. Кей кезде мұндай қозғалтқыштар рұқсат етілген деңгейден жоғары қызып ұзартылған режимде жұмыс істей алмайды.

Қайталау-қысқаша уақытты номинал жұмыс режимі (S3) жүктеме кезеңдерімен (жұмыс кезеңдері) қозғалтқышты сөндіру кезеңдерінің t (іркілістер) кезектесуімен сипатталады, бұл ретте жұмыс мерзімдері және іркілістер де температураның көтерілуі қалыптасқан мәнге жететіндей ұзақ емес. Бұл режимге $t_p < 3T_n$, $t_o < 3T_o$ шарты сәйкес келеді (9.8).

Бұл режимде қозғалтқышты қосудың салыстырмалы ұзақтығы (%):

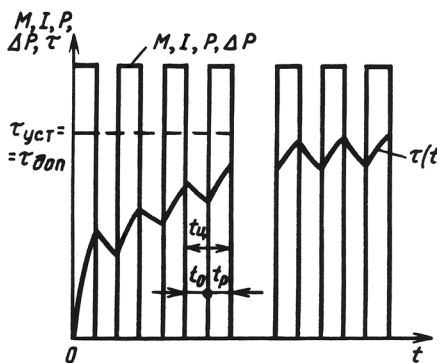
$$PB = t_p / (t_p + t_o) 100\% = (t_p / t_o) 100\%. \quad (9.28)$$

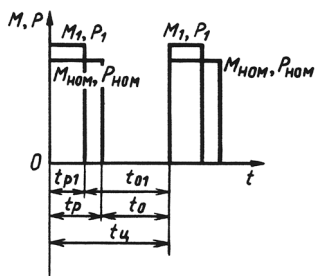
9.8 суретте көрсетілген S3 режим үшін эквивалентті қуатты, циклдің жұмыс учаскелеріндегі момент пен тоқты есептеумен жүктеме кестесіне қиындау тәуелділіктерді түйіндестіруге болады.

Қайта-қысқа мерзімді жұмыс режимі үшін қозғалтқыштардың арнайы сериялары шығарылады. Олардың каталогтарында қосудың қалыпты ұзақтығы кезіндегі атаулы қуаты $P_{ном}$ көрсетіледі $PB = 15, 25, 40, 60$ и 100% . Жұмыс циклінің ұзақтығы t олар үшін 10 мин артық болмау керек, керісінше болған жағдайда, қозғалтқыш ұзақ режимде жұмыс істейтін болып саналады.

Егер қайта-қысқа мерзімді жұмыс PB мен жүктеме қуаты қозғалтқыштың атаулы деректеріне тең (немесе) жақын болса, онда оны қыздыру бойынша тексеріп керегі жоқ, өйкені жүктеме диаграммасының осындай параметрдегі жұмысына өндіруші зауыт кепілдік береді.

Қозғалтқышты нақты циклде қосудың салыстырмалы ұзақтығы жағдайында PB_1 нормативтік $PB_{ном}$ айтарлықтай айырмашылығы болатын жағдайдағы қозғалтқышты тексеруді қарастырайық. PB_1 P_v жүктемесіне





9.9 сурет

сәйкес, ал стандартты $PB_{ном}$ 9.9 жүктеме графигінде көрсетілгендей, $P_{ном}$ атаулы қуаты сәйкес делік. Орта жоғалтулар әдісі негізінде, қозғалтқыштың орта температурасы, егер P_1 мен PB_1 циклде қуаттың орта жоғалтулары сол циклдегі P_1 и PB_1 жоғалтуларын артырмайтын болса, $P_{ном}$ $PB_{ном}$ ұйғарымды температураны көтермейді, деп нақтылай аламыз, яғни

$$\Delta P_1 PB_1 \leq \Delta P_{ном} PB_{ном}. \quad (9.29)$$

Осыдан, P_1 және PB_1 қуатпен жұмыс барысында қозғалтқыш температурасы ұйғарымды температурадан аспас үшін, қуаттар жоғалтулары арасында келесі қатынас болу керек

$$\Delta P_1 PB_1 / PB_{ном} \leq \Delta P_{ном}. \quad (9.30)$$

Қыздыру бойынша қозғалтқышты тексеру тәртібі келесідей. Алдымен ΔP_1 жұмыс уақытындағы қозғалтқыштың жоғалтулары мен PB_1 қосудың нақты ұзақтығы анықталады. Содан кейін қозғалтқыштың төлқұжаты бойынша ең жақын нормативтік $PB_{ном}$ үшін қозғалтқыштың $\Delta P_{ном}$ атаулы жоғалтулары табылады да, талаптың орындалуы тексеріледі (9.30). Егер ол орындалса, қозғалтқыш қызуы нормативтіктен артық болмайды.

Қыздыру бойынша қозғалтқышты тексеруді сондай-ақ атаулы және эквивалентті тоқты, жүктеме диаграммасы бойынша анықталатын мезет пен қуатты салыстыру арқылы да тексеруге болады. К тұрақты мен $E_{ном}$ ауыспалылары арқылы қуат жоғалтуларын ауысытра отырып (9.30), түрлендірулерден кейін келесі қатынасты аламыз:

$$I_{ном} \geq \sqrt{PB_1 / [a(PB_{ном} - PB_1) + PB_{ном}]}. \quad (9.31)$$

Жұмыс циклінде магнитті ағын тұрақты болған жағдайда, (9.31) келесі шығады

$$M_{ном} \geq M_1 \sqrt{PB_1 [a(PB_{ном} - PB_1) + PB_{ном}]}. \quad (9.32)$$

Ал қозғалтқыш жылдамдығы өзгермеген жағдайда (9.32)

$$P_{ном} \geq P_1 \sqrt{PB_1 [a(PB_{ном} - PB_1) + PB_{ном}]}. \quad (9.33)$$

Егер (9.31) ... (9.33) талаптары орындалса, қозғалтқыш температурасы ұйғарымды мәннен артық болмайды.

Қосудың нақты ұзақтығының нормативтіктен онша көп айырмашылығы болмаса, (9.31)...(9.33) талаптарында $a(PB_{ном} - PB_1)$ көбейтіндісін елемуге болады.

Жұмыстың ұзақ режиміне арналған, бірақ қайталау-қысқа мерзімді жүктеме үшін пайдаланылатын қозғалтқыштарды қыздыру бойынша тексеруді, егер оларда $PB_{\text{ном}} = 100\%$ деп санаса, (9.31)... (9.33) формулалармен орындауға болады. Жылу беруі паузалар кезінде нашарлайтын жұмыстың ұзақ режимі қозғалтқыштары үшін, қыздыруды бағалау барысында осы факторды ескерген дұрыс. Осы жағдайдың есептік формулалары [4, 12, 14, 19] қарастырылған.

Қарастырылған $S1$, $S2$, $S3$ режимдері электр қозғалтқыштары үшін негізгі және ең соларға тәні болып табылады. Бұдан басқа, жіктеме тағы бес режимді көздейді $S4...S8$, олар бірінші үшеуінің түрлері болып табылады және сирек кездеседі. Осы режимдерде қыздыру бойынша қозғалтқыштар орта жоғалтулар немесе балама шамалар режимінде тексеріледі.

9.2 есеп*. 2ПФ 200 типті ДПТ төлқұжаттық деректері келесідей: $P_{\text{ном}} = 30$ кВт; $n_{\text{ном}} = 2200$ об/мин; $I_{\text{ном}} = 74$ А; $U_{\text{ном}} = 440$ В; $\Pi_{\text{ном}} = 90\%$.

Қозғалтқыштың жылу режимін оның келесі жұмыс циклі бойынша бағалаңыз: бірінші учаскенің уақыты $t_1 = 12$ мин, жүктеме мезеті $M_1 = 120$ Н·м; екінші учаскенің уақыты $t_2 = 25$ мин, жүктеме мезеті $M_2 = 145$ Н·м; үшінші учаскенің уақыты $t_3 = 18$ мин, жүктеме мезеті $M_3 = 100$ Н·м. Өршіту тогы мен зәкір тізбегің кедергісі өзгермейді. Белгіленген цикл жүктемесі ауыспалы ұзақтық режиміне жатады учаскенің уақыты.

Өршіту тогы мен зәкір тізбегің кедергісі өзгермейтіндіктен, қыздыру бойынша қозғалтқышты тексеру үшін, балама мезет әдісін қолдануға болады.

Қозғалтқыштың атаулы бұрыштық жылдамдығы мен мезетін анықтаймыз:

$$\omega_{\text{ном}} = \pi n_{\text{ном}} / 30 = 3,14 \cdot 2200 / 30 = 230 \text{ рад/с};$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 30\,000 / 230 = 130,3 \text{ Н·м}.$$

(9.23) бойынша балама орта квадраттатты қозғалтқыш жүктемесі мезетін есептейміз:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\sum_1^n (M_i^2 t_i) / t_{\text{ц}}} = \sqrt{(120^2 \cdot 12 + 145^2 \cdot 25 + 100^2 \cdot 18) / (12 + 25 + 18)} = 126,4 \text{ Н·м}.$$

Есепелген балама мезетті M атаулымен салыстырамыз. $k M_{\text{экв}} = 126,4 < M_{\text{ном}} = 130,3$ Н·м болғандықтан, қозғалтқыш ұйғарымды деңгейден артық қызбайды.

9.3 есеп*. МТКВ 511-8 тирті крандық-металлургиялық серияның АД-ның атаулы қуаты $P_{\text{ном}} = 28$ кВт при $PB_{\text{ном}} = 25\%$ және жылдамдығы $n_{\text{ном}} = 700$ айн./мин. Егер қозғалтқыш кезенді 3 мин қосылса және бұл жағдайда $M_{\text{с}} = 350$ Н·м жүктеме мезетінен өтіп, срдан кейін 5 минутқа өшеді, қозғалтқыштың қыздырылуын бағалау керек. Жұмыстың осы циклі қайта-қысқа мерзімді режимге жатады.

Қозғалтқыш $PB_{\text{ном}}$ барысындағы атаулы бұрыштық жылдамдық пен атаулы мезетті анықтаймыз двигателя:

$$\omega_{\text{ном}} = \pi n_{\text{ном}} / 30 = 3,14 \cdot 700 / 30 = 73,3 \text{ рад/с};$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \omega_{\text{ном}} = 28\,000 / 73,3 = 382 \text{ Н·м.}$$

Циклдағы қозғалтқышты қосу ұзақтығын табамыз:

$$PB_1 = t_p / (t_p + t_o) 100\% = 3 / (3 + 5) 100\% = 37.5\% /$$

Стандартты $PB_{\text{ном}}$ барысындағы жүктеме мезетін есептейміз, $PB_{\text{ном}} = 25\%$:

$$M_{\text{экв}} = M_c \sqrt{PB_1 / PB_{\text{ном}}} = 350 \sqrt{37,5 / 37,5} = 429 \text{ Н·м.}$$

Бір стандартты ($PB_{\text{ном}} = 25\%$) келтірілген $M_{\text{экв}}$ и $M_{\text{ном}}$ салыстырамыз. $M_{\text{экв}} = 429 \text{ Н·м} > M_{\text{ном}} = 382 \text{ Н·м}$ болғандықтан, қозғалтқыш осы циклде жұмыс істеген кезде, ұйғарымды деңгейден артық қызатын болады.

9.4 есеп. 9.2 есебінің шарттары үшін, қозғалтқышты қыздыру бойынша тексеруді орта жоғалту мен балама ток әдістері бойынша орындау керек.

9.5 есеп. 9.3. есебінің шарттары үшін, сол паузада және жүктеме мезетінде, қозғалтқыштың қызуы ұйғарымды деңгейден аспайтын қозғалтқыштың жұмыс уақытын анықтау керек.

9.4. ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫҢ КҮШ ТІЗБЕКТЕРІНДЕГІ РЕЗИСТОРЛАРДЫ ҚЫЗДЫРУДЫ ТАҢДАУ ЖӘНЕ ТЕКСЕРУ

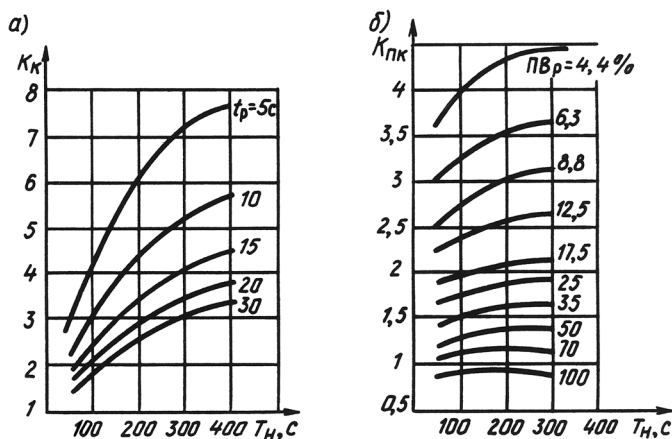
Электр қозғалтқыштары тізбегіне резисторларды қосу олардың жылдамдығын реттеу, сондай-ақ іске қосу, реверс және тежеу кезінде ток пен мезетті шектеу мақсатында жүргізіледі. Қозғалтқыштың талап етілетін жасанды сипаттамаларын қамтамасыз ететін резисторлардың кедергілерін есептеу 4.4 және 5.3 бөлімдерінде қаралған.

Резисторды екі негізгі параметрлер бойынша – кедергі мен ток бойынша таңдайды, және кедергі есептікке тең болу керек, ал атаулы ток қозғалтқыштың жұмыс кезіндегі тогына сәйкес болуы тиіс. Ол резистордың нормативтік қызуын қамтамасыз етеді. Кедергі секциядағы жекелеген элементтерді тізбектеп, параллель және аралас қосу есебінен таңдалады.

Қыздыру бойынша резисторды тексеру оның жұмыс режиміне байланысты балама ток әдісімен жүргізіледі. Егер балама есептік ток резистордың атаулы тогынан артық болмаса, онда оның температурасы ұйғарымды шекте және ол осы режимде қанша керек болса, сонша ұзақ жұмыс істей алады.

Ұзақ жұмыс режимі үшін қыздыру бойынша резисторды тексеру (9.22) формула бойынша оның балама тогын атаулы мәнмен салыстырудан тұрады. (9.22) шартын орындау резистордың қалыпты жылу режимін растайды.

Резисторлардың қысқа мерзімді және қайта-қысқа мерзімді жұмыс режимдері, қозғалтқыш сияқты, 9.6 және 9.8 сур. көрсетілген жүктеме графиктерімен сипатталады. Осы режимдер үшін балама ток резистордың жұмыс режиміне және оны қыздырудың тұрақты уақытына тәуелді есептік коэффициенттер көмегімен есептеледі. Осы тәуелдіктер 9.10, а, б, сур. берілген, онда K_k , $K_{пк}$ – сәйкес қысқа мерзімді және қайта-қысқа мерзімді жұмыс режимдерінің сәйкес есептік коэффициенттері; T_n – қыздыру уақытының тұрақтысы.



9.10 сурет

Алдын ала таңдап алған қыздыру резисторын тексеру тәртібі келесідей. Қозғалтқыштың жұмыс графигінің көмегімен қысқа мерзімді жұмыс режимде резистор бойынша жүретін балама (жұмыс) тоқты/ $K_{кв}$, оның жүру уақытын t және қайта-қысқа мерзімді жұмыс режимі үшін PB_p қосу ұзақтығын анықтаймыз. Бұдан әрі резисторды қыздырудың тұрақты уақыты бойынша T_n табылған t_p немесе PB_p үшін (мәні резистордың атаулы ток ұзақтығының мәнімен бірге анықтамалық әдебиетте беріледі [3]) 9.10 сур. қисықтар көмегімен K_k немесе $K_{пк}$ коэффициенттерін табады. Содан кейін резистордың есептік тогын анықтайды:

$$I_{расч} = I_{эв} / K_k \quad I_{расч} = I_{эв} / K_{пк} \quad (9.34)$$

Және оны резистордың $I_{ном}$ атаулы тогымен салыстырады. $I_{расч} < I_{ном}$ болған кезде, резистор қызуы ұғарымдыдан (нормативтіден) артық болмайды.

ЭП қолданылатын резисторларды, нихром, фехраль, константалық немесе оқшаулағышқа оралған лентаны пайдалана отырып немесе шойын элементтерінен жасайды. Жекелеген элементтерді резисторлар жәшігінде біріктіреді.

Сымды фехраль элементтері бар резисторлар жәшігін НФ11А деп, ал константалы элементтері барларды – НК1А деп белгілейді. Сым элементтері 0,7-ден 96 Омға дейінгі кедергіге сәйкес және 19-дан 1,7 А дейін ұзақ токқа 19 типмөлшерімен шығарылады. Фехраль элементтері үшін ұзақ режимде ұйғарымды қызу 350°C, ал константалықтар үшін – 250°C құрайды.

Ленталы резисторлар жәшігі НФ1А деп белгіленеді. Олар 0,078-ден 1,38 Омға дейінгі кедергі секцияларына сәйкес және 107-ден 24 А дейін ұзақ токқа 11 орындау элементтерімен шығарылады.

Шойын элементтері бар резистор жәшіктерін барлық қуаттар типті бірнеше мыңдаған киловатт ЭП-де қолданады. ЯС100 типті жәшіктер состоят әрқайсысының кедергісі 0,005-тен 0,11 Омға дейін сәйкес 215-тен 46 А токқа дейінгі НС400 типті 20 элементінен тұрады. ЯС101 типті жәшіктер әрқайсысының кедергісі 0,038-ден 0,28 Омға дейін сәйкес 55-тен 20 А токқа дейінгі НС401 типті 40 элементінен тұрады. Өз деректері бойынша ЯС100 және ЯС101 жақын жәшіктеріне өзара ауыстырылатын Н кран сериялы резисторлар жәшіктері болып табылады.

Қазіргі уақытта электр техникалық өнеркәсіп резисторлар жәшіктерінің орнына ческая промышленность выпускает вместо ящичков резисторов типа НФ-1А, НФ-11А және НК-11А типті константалы және фехраль ленталы элементтері бар БФ6 блоктар, константалы және фехраль ленталы элементтері бар БК12 блоктар мен аралас орындалған әмбебап блоктар шығарады.

БФ6 сериясында жалпы кедергісі 0,078-ден 1,38 Омға дейінгі алты блок болады. БК12 сериясына жалпы кедергісі 0,07-ден 96 Омға дейінгі (константа элементтері) және 2,6-дан 64 Омға дейінгі (фехраль элементтері) 12 блок кіреді.

9.6 есеп*. Қозғалтқыш қысқа мерзімді режимде қосылу уақыты $t = 25$ с жұмыс істеп тұр. Егер резисторда жүретін ток $I = 56$ А болса, оның тізбегіне үнемі қосылып тұратын НС413/0,4 ($I_{ном} = 30$ А, $T_n = 132$ с) типті резисторды қыздыруды бағалау керек.

Берілген шарттар үшін, с. 9.10 а суретіндегі қисықтар бойынша, $K_k = 2,3$ табамыз. Резистордың есептік тогын анықтаймыз

$$I_{расч} = I_{кв} / K_k = 56 / 2,3 = 24,3 \text{ А.}$$

$I_{расч} = 24,3 \text{ А} < I_{ном} = 30 \text{ А}$ болғандықтан, резистор ұйғарымды деңгейдің есептік нормасынан жоғары қызбайды

9.7 есеп. Қозғалтқыш сағатына 300 қосылулар жиілігімен уақыттың тең аралығында іске қосылады. Іске қосу резисторында 1,5 с. ішінде жүретін ток $I_{\text{кв}} = 245$ А. Осы жағдайда, элементтері атаулы ұзақ ток 91 А мен тұрақты қыздыру уақыты 270 с есептелген ЯСЧ0,5 типті резисторлар жәшігін қолдануға болатынын-болмайтынын анықтау керек?

Бақылау сұрақтары

1. Қозғалтқышты таңда міндеті неде?
2. Қозғалтқыш қуатын есептеу қандай бастапқы деректер негізінде жүргізіледі?
3. Қозғалтқыштың жүктеме диаграммасы деген не?
4. Жүктеу мен іске қосу талаптары бойынша қозғалтқышты тексерудің мәні неде?
5. Қозғалтқышты қыздыру бойынша тексерудің мәні неде?
6. Қозғалтқышты қыздыру бойынша тексерудің тура әдісі неге негізделеді?
7. Орта жоғалтулар әдісі деген не?
8. Балама шамалар әдісінің мәні неде?
9. Қозғалтқыш қандай негізгі режимдерде жұмыс істей алады және олар қалай сипатталады?
10. Қозғалтқыш тізбектеріндегі күш резисторларының қыздыру бойынша тексеруі қалай жүргізіледі?

10 Бөлім. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН БАСҚАРУДАҒЫ АЛШАҚТАНҒАН СХЕМАЛАР

Алшақтанғандарға ЭЖ басқару үшін қозғалысқа келтіретін машиналар мен өндірістік механизмдердің координаттары немесе технологиялық параметрлері бойынша кері байланыстар пайдаланбайтын электр схемалары жатады. Бұл схемалар өзінің жүзеге асырудағы қарапайымдылығымен ерекшеленіп, ЭЖ қозғалысын басқарудың жоғары сапасы талап етілмейтін жерлерде кең пайдаланады, мысалы, қосу, реверс немесе қозғалтқыштарды тежеу үшін

ЭЖ басқарылуын жүзеге асыруда, алшақтанған схемалар кез келген жұмыстың қалыпсыз жұмыс режимі пайда болған жағдайда – қысқа тұйықталу, қозғалтқыштардың шамадан артылуы, қоректені кернеуі жоғалған немесе қоректенетін желінің фазасы бұзылған жағдайда, желілер мен технологиялық жабдықтарды қоректендіретін ЭЖ өзін қорғалуын қамтамасыз етеді. Ондай қорғаныс үшін қозғалтқыштарды басқару құрылғыларымен байланыста болатын тиісті аппараттар мен құрылғылар пайдаланады. Басқарудың алшақтанған схемаларында басты жағдайда релейлік-контакторлік аппаратура пайдаланады, оның құрамына командалық аз қуатты аппараттар, қолмен және қашықтықтан басқаратын күштік коммутациялық аппараттар және, басқару және қорғау релесі енеді.

10.1. ҚОЛМЕН БАСҚАРЫЛАТЫН ЭЛЕКТР АППАРАТТАРЫ

Қолмен басқару аппараттарына командалық аз қуатты құрылғылар жатады- басқару түймешектері мен кілттері, командалық аппараттар мен күштік коммутациялық аппараттар (сөндіргіштер, пакеттік сөндіргіштер және қуат контроллері) жатады.

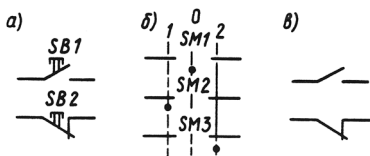
Басқару түймешектері операторға ЭС-ды басқаруды қамтамасыз етуге арналған. Олар көлемі бойынша ерекшеленеді – қалыпты және кішкентай, жабу және контактілерді ашу саны, итергіштің пішіні. Бір корпуста орнатылған екі, үш немесе одан да көп түймелер түйме станциясын құрады. Бір тізбекті басқару түймелерін тұйықтаушы және ажыратылатын түйіспемен шығарады (сур. 10.1, а). Сызбалардағы контактілер механикалық, электрлік немесе басқа да әсер етпеген жағдайда электр аппараттарының «қалыпты» жағдайында суреттеледі. Екі тізбекті түймелер бір жұппен көрсетілген контактілердің жұпына ие. Басқару түймелерінің ерекшелігі олардың әсерін жойғаннан кейін түпнұсқа (қалыпты) күйге (өзін-өзі қайтару) оралуға қабілеттілігі болып табылады. КУ 120 және КЕ сериялы түймелер 500 В дейін кернеуі бар ток тізбектерінде және кернеуі 220 В дейін ток және ток 4 А дейін жұмыс істеуге арналған.

Басқару түймелері (әмбебап ажыратқыштар) ЭС-на бақылауды қамтамасыз етуге арналған және тұтқалардың екі немесе одан да көп бекітілген позициясы және бірнеше жабылатын және ажырайтын контактілерге арналған (10.1, b суретін қар). Тұтқаның ортасында (0-позициясы) SM1 контактісі жабылады, ол тізбектегі нүкте арқылы көрсетіледі және SM2 және SM3 контактілері ашық. Тұтқаның 1-орнында SM2 контактісі жабылып, SM1 ашылады. Негізгі байланыстар саны және олардың жұмыс диаграммасы әр-түрлі болуы мүмкін.

ПЕ сериясындағы басқару кілттері КЕ басқару түймешелеріне арналған кернеулер мен токтарға арналған. УП 5300, УП 5400 және ПКУ 3 әмбебап ауыстырып қосқыштары контакторлар орауышының тізбектерінмайлы сөндіргіштерді коммутациялауға, көпжылдамдықты АД басқару үшін және бірқатар жағдайларда пайдаланады.

Олардың 32 тізбекті коммутациялауға және басқару тұтқасының сегіз күйіне (позиция) ие болу мүмкіндігі бар.

Командоконтроллерлер командалық аппараттар) бірнеше аз қуатты электр тізбектердің коммутациясына қызмет етеді (кернеу тоғы 16 А дейін). Тұтқадан немесе бірнеше күйдегі педальдан қолмен



10.1 сурет

басқарылатын бұл аппараттар кран механизмдерінің, металлургиялық жабдық, көлікте ЭЖ басқару схемаларында кең пайдалануын тапқан.

Командалатын аппараттар коммутацияланатын тізбектердің санына, байланыс жүйесіндегі диск жетегінің түріне, тұтқалардың (педальдардың) жұмыс позицияларының санына, түйіспелерді қосу және ажырату үшін диаграммалар бойынша жіктеледі. Олардың электр схемалары басқару кілттері мен ток ауыстырғыштар схемасына ұқсас суреттеледі (10.1 суретті қар).

КА 410 А, КА 420 А, КА 4000, КА 4100, КА 4200, КА 4500, КА 4600, КА 11 КО 410 А, КА 410 А, КО 400, КА 4600, КА 11 жалпы өнеркәсіптік мақсаттағы сериялы 440 В дейін кернеумен және кернеуі 500 В дейін кернеуі 500 В дейін контроллерлер ККР 1000 және ККР 423 кран механизмдері мен металлургиялық жабдықты басқару үшін қолданылады.

Ажыратқыштар – 500 В дейін және 5000 А дейінгі кернеулі және айнымалы электр қозғалтқыштарының электрлік тізбектерінің автоматты түрде қысқа тұйықталуына және ашылуына арналған қарапайым қуат коммутациялық құрылғылары болып табылады. Олар ажыратқыштың беріктігіне, полюстердің (қосқыш схемалар) саны, тұтқаның түрі және оның позицияларының санына (екі немесе үш). Р және RA серияларының ажыратқыштары 100 ... 600 А тоқтарына арналған, 220 ... 660 В кернеуі және 1 ... 3 полюсі бар.

Пакеттік сөндіргіштер – ола ажыратқыштың бір түрі. Олардың контактілік жүйесі это разновидность рубильников. Олардың байланыс жүйесі полюстардың (қосқыш схемалардың) санына қарай жеке пакеттерден алынады. Пакет сымдарды қосу үшін бұрандалы қысқыштар мен ұшқынды сөндіру құрылғысы бар жылджымалы құрылғысы бар жылжымалы серіппе контактіден тұрады.

ПВМ, ППМ, ПУ, УП, ОКП, ПВП 11 серияда шығарылатын пакеттік сөндіргіштер 220 В кернеудегі 400 А дейін тұрақты тоқты электр тізбектерінің коммутациясы және кернеуі 380 В дейінгі 250 В кернеудегі ауыспалы тоққа арналған.

Контроллерлер – тұрақты және айнымалы ток қозғалтқыштарының электр тізбектерін тікелей қосу үшін қолмен немесе жаяу жетегі бар көп позициялы электр аппараттары. ЭС-да контроллерлердің екі түрі қолданылады: жұдырықшалы және магниттік контроллерлер.

Жұдырықшалы контроллерлерде контактілердің ашылуы мен жабылуы барабанға орнатылатын, тұтқаны, сермерік немесе басқыш арқылы қамтамасыз етіледі. Камералардың профильдеуіне байланысты байланыс элементтерін ауыстырудың қажетті тізбегі ұсынылған. Жұдырықшалардың профильдеуіне байланысты байланыс элементтерін ауыстырудың қажетті тізбегі қамтамасыз етіледі.

Асинхрондық қозғалтқыштарды басқару үшін, крандық ЭС ККТ-60А сериядағы, 380 В дейінгі кернеулерге және 440 В дейінгі тұрақты ток қозғалтқыштарын басқару үшін КВ 100 арналған жұдырықшалы контроллерлер пайдаланады. Ондай контроллерлер 63 А номиналды токқа есептелген 12 күш контактілеріне және, коммутациялау тізбектеріне арналған аз қуатты конактілеріне есептелген. Олардың тұтқалар позицияларының саны (сермерлер) орташа (нөлдік) позициядан әрбір бағытта алтыға жетеді.

Магниттік контроллерлер-құрамына түйістіргіш атты күштік электромагниттік аппараттар мен командконтроллерлер енетін коммутациялық құрылғылар. Командконтроллерлер өз есебінен, өзінің контактілері арқылы қозғалтқыштардың күштік тізбенкерінің коммутациясын жүзеге асыратын контакторлардың орауыштарын басқарады. Жұдырықшалы контроллердің орнына осындай контроллерді пайдалану ЭС автоматтандыру деңгейін, онымен қатар, жұмыс машинасының немесе механизмнің өнімділігін және, оператор жұмысын жақсартуға мүмкіндік береді, себебі, ЭС командконтроллер немесе түймешекті станция арқылы басқару одан көп күшті талап етпейді.

Бірқалыпты талаптар жағдайындағы магниттік контроллерлердің қызмет мерзімі жұдырықшалы контроллерлермен салыстырғанда, едәуір жоғары, ол жоғары коммутациялық мүмкіндік пен электромагниттік контакторлардың беріктілігімен түсінікті.

Магнитті контроллерлер кран механизмдеріндегі ЭС-да басты қолданысқа ие болды, оның жұмысы қозғалтқыштарды жиі қосу арқылы сипатталады. Металлургиялық өндірістегі кран механизмдеріндегі ЭС-да К сериясының магниттік контроллері 250 А дейін контакторлардың номиналды токтарына және 400 А дейін ағымдарға есептелген КС-ке және жалпы мақсаттағы клапандарда – ТА сериялы (ток ағыны 160 А) контроллері пайдаланылады және ТСА (ағымдары 250 А дейін).

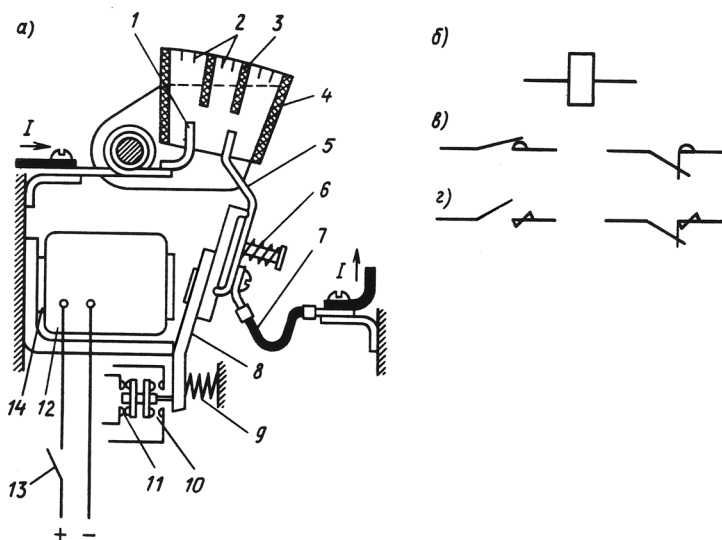
Контроллерлердің басты мақсаты 220 және 380 В дейінгі кернеулі айнымалы тоғына есептелген, ал басқару тізбектері- 220 В кернеулі тұрақты токқа (К және КС сериялы) және күш тізбегінің айнымалы тоғына (ТА және ТСА сериялы) есептеледі.

10.2. ҚАШЫҚТАН БАСҚАРУҒА АРНАЛҒАН ЭЛЕКТР АППАРАТТАР

Қашықтықтан басқару аппараттарына контактілер коммутациясы олардың орауыштарына электр саигналы түскен жағдайда (кернеу немесе ток)жүзеге асырылатын, контакторлар, магниттік босатқыштар мен релелер жатады.Басқа сөзбен айтқанда, қосылуы мен сөндірілуі электр сигналы арқылы жүзеге асырылатын өздігінен қайтып келетін екі позициялық коммутациялық құрылғылар.

Контактор қозғалтқыштардың күштік электр тізбектерін жиі қашықтықтан коммутациялауға арналған электромагниттік құрылғы болып табылады. Контакторлар коммутирленген тізбектің ток түрінде, негізгі контактілердің саны (бір, екі және көп полюсты), орауыш тізбегіндегі ток (тұрақты немесе ауыспалы тоқты басқару), номиналды ток және коммутациялық тізбектердің кернеуі, және басқа да мүмкіндіктер бойынша сипатталады.

Тұрақты тоқтың бір полюстік контакторының құрылғысы 10.2, а сур. көрсетілген. Контактордың магниттік жүйесінің жылжымайтын білігіне 14 тартылатын орауыш орналасқан 12. Магниттік жүйенің жылжымалы жүйесімен (якорь 8) жылжымалы басты контакт байланысқан 5, ол ток тізбегіне икемді өткізгіш арқылы қосылады 7. Орауышқа кернеуді жіберген жағдайда 12 (түйіспелердің тұйықталуы 13) якорь білікке тартылады да, түйіспе 5 жылжымайтын бас түйіспемен 1 тұйықталады, ол тоқтың коммутациясын қамтамасыз етеді 1. Олардың жұмыс жағдайындағы басты түйіспелерді басу 6 серіппесімен қамтамасыз етіледі. 1 және 5 түйіспелердің өзара жанасу үрдісінде түйіспенің өтпелі кедергісін азайтатын, олардың айналуы мен ысқылануы жүзеге асырылады.



10.2 сурет

Якорьмен 8 басқару тізбектерінде жұмыс істеуге және аздаған токқа арналған 10 тұйықтаушы және 11 ажыратылатын көпірше үлгісіндегі қосалқы (блокадалық) түйіспелер байланысқан. Контакторды сөндіру орауыштан 12 кернеуді түсіру арқылы

жүзеге асырылады (түйіспе ажыратылады 13), онымен қатар, оның жылжымалы жүйесі ауырлық күші және қайтармалы серіппе әрекеті арқасында «қалыпты» жағдайға келеді. Бас түйіспелердің ажыратылуы кезінде пайда болатын электр доғасы ыстыққа төзімді изоляциялық материалдан жасалған саңылаулы доға сөндіргіш камерасында 4 сөндіріледі. Доғаның сөндірілуін жеделдету үшін изоляциялық аралығы бар ксамералар пайдаланады 3 және, онымен қатар, қысқа металл табақшаларынан жасалған 2 ұшқын сөндіретін тор орнатылады.

Тұрақты ток контакторлары 4 немесе 2500 А арасындағы негізгі контактілердің номиналды токтарына бір немесе екі полюсте шығарылады. Негізгі контактілер ток ағындарын 7-ден 10 есе асатын номиналды токтан ажыратуға қабілеті бар. Тұрақты ток контакторларының орауыштары көп бұрылыстарға және маңызды индуктивтілікке ие, бұл олардың тізбектерінің ашылуын қиындатады. Көпіршікті блоктау түйіспелері ауыспалы ток орауыштарының тізбегіндегі кернеулері 500 А жететін 20 А , ал тұрақты ток аппараттарының орауыш тізбектерінде- 110 В кезіндегі 2,5 А дейін, 220 В дейінгі 2 А және 440 В кезінде 0,5 А дейін тоқты өшіруге мүмкіндігі бар.

10.2, б, в, г сур. контактор элементтерінің шартты белгілері тиісті көрсетіліп отыр: тартушы шарғы, ұшқынды сөндіру және сөндірусіз бас түйіспелердің тұйықтаушы және ажыратушы. Қосалқы түйіспелердің шартты белгілерін 10.1, в. сур көріңіз.

Қазіргі кезде тұрақты ток контактілерінің бірнеше сериялары шығарылады. Ауыр жұмыс шарттары үшін, әсіресе, крандық ЭЖ үшін, 100 бастап 630 А дейінгі токқа арналған бір басты түйіспесі бар КПВ 600 және КПВ 620 сериясындағы контактілер пайдаланады. ЭЖ жалпы өндірістік бағыттағы тұрақты тоқты пайдалану үшін, 25 бастап 250 А дейінгі токқа арналған бір немесе екі бас түйіспесі бар К және ПЖК сериясындағы контакторлар шығарылады.

Айнымалы ток контакторлары өзінің әрекет ету қағидаты және конструкциясының негізгі элементтері бойынша тұрақты ток контакторларынан ерекшеленбейді. Олардың жұмыс ерекшелігі орауыштың ауыспалы токпен қоректенуінде, ол тартылмаған якорь кезіндегі токпен салыстырғанмен жұмыс жасау кезінде токтың көтерілуін анықтайды. Осы салдар бойынша айнымалы контакторлар үшін олардың сағатына қосу саны шектеледі (600 артық емес). Онымен басқа, орауыштың айнымалы тоғымен құрылатын магниттік ағын, діріл мен магниттік сымның дүрілін және оның жоғарғы қызуын шақырады. Мұндай жағымсыз факторларды төмендету үшін, магнит сымын жіңішке парақты трансформатор болаттан таңдайды, ал білік пен якорьге қысқа тұйықталған орамды орналастырады.

Айнымалы ток контакторларында доғаны сөндіру шарттары қарапайым, ол бұл жағдайда едәуір тұрақты және салмақтың айнымалы тоғы нөлден өткен жағдайда сөніп қалуы мүмкін.

Электр схемаларындағы айнымалы ток контакторлары тұрақты ток контакторлары сияқты белгіленеді.

63 бастап 1000 А дейінгі токтарға есептелген КТ 6000, КТ 7000, КТП 600 контакторлары екіден беске дейінгі бас түйіспеге ие. Олардың орауыштар жиілігі 50 Гц жиіліктегі кернеумен 36-дан 500 В-ға дейін жүргізіледі. Осы серияларды модификациялау КТ 64, КТП 64, КТ 65 және КТП 65 сериялары контакторлары болып табылады, олардағы доғасыз коммутация оларды ашу кезінде тиристорлармен бас түйіспелерді тұйықтау арқылы жүзеге асырылады. Контакторлар ажыратылған кезде доғалардың болмауы олардың сенімділігін арттырады, негізгі байланыстар мен жарылыс қауіпсіздігіне төзімді, әсіресе сағатына 2000 дейін олардың қосындыларының рұқсат етілген санын арттыруға мүмкіндік береді.

Әмбебап, яғни. тұрақты және айнымалы токтың электр тізбектерін қосуға арналған МК сериясының контакторлары болып табылады. Мұндай контакторлар ток кернеуі 440 В-қа дейін және айнымалы ток тізбектерінде 6 және 60 В жиілікте 50 және 60 Гц жиіліктегі тұрақты ток тізбектеріндегі 63 ауытқуды қамтамасыз етеді, 1-ден 3-ке дейінгі негізгі контактілерге ие. Қысатын орауыштар 24, 48, 110 және 220 В тікелей ток кернеуіне есептеледі.

Магниттік қосқыш — үш фазалы асинхронды қозғалтқыштарды басқару үшін, яғни желіге қосылу, өшіру, жылулық қорғаныс және жұмыс режимдері туралы дабыл беру үшін арнайы мамандандырылған кешен. Іске қосу функцияларына сәйкес контакторлар, басқару түймешелері, жылуды қорғау релесі, бір корпуста орналасқан дабыл лампалары болуы мүмкін. Магниттік қосқыштар бағыты бойынша (айнымассыз және қайтарылатын), жылулық релелердің және басқару түймелерінің болуы немесе болмауы, қоршаған ортаны қорғау дәрежесі, ажыратқыш токтарының деңгейі, негізгі тізбектің жұмыс кернеуі орай сипатталады.

ПМЛ сериясындағы қосқыштар 10 бастап 200 А дейінгі токтарға шығарылады, 1 ...5 габариттегі қосқыштың рұқсат етілген қосу саны сағатына 3600 құрайды, ал 6...7 габариттері үшін -2400.

ПМС сериясындағы қосқыштар 4А сериясындағы АД басқару үшін және 10 бастап 160 А дейінгі токтарды орындауға алты үлгілік орындауға ие. ПМС сериясындағы қосқыштар 4 А сериясындғы АД басқару үшін және 10 бастап 160 А дейінгі токтарға алты үлгілік орындауы бар.

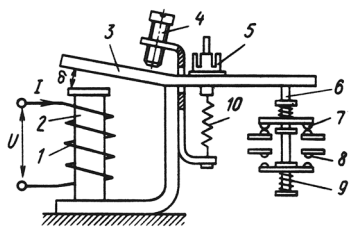
Талап етіліп отырған қызметтерді орындау үшін олар бөлінетін трансформаторға, басқару түймешектеріне, амперметр, дабыл шамына ие болуы мүмкін. Олардың механикалық беріктілік тұрақтылығы $(10...16)10^6$ циклге жетеді, ал сағатына қосу жиілігі – бірінші габариттің қосқышына 6000 және 2400 – бесінші және алтыншы габариттердің қосқышы үшін.

Электромагниттік реле – оның орауышына берілетін, электр сигналына сәйкес ЭЖ басқарудағы әлсіз тоқты тізбектердің коммутациялануына арналған құрылғы. Олар тоқ пен кернеудатчигі ретінде және, онымен қатар, бір тізбектен екінші тізбекке командаларды тарату үшін аралық элементтер мен уақыт датчиктері сияқты сигналдарды көбейту үшін, ЭЖ координаттарының әр-түрлі датчиктерінің шығыс элементтері және жұмыс машиналары мен механизмдерінің технолтиялық параметрлері ретінде пайдаланады. Басқа сөзбен айтқанда, олар автоматтандырылған ЭЖ басқарудың, бақылаудың, қорғаудың және блокқа қоюдың әр-түрлі қызметін орындайды.

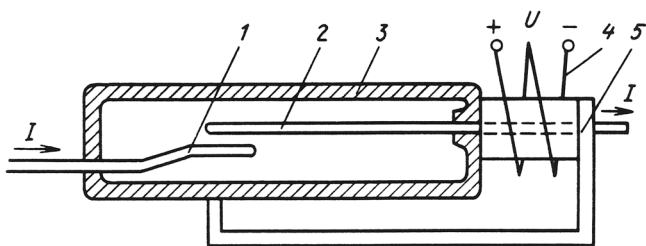
Электрмагниттік реле контакторға сәйкес қызмет етеді (сур. 10.3). Реленің магниттік жүйесінің білігінде 2 кіреберіс электр сигналы келіп түсетін орауыш бар 1. Орауыш тізбегіндегі тоқ (кернеу) реленің істен шығу тоғы (кернеу) деп аталатын біраз мағынадан асканда, онымен құрылатын электрмагниттік күш қайтармалы серіппеннің 10 қарсы келетін күшінен көп болады, реле якорі 3 білік және траверске 6 тартылып, көтеріліп түйіспелердің тұйықталуын және 7 ажыратылуын қамтамасыз етеді. Түйіспедегі басу күші серіппемен 9 жүзеге асырылады. Егер орауыштағы тоқты (кернеуді) азайтса (сөндірсе), якорь серіппе 10 әрекетімен алғашқы қалпына келіп, 7,8 түйіспелер қалыпты (алғашқы) жағдайға қайтып келеді. Якорь алғашқы қалпына қайтып келетін тоқ (кернеу) қайту тоғы (кернеу) немесе түсірілім тоғы деп аталады, ал тоққа (кернеу) қайту қатынасы іске қосу-реленің қайтып келу коэффициенті.

Реленің іске қосылу тоғын (кернеу) қайтару серіппесінің 10 керу күшінің өзгеруімен нақты бір көлемде сомы көмегімен 5 түзетуге болады, және, бұранда 4 арқылы реттелетін саңылау есебінен. Серіппені 10 тарту кезінде немесе саңылауды үлкейткен кезде іске қосылу тоғы (кернеу) көбейеді.

Себебі, реле түйіспелері аздаған токтарды (5...10А) коммутациялаған соң, олар әдетте доға өшіргішсіз камераларды пайдаланбай қарапайым құрылғыға ие.



10.3 сурет



10.4 сурет

Тұрақты токтың РЭВ 800 сериядағы электр магниттік релелер ток, кернеу, уақыт пен аралық жұмыстарды басқару схемаларында, ал РЭВ 310 сериясы-ток және кернеу релесінде пайдаланады. Бұл сериядағы релелер 12 бастап 220 В дейінгі кернеуге орауыштарға және бірден төртке дейінгі түйіспелерге ие.

Аралық реле ретінде РП-250, РП-321, РП-341, РП-42 кернеу релесі ретінде пайдаланатын басқа да реле сериялары қолданылады.

Геркондық электр магниттік релелер тұмшаланған түйіспелерге ие, олар оның жұмыстағы берік тұрақтылығын және сенімділігін арттырады. Тұмшаланған түйіспе-герконы бар қарапайым реленің құрылысын қарастырайық (сур. 10.4). Инерттік газбен толтырылған шыны тұмшаланған капсуланың 3 ішіндетемір мен никель қоспасынан жасалған жылжыямайтын 1 және жылжымалы 2 түйіспелер бар. Капсула 3 магнит сымымен қамтылған 5, оның бөлігінде орауыш 4 орналасқан.

Егер орауышқа 4 кернеуі U тұрақты токты берсе, ол магнит сымында 5 және 1 және 2 түйіспелерінде магниттік тасқынды құрады, оның ықпалымен жылжымалы түйіспенің соңы төмен ауысып, 1 түйіспемен тұйықтасады, оның нәтижесінде коммутациялық ток тізбегі I матастырылады.

Орауыштан кернеуді шешкен жағдайда магниттік тасқын жойылып, српінді түйісім 2 тізбекті ашып, алғашқы қалпына келеді. Кернеуі 100 В дейінгі 5 А дейін токтарды коммутациялайтын ерконды релелердің төзімділігі бірнеше миллиондаған іске қосуларға жетеді.

Геркондар базасындағы РЭС 42, РЭС 43, РЭС 44, РЭС 55 сериядағы КЭМ үлгісіндегі релелер кернеуі 220 В дейінгі 1 А токтың коммутациясын келтіреді.

10.3. УАҚЫТ, ЖЫЛДАМДЫҚ, ТОК ЖӘНЕ ҚАЛЫП ДАТЧИГИ

Электр жетегін, оның ішінде ажыратылған түрін қолдану үшін оның жылдамдығы, тогы, кезеңі және координаты, сондай-ақ уақы-

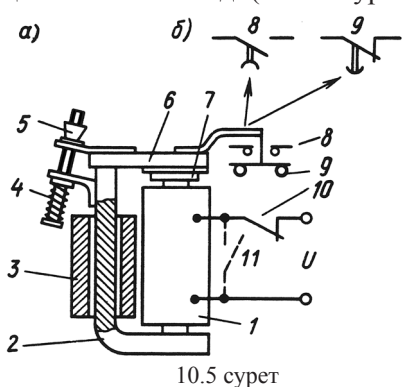
ты туралы ақпаратты білу маңызды. Мұндай ақпаратты беретін электрлі сигнал түріндегі құрылғыға датчик атауы берілген.

Уақыт датчигі. Датчик ретінде, уақыт принципі бойынша ЭЖ басқару сызбасын жасау кезінде түрлі уақыттық реле – элеткромагнитті, моторлы, электронды, анкерлі және механикалық түрлері қолданылады. Олардың әрекет ету қағидалары мен негізгі техникалық сипаттамасына қысқаша тоқталайық.

Электромагнитті уақыт релесі (10.5 сур.) катушка орнатылған /1/ магнит өткізгіштің қозғалмайтын бөлігінен /2/ және магнитті жүйенің қозғалмалы бөлігі – байланыстырғыштары /8, 9/ бар якорьдан /6/ тұрады. Катушкада қуат кернеуі жоқ кезде якорь /6/ серіппе /4/ көмегімен көтерілген күйде ұсталады.

Уақыт релесі құрылымының ерекшелігі – оның магнитөткізгіште /2/ ауыр мыс түтікшесі /3/ (гильза) болады, бұл катушканы қуат көзінен ажыратқан кезде уақытты ұстап тұруды қамтамасыз етеді. Бұл процессті жан-жақты қарастырайық.

Уақыт релесі кәдімгі электрлі магнитті реле түрлері секілді, байланыстырғыштың /10/ тұйықталуы кезінде катушкаға /1/ U кернеуін бере отырып, қосылады. Мұнымен қатар, якорь /6/ білікке жақындай түсіп, уақытты ұстамай, байланыстырғыштардың /8, 9/ қосылуын жүзеге асырады. Уақытты қажетті мөлшерде ұстап тұру якорьдың бастапқы қалпына баяу келу жағдайын қамтамасыз етеді, себебі қайта басталған магнит тасқынының кернеуін катушкадан алу кезінде гильзада /3/ құйынды ток пайда болады, бұл өзінің магнитті тасқынымен негізгі қуатты ұстап тұруға мүмкіндік береді (Ленц ережесі). Басқаша айтқанда, гильзаның болуы магнитті тасқынның түсуін, яғни якорь және байланыстырғыш жүйенің бастапқы (өшірілген) қалыпқа келуін баяулатады (демпферлейді). Тұйықталған байланыстырғыштардың ажыратылуы және ажыратылған байланыстырғыштардың тұйықталуы кезінде уақытты ұстап тұру осылайша қамтамасыз етіледі (10.5 б сурет).



Уақытты ұстап тұру якорьда /6/ орналастырылған, белгілі қалыңдықтағы магнитті емес жез төсем /7/ есебінен сатылай отырып (төсеме қалыңдығын азайту реленің ұстап тұрғыштығын арттырады және керісінше) немесе гайка /5/ көмегімен серіппенің /4/ тартылуының бірсарынмен баяу өзгеруі арқылы (серіппе неғұрлым аз тартылса, уақытты ұстап тұру соғұрлым көп болады және

керісінше) реттелуі мүмкін. Уақытты электрлі магнитті реледе ұстап тұру катушканы желіден ажыратқаннан кейін, оны тұйықтай отырып, гильзаны /3/ орнатпай-ақ қамтамасыз етеді.

Мұндай жағдайда, катушкадан пайда болған және оның байланысымен /11/ тұйықталған контур электрлі магнитті демпфер рөлін атқарады. Алайда, бұл жағдайда уақытты ұстап тұру гильзаны пайдалану кезіндегі жағдайға қарағанда аздау болады.

Уақытты 0,25-ден 5,5 с.-ге дейін ұстап тұруды қамтамасыз ететін РЭВ 811...РЭВ 818 сериясындағы реле катушкамен 12, 24, 48, 110 және 220 В тұрақты тогының кернеуінде дайындайды. РЭВ 81 сериясындағы реле уақытты 0,15-4 с. дейін ұстап тұруды қамтамасыз етеді.

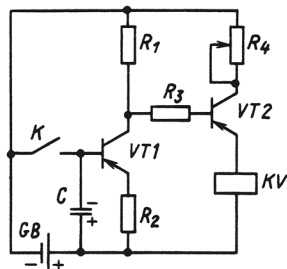
Моторлы (электрлі механикалық) уақыт релесі арнайы төмен жылдамдықтағы қозғалтқыштан және үлкен беріліс саны бар редуктордан тұрады, редуктордың шығыс білігінде тетігі бар, оның бастапқы қалпы уақытты белгілеу шкаласы бойынша орнатылады. Тетік қосымша контакті жұмысымен басқарылады. Моторлы уақыт релесі былайша жұмыс істейді. Уақыттың бастапқы саналғаны қозғалтқышқа кернеу берумен сәйкестендіріледі, ол қосылған кезде айнала бастайды және редуктор білігіне қарай тетікті баяу қозғалыспен бұрады. Бастапқы қалып бойынша белгіленген уақыттан кейін рычаг қосымша контактілерге дейін жеткізіліп, оларды тұйықтайды, бұл уақытты ұстауды санауды аяқтап, өзінің бір контактысынан қозғалтқышты өшіріп, шығыс реленің қосылуына алып келеді.

Е 510 және РБ 4 сериялы моторлы уақыт релесі уақытты бірнеше минутқа ұстап тұруды қамтамасыз етеді.

Электронды уақыт релесінде (10.6 сур.) әдетте түрлі жартылай өткізгіш элементтер (негізінен транзисторлы), конденсаторлар, разряд уақыты немесе уақытты ұстап тұруды анықтайтын зарядтар пайдаланылады.

Реленің бастапқы қалпында К ішкі басқарушы контакт тұйықталған және VT1 транзисторы базасына GB қуат көзінің теріс потенциалы беріледі. Мұнымен қоса, бұл транзистор ашық қалыпта, ал VT2 транзистор базасының потенциалы оның эмиттері қатынасы бойынша оң болып және ол жабық күйде болады. Нәтижесінде, KV шығыс релесі өшіріледі. Бастапқы қалыптағы C конденсаторы суретте көрсетілгендей, конденсатор астарының қарама-қарсылығымен қуатталған.

Уақытты санау басталған кездегі команда К ішкі басқару контактысы ажыратылған кезде беріледі. Бұдан кейін R₂ резисторы арқылы C конденсаторының разряды басталады және эмиттердің өтуі – VT1 транзистор базасы.



10.6 сурет

Нәтижесінде, *VT1* транзисторы конденсаторының разряды жабылады, *VT2* транзистор базасында теріс потенциал пайда болады және ол ашылады, мұнымен қатар *KV* релесінің орамы бойынша ток өтеді, ол жұмыс істей бастайды және өзінің контактілерін қосады.
Уақытты санау аяқталды.

Мұндай реленің уақытты ұстап тұруы *C* конденсаторының уақыт разрядымен анықталады, бұл оның сыйымдылығына және *R2* резисторының кедергісіне байланысты. Осы шаманы реттей отырып, талап етілген реле уақытын ұстап тұруды белгілеуге болады. ВЛ сериядағы электронды уақыт релесі уақытты 0,1-10 минутқа дейін ұстап тұруды қамтамасыз етеді.

Пневматикалық реледе уақытты ұстап тұру электрлі магнит көмегімен басқарылатын ауалық (пневматикалық) бәсеңдеткішімен (демпфермен) қамтамасыз етіледі. Электрлі магнитке қуат көзін беру кезінде (уақытты санау басында) калибрлі дроссель тесіктері арқылы, реле камерасының біреуінен екіншісіне ауаның айдалу процесі басталады. Бұл тесіктердің өлшемі, ауаның берілу жылдамдығы және уақыт релесін ұстап тұру ине көмегімен реттеледі, ине «үлкен-кіші» реттегіш гайкасымен бекітіледі. Тесіктер арқылы ауаның берілуі аяқталғаннан кейін, релеге орнатылған микроауыстырып-қосқыш қосылады, бұл уақытты ұстауды санаудың аяқталғанын анықтайды.

РВП 72 сериялы пневматикалық уақыт релесі 0,4-18 с.дейін уақыт ұстап тұру диапазонын қамтамасыз етеді

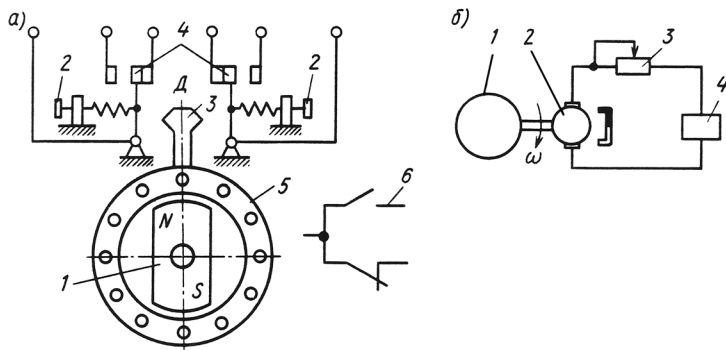
Механикалық уақыт релесінің электрлі магнит арқылы басқарылатын анкерлі механизм түріндегі баяулатқышы болады. Электрлі магнитке қуат жіберу кезінде якорь анкер механизмінің серіппесін іске қосады. Жұмысты бастағаннан кейін, соңынан реленің жылжымалы контактысын ауыстырады. Белгіленген уақыт өткеннен кейін, реленің қозғалмайтын контактысымен, белгіленген қалыпта (тағайындамада) контактылы жүйелердің тұйықталуы орын алады, бұл уақытты санаудың аяқталғанын білдіреді. Осы реле уақытты оншақты секунд ұстап тұруға мүмкіндік береді.

Бірқатар механикалық уақыт релесі электрлі магнитпен емес, контактордың жылжымалы бөлігімен басқарылады. Бұл жағдайда анкерлі механизм жұмысы контактор қосылғаннан кейін бірден басталады. Мұндай уақыт релесі маятниктік деп аталады.

Жылдамдық датчигі. ЭЖ жылдамдығы туралы ақпаратты түрлі жылдамдық датчиктерімен қатар, қозғалтқыштың өзінен де алуға болады. Тұрақты немесе ауыспалы ток двигательдерінің жылдамдығы олардың электр қозғаушы күшін анықтайды. Сөйтіп, электр қозғаушы күшті пайдалана отырып, ЭЖ жылдамдығы туралы ақпарат алуға болады.

Жылдамдық бақылаудың электрлі механикалық релесі (ЖБР) асинхронды двигатель қағидасы бойынша жұмыс істейді. Мұндай

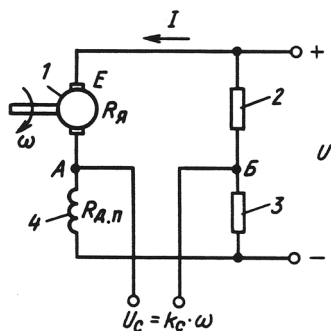
реленің роторы (10.7 а сур.) жылдамдықты өлшейтін двигательдің білігімен байланыстыратын тұрақты магнит /1/ болып саналады. Тұрақты магнит, тиіннің торы секілді орамасы бар алюминді цилиндр /5/ ішіне орналастырылады. Бұл цилиндр ось айналасымен бұрышқа аздап қисайып бұрылуы және тіреуіш /3/ контактілерінің /4 және 6/ көмегімен қосылуы мүмкін. Двигатель жылжымайтын болса, тіреуіш орташа қалыпта болады және реле түйіспелері қалыпты күйде тұрады. Двигательді айналдыру кезінде тіпті жылдамдығы аз магниттің /1/ өзінде айналдыру кезі орын алады, осының әсерінен цилиндр /5/ бұрылады және тіреуіш /3/ көмегімен түйіспелердің /4/ қайта қосылуын қамтамасыз етеді. Двигательдің нөлге жақын жылдамдығы кезінде, цилиндр орташа қалыпқа келеді және түйіспелер /4/ өзінің қалыпты жағдайына өтеді. Реле түйіспелері қосылатын жылдамдық, орнатылған бұрандалардың /2/ қалпымен анықталады.



10.7 сурет

Жылдамдықты бақылау релесі двигатель жылдамдығы нөлге дейін төмендеген уақытта оны желіден ажырату талап етілген кезде, тежеу процесін автоматтандыру кезінде пайдалануға қолайлы.

Тахогенератор (ТГ) двигатель жылдамдығының датчигі секілді әдетте түрлі басқару жағдайларында пайдаланылады. Оны пайдалану үлгісі 10.7 б суреттегі ашық сызбада келтірілген. Тахогенератор якорына /2/ біртіндеп реттегіш резистор /3/ қосылған кернеу релесінің орамы /4/ қосылған. Реле двигательдің /1/ белгіленген жылдамдығында, реостат /3/ қозғалтқышының тұрған қалпына байланысты іске қосылады және өзінің контактілерімен, басқарудың сәйкес тізбектерінің коммутациясын жүзеге асырады. Автоматтандырылған ЭЖ-де ЭТ 4 және ЭТ ЭТ 7; ТМГ- 3ОП; Тд 103-ПМ және ТД 201-ПМ; МЭТ 8155 сериялы тұрақты магниттен қызатын, тұрақты тоқты және ТГ, СЛ, ТД сериялы қыздыратын орамы бар тахогенераторлар, сонымен қатар асинхронды және синхронды тахогенераторлар жиі пайдаланылады. Тұйық сызбада берілген тахогенераторды пайдалану 11 тарауда берілген.



10.8 сурет

Жылдамдық туралы ақпарат көзі ретінде тұрақты ток двигателінің якорын пайдалануға болады, бұл үшін ол тахометриялық белдеме сызбасына қосылады (10.8 сур.) және R_1 және R_2 кедергілі резистормен /3, 2/, R_A кедергілі якорь орамымен /1/ және R кедергілі қосымша полюстермен құрылады. Егер $R_1 R_2 = R_A^2$ шарты сақталатындай етіп R_1 және R_2 кедергілерін тандағанда, онда белдеме /мост/ теңдестірілген күйде болып және диагоналына түсетін күш (А және В нүктесі арасында) якорь

тогына тәуелді болмай, двигатель жылдамдығына тепе-тең болады:

$$U_c = R_1 k \Phi_{\text{ном}} \omega / (R_1 + R_2). \quad (10.1)$$

Тахометриялық белдеме сызбасы тұйықталғанымен қатар, тұйықталмаған басқару сызбасында да пайдаланылады. Соңғы жағдайда А және В нүктесіне реле катушкасы қосылады.

Нақты дәлдік талап етілмейтін кейбір жағдайларда дабыл, пропорционалды жылдамдық тікелей, тұрақты ток двигателінің (ТТД) шөткесінен де алынады.

Асинхронды двигатель (АД) роторы да оның жылдамдығы туралы ақпарат көзі бола алады, АД роторына дәлденген электр қозғаушы күш (ЭҚК) $E_2 = E^s$, қатынасымен анықталады; s -қатынас жылдамдығымен байланысты АД-ның жылжуын білдіреді (5.4). Осылайша, ротордың ЭҚК-мен және оның орамындағы күштің төмендеуімен анықталатын АД кольцосындағы күштен осы двигательдің жылдамдығы туралы ақпарат алуға болады.

Жылдамдық реттегіштің ортадан тепкіш қағидаты бойынша орындалған, ортадан тепкіш жылдамдық релесі өзінің қолайсыз үлкендігінен және ЭЖ сызбасында қауіптілігі жоғарылау болғандығы үшін сирек пайдаланылады.

Ток датчигі. Реле-түйістіргіш тұйықталмаған сызбада датчик ретінде, негізінен ток релесі пайдаланылады. Оның орамдарының саны аз, қалың сымнан жасалған катушкасы тікелей бақыланып отыратын ток двигателінің тізбегіне қосылады. Осы токпен, іске қосылу немесе төмендеу деңгейіне жеткен кезде ток релесі контактілерінің коммутациясы орын алады.

Осы мақсатта РЭВ 830, РЭВ 312, РТ 40 сериялы минималды және максималды ток релесі көбірек пайдаланылады.

Двигатель тогына тепе-тең сигналды шунт немесе тікелей, двигательдің қосымша полюстерінің орамдары көмегімен де алуға болады (10.8 сур. қараңыз). Бұл әдістер негізінен автоматтандырылған ЭЖ-нің тұйықталған сызбасын құрастыру кезінде қолданылады. Кейбір сызбаларда датчик ретінде ток трансформаторлары пайдаланылады, бұл күш тізбегі мен басқару тізбегін тепе-тең бөлуге мүмкіндік береді.

Қалып датчигі. ЭЖ басқарудың тұйықталған сызбасында кеңінен пайдаланылатын қалып датчигіне (датчик положение) түрлі типтегі жолдық және шеткі ағытқыштар (выключатель) жатады. Шеткі ағытқыштар атқарушы жұмыс органдарының жұмыс аумағынан шығып кетуін болдырмайды (мысалы, көтергіш кран көпірінің кран жолының аумағынан шығып кетуі). Жолдық ағытқыштар атқарушы органдардың белгілі жолдар нүктесінде, сызбада басқару командасын беру үшін пайдаланылады (мысалы, лифт кабинасының қабатқа келу кезіндегі секілді).

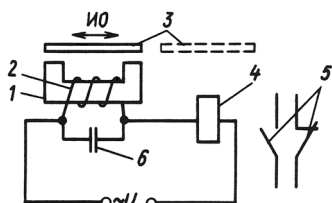
Жолдық және шеткі ағытқыштар контактысыз және контактылы болуы мүмкін. Соңғысы жетек (привод) түріне байланысты, олардың байланыстырғыш жүйесі айналмалы, иінтіректі және қысатын түрлерге бөлінеді.

Айналмалы жолдық және шеткі ағытқыштардың двигатель білігімен тікелей немесе редуктор арқылы жалғасқан валикті жетегі болады. Валикте жұдырықшалы шайба орналасады, ол валикпен белгілі бір қалыпқа жету кезінде ағытқыштың контактылы жүйесіне әсер етеді. Двигатель білігін оның арнайы белгіленген қалпында айналдыру кезінде жұдырықшалы шайбалар ағытқыш түйіспелерінің қосылуын жүзеге асырады.

Иінтіректі шеткі және жолдық ағытқыштар ЭЖ-нің қозғалмалы бөлігімен немесе атқарушы органмен жалғасқан бұрма рычагтан өзінің контактылы жүйесінің желісі болады. Рычаг және түйіспелердің бастапқы қалпына келуі серіппе (пружина) арқылы жүзеге асырылады.

Қысқыш ағытқышта түйіспелердің қосылуы оған шток басқан кезде орындалады, бұл кезде де бастапқы қалыпқа келу серіппе көмегімен орындалады. Қысқыш ағытқыш ретінде микроқосқыштар да пайдаланылады, бұның штокка әсерінен созылмалы түйіспелер (контакт) қосылады.

Жолдық және шеткі ағытқыштардың КУ 700; ВУ 150 және ВУ 250; ВК 200 және ВК 300; ВПК 1000, 2000, 3000 сериялы түйіспелері 10 А дейінгі айнымалы токтың және 500 В дейінгі күштің және 220 В кернеулі 1,5 А дейінгі тұрақты токтың бір немесе екі тізбегін коммутациялауға мүмкіндік береді.



10.9 сурет

Түйіспесіз индукциялы қалып датчигі (10.9 сурет) катушкасы /2/ бар тұйықталмаған магнит өткізгіштен тұрады, ол конденсаторға параллель қосылған /6/. Конденсаторы бар катушка өз кезегінде орамалы релемен /4/ бірге ауыспалы ток тізбегіне қосылған. ЭЖ-нің жылжымалы бөлігіне немесе жұмыс машинасының атқарушы органына

бекітілген датчик якорь /3/ магнит өткізгішті /1/ тұйықтамайды, катушканың /2/ индуктивті кедергісі аз, оның тізбегіне көп ток өтеді және реле /4/ қосылады. Якорь /3/ ауыстырылған немесе магнит өткізгіш /1/ үстінен орын алған кезде, катушканың /2/ индуктивті кедергісі өсе түседі және тізбекке (конденсатор сыйымдылығын таңдау есебінен 6) ток резонансы және оның кенет төмендеуі туындайды. Реле /4/ ток төмендеуінің нәтижесінен өшеді, бұл оның түйіспелерінің /5/ ЭЖ басқару тізбегіне қосылуын туындатады.

Потенциометриялық, сельсинді және сандық қалып датчигі негізінен, тұйықталған ЭЖ-де пайдаланылады, бұл II тарауда қарастырылған.

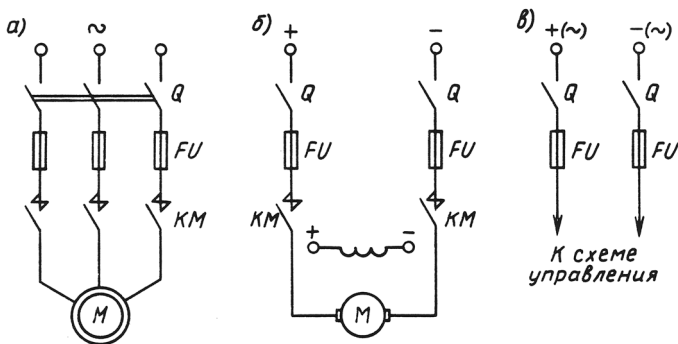
10.4. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ҚОРҒАНЫСТЫҚ БЛОКАДАЛАУ ЖӘНЕ ДАБЫЛ АППАРАТТАРЫ ЖӘНЕ ТҮРЛЕРІ

ЭЖ және технологиялық жабдықтардың қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету үшін басқару сызбасында арнайы қорғаныс аппаратурасы қарастырылған. Осы мақсатта бір немесе бірнеше ЭЖ және технологиялық жабдықтармен жұмыс операцияларының белгіленген тәртібін қамтамасыз ететін, сонымен қатар оператордың қате әрекетін жойып отыратын түрлі блокадалау байланыстары жұмыс істейді. Мұнымен қатар, көп жағдайда ЭЖ тораптарының жағдайы мен жұмыс тәртібін бақылап отырған дұрыс, бұл дабыл беру, өлшеу және тіркеу аспаптары көмегімен қамтамасыз етіледі.

Максималды ток қорғаныс аппараты. ЭЖ-мен жұмыс кезінде электр тізбектерінің өзара немесе жерге (корпус) тұйықталуы сондай-ақ, күш беру тізбектерінде тоқтың рұқсат етілген шектен асып кету жағдайы орын алуы мүмкін (тоқтың шектен асып кету жағдайы қуат беретін асинхронды двигатель (АД) мен синхронды двигатель (СД) сымдарының біреуінің үзілуінен және тұрақты ток двигателинің әсерінен тоқтың кенет төмендеу кезінде жұмыс машинасының атқарушы органдары қозғалысының тоқтап қалу жағдайынан туындайды). ЭЖ және қуат беретін

желілерді қорғау үшін түрлі заттармен – созылмалы сақтандырғыштар, максималды ток релесі және автоматты ажыратқыштар қарастырылған.

FU созылмалы сақтандырғыштар желіні қуаттандыратын двигательдің әрбір фазасына Q қуат желісінің ажыратқышы мен *KM* желілік контакторларының түйіспелері арасына, сондай-ақ басқару желісіне қосылады. 10.10 а, б, в суретте АД, ТТД және басқару тізбегінің сақтандырғыштармен қорғаудың сәйкес сызбасы берілген.



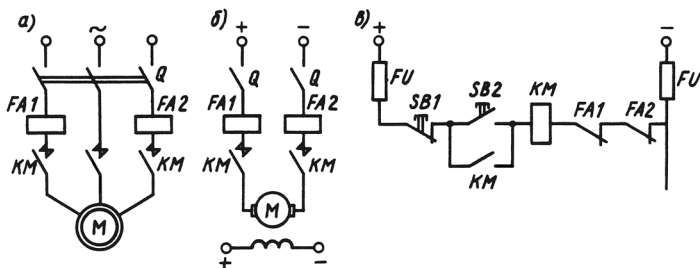
10.10 сурет

Сақтандырғыштың негізгі элементі созылмалы қондырма және сөндіргіш құрылғы болып табылады. Сақтандырғыштың созылмалы қондырғысы токқа байланысты, яғни таңдалған ток двигательдің жіберген тогынан күйіп кетпеуі есепке алына отырып таңдалады.

1000В дейінгі қуат кезінде ЭЖ электр желілерін қорғау үшін сақтандырғыштардың мынадай түрлері пайдаланылады: ПР2 сериясындағы толықтырғышы жоқ түтікшелі; ПНБ-5 сериясындағы тез әсер ететін; ПП 31 жоғары ұзу қабілеті бар; ПН 2 сериясындағы жабық патрондары және толықтырғыштары бар алмалы-салмалы түтікшелі; ПРС сериясындағы кескіш түрлері. Бұл сақтандырғыштардың созылмалы қондырмаларын 6-дан 1000А-ға дейінгі токқа калибрлейді.

Максималды ток релесі. Бұл реленің /*FA1* және *FA2*/ катушкалары ауыспалы токтың үш фазалы двигательінде екі фазада және *Q* ажыратқышы мен *KM* желілік контакторының түйіспелері арасында ТТД-нің бір немесе екі полюсіне қосылады (10.11 а, б сурет). Осы реленің ажыратқыш түйіспелері де *KM* желілік контакторының катушка тізбегіне қосылады (10.11 в сур.). Бақыланатын тізбекте шектен асатын ток пайда болған кезде, осы реленің түйіспелері ажыратылады және *KM* желілік контакторының қуат беру түйіспелері қуат желісінен двигательді ажыратады.

Максималды ток қондырмалары двигательге ток жіберген кезде немесе өзге де ток жіберу процестерінде, яғни ток қуат желілерінде,



10.11 сурет

токтың қалыпты нормасын бірнеше есеге арттырған кезде оның өшіп қалмауы есепке алына отырып, таңдалады.

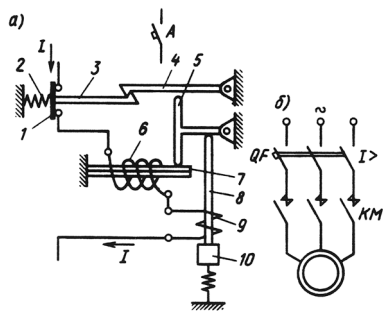
ЭЖ-де максималды ток релесі ретіне РЭВ 570 және РЭВ 571 сериялы тез әсер ететін реле пайдаланылады, РЭВ 570 сериясы 0,6-дан 1200А-ға дейінгі тұрақты ток тізбегі үшін, ал РЭВ 571 сериясы 0,6-дан 630А-ға дейінгі тұрақты ток тізбегі үшін пайдаланылады. Бұл реле арқылы дәлдігі $\pm 10\%$ дейінгі $(0,7...3) / I_{ном}$ и $(0,7...2) / I_{ном}$ шегіндегі өзінің сәйкес қондырғысын реттеуге болады. Олардың іске қосылу уақыты 0,05с. Басқару сызбасында РЭ 70, РЭВ 830, РЭВ 302 және өзге де сериялы релелер де пайдаланылады.

Автоматты ауалық ажыратқыш (автоматтар). Көп мақсатта пайдаланылатын кешенді бұл аппараттар двигателдің қолмен қосылып, өшірілуі, олардың жоғары қысымдағы токтан, қуат кернеуінің шамадан асып кетуінен немесе төмендеу жағдайларында қорғауды қамтамасыз етеді. Мұнымен қатар, кейбір автоматтар двигателді қашықтықтан да өшіруге мүмкіндік береді. Бұл қызметтердің орындалуын қамтамасыз ету үшін автоматта контакт жүйесі, арнайы тұтқа немесе кнопка көмегімен жүзеге асырылатын тұйықталу және ажыратылу, максималды ток релесі және жылу беретін ток релесі болады.

Автоматтың ең маңызды бөлігі еркін ағыту механизмі болып табылады, бұл механизм басқару немесе қорғаныш әсер туындаған кезде, мысалы қысқа тұйықталудан токтың көбеюі, қуат желісінің төмендеуі кезінде өшіруді, сонымен қатар қажет болған жағдайда автоматты қашықтықтан өшіруді қамтамасыз етеді.

Автоматтың қарапайым құрылғысы 10.12 а суретте берілген. Қуаттың // жұмыс тогы автоматтың контактысы // және жылу релесінің жылытқышы /6/ арқылы өтеді. Бақыланатын тізбекте қысқа

тұйықталу болған кезде максималды ток релесінің білігі (сердечник) /10/ катушкаға /9/ қосылып, итергіш /8/ арқылы еркін ағытылу механизмінің рычагына /5/ әсер етеді. Соңғысы сағат тілі бойынша бұрылып, ілгішті /4/ көтереді. Сонымен бірге, рычаг /3/ серіппеге /2/ әсер ете отырып, босатылады және автомат түйіспелерін /1/ ажыратады.



10.12 сурет

Автоматта көбінесе жылытқышы жоқ жылыту ажыратқыштары пайдаланылады, бұл жағдайда бақыланатын ток тікелей биметалл пластина арқылы өтеді. Аз қуатты автоматта мұндай ажыратқыш максималды қорғаныс тогы элементінің қызметін де атқаруы мүмкін.

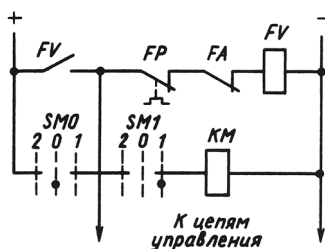
Үш фазалы асинхронды двигательді қосу және қорғауды қамтамасыз ету мақсатымен QFс автоматын қосу сызбасы 10.12 б суретте келтірілген. Автоматты ажыратқыштар ЭЖ-нің барлық түрлерінің қуатты және қуаты аз серіппелерін коммутациялау және қорғау мақсатында кеңінен қолданылады.

ЭЖ-де пайдаланылатын АП 50, АК 63, А 3000, А 3700, АЕ 2000, ВА, ВАБ, «Электрон» сериялы автоматты ажыратқыштар бір-бірінен контакт (полюстер) санымен, номиналды ток деңгейімен және қуатпен, өшіретін, тез әсер ететін жиынтықтары арқылы ажыратылады. Олардың номиналды ток диапазоны 10...10 000А, ал шеткі коммутациялаушы токта 0,3...100кА құрайды. Түрлі автоматтардың қосылу уақыты 0,02...0,7 с.дейінгі шамада болады.

Нөлдік қорғаныш. Желі кернеуі айтарлықтай төмендегенде немесе ол жоғалып кеткен кезде, бұл қорғау қозғалтқыштардың өшірілуін қамтамасыз етеді және кернеу қалпына келтірілгеннен кейін олардың өздігінен өшуінің (өздігінен іске қосылуының) алдын алады.

Қозғалтқыштар түйістіргіштердің немесе магниттік іске қосқыштардың пернелірімін басқарылатын жағдайларда, нөлдік қорғаныш, қосымша құралдарды қолданусыз, осы аппараттармен жүзеге асырылады. Мысалы, 10.11 суретінің схемаларында торап кернеуі жоғалып кетсе немесе күрт төмендеп кетсе, КМ желілік түйістіргішінің катушкасы қуат көзін жоғалтады және ол қозғалтқышты тораптан ажыратады. Кернеуді қалпына келтірген кезде, қозғалтқышты қосу SB2 басқару пернесін басқаннан кейін ғана мүмкін болады.

ЭП-ні командалық түйістіргіштен немесе олардың тұтқыштарының бекітілген күйіндегі кілтпен басқарған кезде нөлдік қорғаныш қосымша (10.13 сур.) кернеурелесінің FV көмегімен жүзеге асырылады. Осы схемада



10.13 сурет

FV релесі SM0 түйісуі арқылы, командалық түйісу (кілт) нөлдік күйде болған кезде қосылады, содан кейін ол қуат көзін өзінің меншікті түйісуі арқылы алуды бастайды. Командалық түйісудің (кілттің) тұтқышын іске қосу күйіне 1 ауыстырған кезде, бүкіл басқару схемасының қуат көзі осы түйісу арқылы жүзеге асырылатын болады, сондықтан кернеу жоғалған кезде реле FV ажыратылады, схемаға қуат беруін тоқтатады және желілік түйісу KM қозғалтқышты

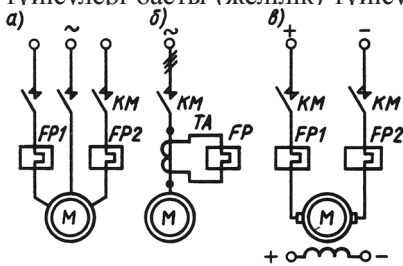
тораптан ажыратады. Қуат көзі кернеуін қалпына келтірген кезде, қозғалтқышты қайта қосу, тұтқышты қайтадан нөлдік (орташа) күйге орнатқаннан кейін ғана мүмкін болады, сол кезде оның өздігінен іске қосылу жағдайы орын алмайды.

Сондай-ақ, қарастырылып отырған схемада реле FV тағы да екі қорғаныштың – қысқа тұйықталу токтарынан болатын (максималды ток релесінің FA түйісулері арқылы) және жылулық қорғаныштың (жылу релесінің FP түйісулері арқылы) атқарушы элементі болып табылатындығын атап өту керек, ол сондай-ақ басқару схемаларында жиі қолданылады.

Жылулық қорғаныш, егер қозғалтқыш тізбектері бойынша көтеріңкі токтардың өтуі салдарынан оның орамдарының айтарлықтай қызуы орын алса, қозғалтқышты қуат көзінен ажыратады. Мұндай шамадан тыс жүктелу, мысалы, үш фазалық АД немесе СД фазаларының бірі үзіліп кеткен кезде туындайды.

Қозғалтқыштардың жылулық қорғанышы жылулық, максималды тоқтық релелердің және автоматтық ажыратқыштардың көмегімен жүзеге асырылады.

Жылулық реле FP егер қозғалтқыш тогы реленің номиналды тогынан артық болса, үш фазалық қозғалтқыштардың екі фазасына тікелей қосылады (10.14, а сур. қараңыз) немесе ток трансформаторлары арқылы TA (10.14, б сур. қараңыз) қосылады. ДПТ-ны қорғау үшін жылулық реле, оларға қуат көзін беретін тізбектің бір немесе екі полюсіне қосылады (10.14, в сур. қараңыз). Жылулық реленің ажыратылатын түйісулері басты (желілік) түйісулердің катушкалары тізбегіне немесе қорғаныш реле тізбегіне қосылады (10.13 сур. қараңыз).



10.14 сурет

Жылулық реленің әрекеті, биметалл пластинканы түзетін металдардың желілік кеңеюінің әртүрлі температуралық коэффициенттерінен болатын қызу кезіндегі биметалл пластинканың иілу әсеріне негізделген (10.12, а сур. қараңыз).

Реленің жылулық элементі-

нің номиналды тогы қозғалтқыштың номиналды тогына тең немесе одан шамалы үлкен болуы тиіс, яғни $I_{т.э} = (1... 1,15) I_{ном}$.

ЭП-де 0,32-ден 40 А дейінгі номиналды токтарына ТРН сериялы электр-жылулық екі полюсті реле, 1,75-ден 550 А дейінгі токтарға ТРТП сериялы бір полюсті реле және 0,17-ден 200 А дейінгі токтарға РТЛ сериялы үш полюсті реле қолданылады. Бұл релелерде жылулық қорғаныштың реттелетін тағайындамасы болады; ток $1,21 I_{ном}$ болған кезде, олардың іске қосылу уақыты 20 мин.

Қозғалтқыштардың жылулық қорғанышы, сондай-ақ автоматты ажыратқыштармен және магниттік қосқыштармен жүзеге асырылуы мүмкін (егер оларда кіріктірме жылу ағытқыштары болса) (10.12, а сур. қараңыз).

ЭП-нің қайталама-қысқа уақыттық жұмыс режимдері кезінде, реле мен қозғалтқыштың қызу процестері әртүрлі болған уақытта, қозғалтқыштарды шамадан тыс жүктелуден қорғау максималды токтық реле *FA1* және *FA2* көмегімен жүзеге асырылады (10.11 сур. қараңыз). Осы релелер тағайындамаларының токтары қозғалтқыштың номиналды тогынан 20...30%-ға жоғары болып алынады. Бұл жағдайда реле тағайындамасының тогы іске қосу тогынан төмен болғандықтан, қозғалтқышты іске қосқан кезде оның түйісулері, ұсталым уақыты қозғалтқышты іске қосу уақытынан біршама артық болатын уақыт релесінің түйісулерімен тұйықталады.

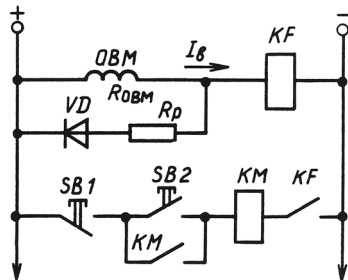
Минималды токтық қорғаныш ЭП-де ДПТ-мен және СД-мен, олардың қоздыру тізбектерін үзілуден қорғау үшін қолданылады. Қоздыру тогының жойылуы мынасымен қауіпті: қозғалтқыш ЭДС-ке қарсылығын жоюды тудыра отырып, оның күштік тізбегіндегі токтың айтарлықтай артуына және өрістету моментінің күрт төмендеуіне әкеледі.

Бұл қорғаныш минималды токтық реленің *KF* көмегімен жүзеге асырылады, оның катушкасы 10.15 суретте көрсетілгендей, қозғалтқышты қоздыру орамының тізбегіне қосылады. Бұл ретте тұйықтаушы түйісу релесі *KF* түйісу катушкасының тізбегіне *KM* орналастырылады, ол қозғалтқышты, оның қоздыру орамында *ОВМ* қоздыру тогы болған кезде ғана қосуға мүмкіндік береді. Қоздыру тогы жойылған немесе күрт төмендеген жағдайдағы ЭП жұмысы кезінде, реле түйісуі *KF* ажыратылып жіберіледі және түйісу *KM*, қуат көзін жоғалтқаннан кейін, қозғалтқышты желіден ажыратады.

Минималды ток релесі ретінде ЭП-де РЭВ 830 сериялы реле қолданылады.

Арнайы қорғаныш түрлері.

Оларға ДПТ қоздыру орамындағы ток кернеуінің ұлғаюы; «түрлендіргіш – қозғалтқыш» жүйесіндегі кернеудің ұлғаюынан қорғау; ЭП жылдамдығының артуынан қорғау; СД-ның көп



10.15 сурет

уақытқа созылатын іске қосылуынан қорғау және т.б. жатады.

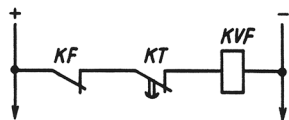
ДПТ қоздыру орамының ток кернеуінің ұлғаюынан қорғау оны қуат көзінен ажыратқан кезде талап етіледі. Бұл жағдайда, қоздыру тогының тез төмендеуі салдарынан, демек, орамдағы магнит ағынының тез төмендеуі орамда елеулі ЭДС өзіндік индукция туындайды (бірнеше киловольтке дейін), ол оның саңылаусыздығының бұзылуын тудыруы мүмкін.

Қорғау, $R_{\text{ОВМ}}$ кернеуімен, қоздыру орамына *ОВМ* қатарлас қосылатын, былайша айтқандағы разрядтық резистордың $R^{\wedge}$ көмегімен жүзеге асырылады (10.15 сур. қараңыз). Резистордың кедергісі қуат көзінің кернеуі 220 В болған кезде (4...5) $R_{\text{ОВМ}}$ және кернеу 110 В болған кезде (6...8) $R_{\text{ОВМ}}$ болуы тиіс. Разрядтық резистордағы энергия ысыраптарын жою үшін, диод *VD* реттілікпен қосылады, ол қоздыру орамы қосылып тұрған кезде, резистор арқылы ток жібермейді, бірақ токтың, қоздыру орамын ажыратқан кезде туындайтын өзіндік индукция әсерімен ЭДС ағыуына мүмкіндік береді. Көрсетілген шектерде кедергіні *R* таңдау қоздыру орамындағы токтың азаю қарқынын төмендетуге және сол арқылы өзіндік индукцияның ЭДС ұйғарынды шектерге дейін шектеуге мүмкіндік береді.

Ток кернеуінің ұлғаюынан қорғау ең алдымен «түрлендіргіш – қозғалтқыш» жүйесінде қолданылады. Ол түрлендіргіштен шығатын кезде қосылатын және өз түйісулерімен кернеуді ажырату тізбектеріне ЭП әсер ететін кернеу релесінің көмегімен іске асырылады. Бұл қорғаныш ДПТ-ны, кернеу шамадан артық болған кезде жылдамдықтың шамадан тыс артуынан қорғайды.

Жылдамдықтың артуынан қорғау атқарушы органдардың (лифтілер, көтергіш жүкарбалар, эскалаторлар, шахталық көтергіштер) қозғалыс жылдамдығын арттыруға болмайтын жұмыс машиналарының ЭП-лерінде қолданылады. Мұндай қорғаныш тахогенератордың көмегімен немесе қозғалтқыш білегімен қосылған, ортадан тепкіш ажыратқыштардың көмегімен қамтамасыз етіледі. Ортадан тепкіш ажыратқыштар басқару тізбегіне тікелей әсер етеді, ал тахогенератор өзінің якореіне қосылатын кернеу релесі арқылы әсер етеді.

СД-ның көп уақытқа созылатын қосылуынан қорғау, егер есеп уақытының соңына қарай СД қоздыру тогы белгіленген деңгейге жетпесе, оның тоқтауын қамтамасыз етеді. Бұл қорғаныш *KF* релесінің СД қоздыру орамының тізбегіне қосылатын *KV* минималды ток релесінің көмегімен (10.15 сур. қараңыз) және КТ уақыт релесінің көмегімен жүзеге асырылады тәрізді (10.16 сур.). Егер СД қалыпты іске қосу уақытына тең келетін *КТ* релесінің ұсталым уақытында қоздыру тогы жеткіліксіз болса,



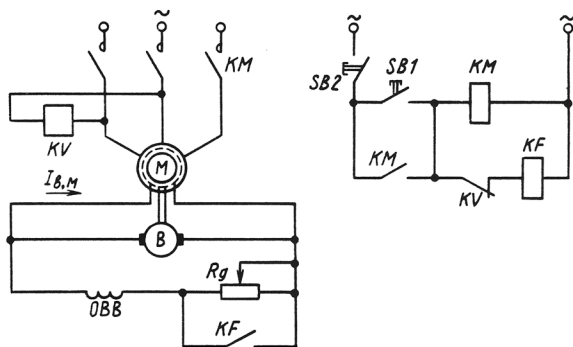
10.16 сурет

онда *КТ* релесі түйісулері тұйықталғаннан кейін *KVF* қорғаныш релесі іске қосылады да, іске қосуды тоқтатуға команда береді.

Жолдық қорғаныш жұмыс машинасының атқарушы органы шеткі күйлерге жеткен кезде, ЭП-нің ажыратылуын қамтама

сыз етеді. Ол атқарушы органның осы қалыптарында орнатылатын және қажет болған жағдайда, қорғаныш релесінің тізбектерін немесе тікелей желілік түйісулерді ажыратып тастайтын, түпкілікті ажыратқыштардың көмегімен жүзеге асырылады.

СД-ны синхронизмнен түсіп қалудан қорғау білікте күрт өзгеретін жүктемемен жұмыс істейтін және кернеуді төмендету мүмкін болатын желіден қуат алатын синхрондық қозғалтқыштардан тұратын ЭП үшін қолданылады. Мұндай қорғаныш желі кернеуіне қосылатын кернеу релесінің көмегімен (10.17 сур.) және тұйықтағыш түйісуі B қоздырғышының $ОВВ$ қоздырғыш орамы тізбегіндегі R_d қосымша резисторына қатарлас қосылатын, KV қоздырғышты үдету релесінің (түйістіргіш) көмегімен жүзеге асырылады.

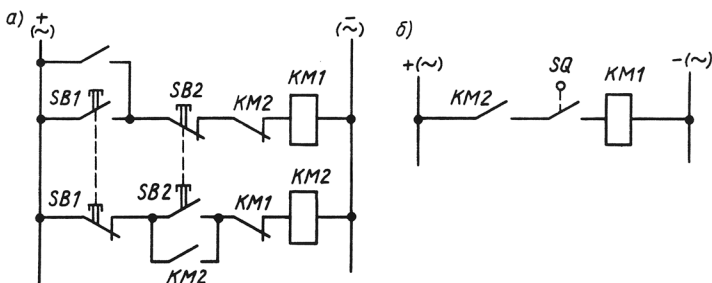


10.17 сурет

Желідегі кернеу деңгейі қалыпты деңгейде болған кезде, KV релесі қосылып тұрады, ал KF релесі өшіп тұрады, яғни резистор R_d номиналды (немесе оған жақын) ток жүретін $ОВВ$ тізбегіне енгізілген. Желі кернеуі 15...20%-ға төмендеген кезде KV релесі ажыратылады және қосылған кезде, өз түйісуімен резисторды R тұйықтайтын, KF релесі катушкасының тізбегінде өз түйісуін тұйықтайды. Қоздырғышты қоздыру тогы, оның кернеуі және қоздыру тогы $СД I_{B, M}$ бұл ретте өседі, демек, қозғалтқыштың ЭДС-і де артады. (6.1) сәйкес бұл СД-ның максималды моментінің және шамадан артық жүктелу қабілетінің артуына әкеледі және сол арқылы оның, желіде жүктеме артқан кезде желімен синхронды жұмысын қамтамасыз етеді.

ЭП схемаларындағы электрлік бұғаттаулар басқару, штаттан тыс және авариялық жағдайлар кезінде операциялардың берілген реттілігін қамтамасыз ету үшін, сондай-ақ оператордың қате әрекеттері салдарының алдын алу үшін арналған, ол ЭП-нің және технологиялық жабдықтардың жұмыс сенімділігін айтарлықтай арттырады. Осылайша, мысалы, катушкалар тізбегіндегі $KM1$ және $KM2$ (10.18, а сур.) түйістіргіштерінің

ажыратылатын түйіспелерінің айқасқан қосылуы, олардың біреуінің екіншісі қосылып тұрған кезде қосылуына жол бермейді. Мұндай бұғаттау, екі түйістіргішті бір мезгілде қосуға жол берілмейтін реверсивтік ЭП-де немесе тежеу, қозғалтқышты желіден ажыратқаннан кейін ғана басталуы мүмкін, қозғалтқыштың электр тежегіші бар ЭП-де қолданылады.



10.18 сурет

Екі түйістіргіштің бір мезгілде қосылуын, тұйықтағыш және ажыратқыш түйісулері бар, екі тізбекті басқару пернелерін пайдалана отырып та алдын алуға болады. 10.18, *a* суреттен көрініп тұрғандай, пернелердің кез келгенін басу, түйістіргіштердің бірінің катушкасы тізбегінің тұйықталуына және басқа түйістіргіш тізбегінің бір мезгілде ажыратылуына әкеледі.

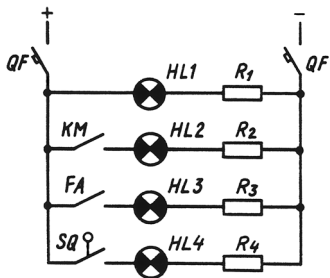
10.18, *б* суретінде кешенде бірлесіп жұмыс істейтін, екі ЭП-ні кейбір технологиялық бұғаттау схемасы келтірілген. Ол бір ЭП-нің түйістіргішінің *KM1* екінші ЭП-нің түйістіргіші *KM2* қосылғаннан кейін ғана және жолдық ажыратқыш *SQ* қосылып тұрған кезде ғана қосылуына жол береді.

Бұғаттаудың кейбір басқа түрлері бұдан әрі басқарудың нақты схемаларында қарастырылатын болады.

ЭП-ні басқару схемаларындағы сигнал беру жүйесі.

Технологиялық процесс барысын, операциялардың орындалу реттілігін, ЭП-нің қорғаныш жай-күйін, қуат көзі кернеуінің немесе қандай-да бір электр сигналының болуын бақылау кезінде, нормадан ауытқыған жағдайда, жарықтық (сигналдық лампалар, табло), дыбыстық (қоңырау, сирена) және визуалдық (көрсеткіш реле, өлшеу аспаптары) болуы мүмкін сигнал беру қолданылады.

10.19 суретінде ЭП-ні басқару схемасында ықтимал сигнал беру көрсетілген. Мұнда *HL1* лампасы схемаға



10.19 сурет

кернеу беру туралы сигнал береді (QF автоматының қосылуы), $HL2$ лампы – KM түйістіргішінің қосылуы туралы, $HL3$ лампы – FA максималды тоқтық қорғаныш релесінің іске қосылуы туралы, $HL4$ лампы – SQ түпкілікті ажыратқышының іске қосылуы туралы сигнал береді.

10.5. ТҮЙІСПЕСІЗ ЛОГИКАЛЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕР

Түйіспесіз логикалық элементтер әртүрлі логикалық басқару жандарын іске асырған кезде және ЭП-де бұғаттаулар мен қорғаныштарды жүзеге асыру үшін қолданылады. Олар ұзақ уақыт жұмыс істейді, себебі оларда қозғалатын механикалық бөлшектері болмайды, жоғары тезерекеттігімен, аз массасымен, габариттік өлшемдерімен, энергия тұтынуымен және қоршаған ортаның зиянды әсеріне қатысты төмен сезімталдықпен ерекшеленеді. Оларды пайдалануда ең үлкен нәтижеге, бақыланатын және түрленетін сигналдар саны бірнеше ондаған санға жеткенде, орташа күрделіліктегі басқару схемаларын құрған кезде қол жеткізіледі.

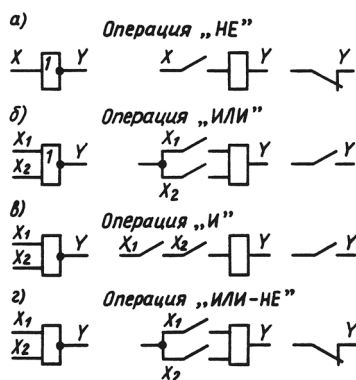
Логикалық элемент электр-магниттік түйісу релесі тәрізді функционалдық операцияларды орындайды. Онда екі тұрақты күй болады – «қосылған» және «ажыратылған», олар сәйкесінше 1 және 0 цифрларымен белгіленеді.

Электр-магниттік реле үшін 1 цифры, оның түйісуінің тұйықталғандығын, ал 0 цифры – ажыратылғандығын білдіреді. Түйіспесіз логикалық элемент үшін 1 цифры оның шығысында кернеудің болуын, ал 0 цифры – оның жоқтығын көрсетеді. Ұқсас түрде элементтердің кіріс сигналдары да белгіленеді. Логикалық элементтердің кіріс сигналдарын, олардың шартты схемалары 10.20 сур. келтірілген, X әрпімен, ал шығыс сигналдарын – Y әрпімен белгілейік және қарапайым логикалық операциялар мен элементтерді қарастырайық.

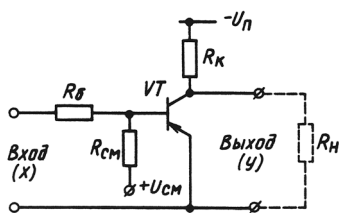
Логикалық элемент (10.20, а сур. қараңыз) теріске шығару (терістету) операциясын орындамайды. Кіріс сигналы болған кезде, яғни $X = 1$ болған кезде, шығыс сигналы болмайды. ($Y = 0$), ал кіріс сигналы болмаған кезде. ($X = 0$) шығыс сигналы $Y = 1$.

Логикалық элемент НЕМЕСЕ. Бұл элементтің шығысындағы сигнал кем дегенде бір кіріс сигналы X_1 немесе X_2 болған кезде пайда болады (10.20, б сур. қараңыз). НЕМЕСЕ операциясы кез келген сан мөлшеріндегі кіріс сигналдары үшін орындалуы мүмкін.

Логикалық элемент И. Бұл элементтің шығысындағы сигнал $Y = 1$ (10.20, в сур. қараңыз) екі кіріс сигналы



10.20 сурет



10.21 сурет

1-ге тең болған жағдайда ғана пайда болады. Қалған жағдайларда $Y = 0$.

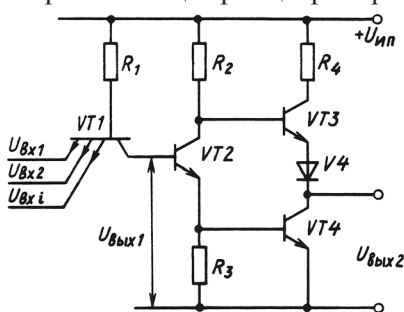
Логикалық элемент НЕМЕСЕ – ЕМЕС (10.20, 2 сур. қараңыз). Осы күрделірек элементте кірісте кем дегенде бір сигнал болған кезде ($X_1, X_2 = 1$) шығыстағы сигнал $Y = 0$, ал кіріс сигналдар болмаған кезде ($X_1, X_2 = 0$) шығыс сигнал $Y = 1$.

Қарастырылған мысалдардан бөлек логикалық элементтер кіріс сигналының деңгейін адыда сақтау (ЖАДЫ операциясы), бұғаттау (ТҮЙІМ САЛУ операциясы), электр аппараттарын қосуға және ажыратуға уақыт ұстау және басқа да операцияларды орындауы мүмкін. Логикалық элементтер әртүрлі болуы мүмкін.

Әдеттегі және интегралдық орындаудағы транзисторлық логикалық элементтер. Бұл элементтердің негізі жалпы эмиттермен схема бойынша жиналған, аса қарапайым бір каскадты күшейткіш (модуль) болып табылады (10.21 сур.). Схема келесі түрде жұмыс істейді. Бастапқы күйде, кіріс сигналы болмаған кезде ($X=0$), транзистор VT ығысудың оң кернеуімен жабылған $+C_m$ (транзистордың бөліну күйі) және күшейткіштің шығысында (кернеу жүктемесі RJ қуат көзі кернеуіне тең $-u_n$ ($Y=1$)). Кері полярлықтағы кіріс сигналы күшейткішінің кірісіне келіп түскен кезде, транзистор ашылады (қанығу режиміне ауысады) және оның шығысындағы кернеу нөлге жақын болады ($Y=0$). Мұндай транзисторлық күшейткіш ЕМЕС логикалық операциясын орындайды.

Логикалық элементтер «Логика И» сериясының құрамында шығарылады, оның негізі К 155 және К 511 сериялы интегралды микросхемалар болып табылады.

«Логика И» сериясының базалық элементі ЖӘНЕ – ЕМЕС функционалдық схемасы болып табылады, оның схемасы 10.22 суретінде көрсетілген. Оның негізі көпэмиттерлік транзистор VT1 және п-р-п типіндегі үш транзистор VT2, VT3, VT4 болып табылады. Егер схеманың барлық кірістеріне – транзистор эмиттерлері



10.22 сурет

VT1 – берілсе оң кіріс сигналдар $u_{\text{кір}} = 1$, онда ол ашық болады және оның шығысында кернеу $u_{\text{шығ1}} = 1$ болады. Егер транзистор кірістерінің бірінен VT1 сигнал алынып тасталса ($u_{\text{кір}} = 0$) немесе оған төмен оң потенциал берілсе, онда транзистор жабылады және оның шығысындағы кернеу $u_{\text{шығ1}} = 0$. Осылайша, транзистордағы кіріс каскад VT1 И операциясын, ал транзисторларындағы күшейткіш

VT2... VT4- сигналдың терістегілуін U_{bmx1} (ЕМЕС операциясын) жүзеге асырады және бірінші каскад жұмысының тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

«Логика И» сериясының құрамына, логикалықтан бөлек, келісу, уақыт және күшейткіштер элементтері кіреді.

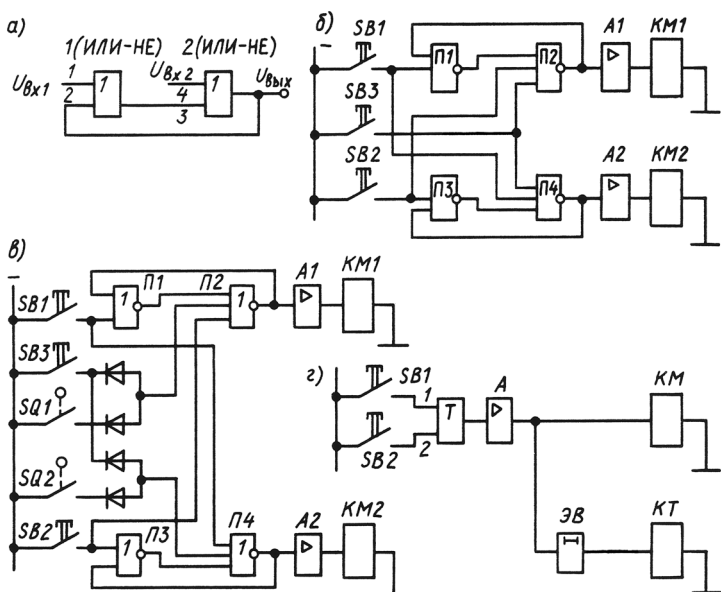
Келісу элементтері логикалық элементтердің ЭП-ні басқару схемаларының басқа аппараттарымен – пернелермен, ажыратқыштармен, релемен, датчиктермен және тағы басқалармен байланыс қызметін атқарады. Олардың негізі энергияны аз тұтынатын және басқару тізбектерінің гальваникалық айырылуын да қамтамасыз ететін, айтарлықтай жоғары тез әрекеттіліктегі, РПГ-6 сериялы миниатюрлі геркон релесі болып табылады.

Уақыт элементтері 0,01-ден 10 с дейінгі уақыт ұсталымын қамтамасыз етеді.

Күшейткіштер, тұтынатын қуаты бірнеше ондаған Вт-қа дейін жететін атқарушы механизмдердің логикалық элементтер сигналдары бойынша басқаруы үшін арналған. Олар мықты транзисторларда орындалады және олардың дискреттік шығысы болады.

Логикалық элементтерді қолдану мүмкіндіктерін кеңейту матрицалық типтегі әмбебап логикалық модульдер жиынтықтарын әзірлеумен және бағдарламаланатын түйістіргіштерді пайдаланумен жүзеге асырылады (11-тарауды қараңыз).

Басқару схемаларының көпшілігінде логикалық элементтерде «Жады» типтік түйіні қолданылады. Бұл түйін NEMECSE – EMEC екі элементінің бірігуінен түзіледі (10.23, а сур.) және былайша жұмыс істейді.



10.23 сурет

Мәселен, дискреттік сигналдың жоғары деңгейімен сипатталатын $U_{bx1} = 1$ ақпаратты жадыда сақтау және жадыдан осы ақпаратты «жою» мүмкіндігінің болуы талап етіледі делік. Жадыда сақталатын сигнал $U_{bx1} = 1$ бірінші элементтің НЕМЕСЕ – ЕМЕС 1 кірісіне беріледі. Бұл түйіннің элементтері ЕМЕС функциясын жүзеге асыратындықтан, бірінші элементтің шығысында сигнал болмайды, ал екіншісінің шығысында кернеу U_{bbix} пайда болады. Бұл сигнал кері байланыс тізбегі бойынша бірінші элементтің кірісіне 2 келіп түседі. Енді қосылу сигналын $U_{bx1} = 1$ кірістен 1 алып тастауға болады, ал түйін шығысындағы сигнал U_{bbix} қажет болғанынша ұзақ жұмыс істейтін болады.

Жадыдан жазылған ақпаратты «өшіру» үшін схеманың екінші элементінің кірісіне 4 сигнал $u_{kip2} = 1$ беру керек, ол, сигналды $u_{шығ}$ оның шығысынан алып тастайды және жады «тазартылатын» болады.

Логикалық элементтерде іске асырылған, қозғалтқышты басқарудың реверсивтік схемасының типтік түйінін қарастырайық (10.23, б сур. қараңыз). Онда «Жады» екі түйіні (П1...П4 элементтері, НЕМЕСЕ – ЕМЕС) және екі келістіруші күшейткіш А1 және А2 қолданылады, олардан, жылдамдығы «Алға» және «Артқа» шартты бағыттары кезінде қозғалтқыштың қосылуын қамтамасыз ететін, түйістіргіштердің катушкалары КМ1 және КМ2 қуат көзін алады.

Қозғалтқышты қосу «Алға» SB1 және «Артқа» SB2 пернелерімен жүзеге асырылады, оларға әсер ету жадының тиісті түйіндерімен жадыда сақталады. Бұл ретте SB1 және SB2 пернелері өзара бұғатталған, ал SB3 («Стоп») пернесін басу, сол сәтте қосылып тұрған түйістіргіштердің КМ1 және КМ2 кез келгенінің ажыратылуына әкеледі.

Екі қозғалтқышты ЭП-ні басқару жүйесі (10.23, в сур. қараңыз) логикалық элементтерде мынадай функцияларды атқарады: SB1 және SB2 пернелері арқылы қозғалтқыштарды М1 (түйістіргіш КМ1) және М2 (түйістіргіш КМ2) қосу; түпкілікті ажыратқыш іске қосылған кезде SQ1 қозғалтқышты М1 ажыратылуына және ажыратқыш SQ2 іске қосылған кезде, қозғалтқышты М2 ажырату; SB3 («Стоп») пернесімен қозғалтқышты ажырату; блокировку, екі қозғалтқыштың М1 және М2 бір мезгілде жұмыс істеуіне тыйым салатын бұғаттау.

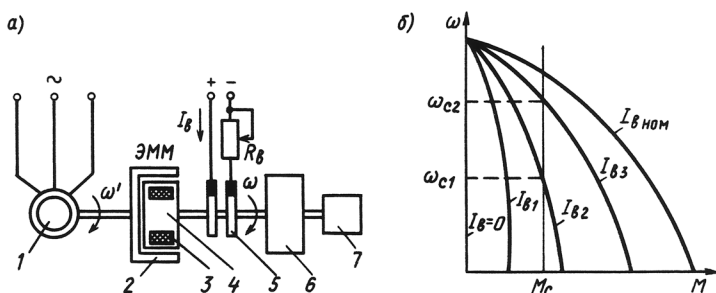
10.23, в сур. схемасы, көп жағынан 10.23, б суретінің схемасын қайталайды. Тыйым салу сигналдарын көбейту үшін онда, логикалық элементтер сериясының құрамына кіретін, НЕМЕСЕ диодтық элементтері қолданылады.

10.23, г суретінде, көмегімен уақыт принципі бойынша басқару іске асырылуы мүмкін типтік түйін келтірілген. Бұл схемада «Жады» түйіні бір элементпен көрсетілген, ал уақыт ұсталымының логикалық элементінің белгіленуі ЭВ. Түйін мына түрде жұмыс істейді. SB1 («Іске қосу») пернесін басқан кезде, күшейткіш А арқылы түйістіргіш КМ катушкасына қуат беріледі, ол қозғалтқышты қосады. Осымен бір мезгілде, сигнал ұстап қалу элементінің ЭВ кірісіне келіп түседі, ол, өзінің уақыт ұсталымын өлшегеннен кейін, релені КТ қосады. Бұл реле, өз кезегінде, басқару схемасындағы қажетті ажыратып-қосуларды жүргізеді, атап айтқанда іске қосу резисторының тұйықталуын тудырады.

10.6. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК МУФТАЛАР ЖӘНЕ ТЕЖЕГІШ ҚҰРЫЛҒЫЛАР

Бірқатар жұмыс машиналары электр жетегінің құрамына электромагниттік муфталар мен тежегіш құрылғылары кіреді.

Электромагниттік муфта – бұл қозғалтқыш айналысының тұрақты жылдамдығы кезінде атқарушы органның жылдамдығын реттеуге мүмкіндік беретін күштік электрмеханикалық құрылғы. Кейбір жағдайларда электромагниттік муфталар (ЭММ) атқарушы органға салынатын моментті реттеу үшін де пайдаланылады.



10.24 сурет

Электромагниттік муфта (10.24-сурет, а) бір-бірімен байланысты емес екі механикалық бөліктерден – жетекші және жетектегі бөліктерден тұрады. 2 зәкір деп аталатын және ферромагниттік материалдан жасалатын жетекші бөлік 1 қозғалтқыш білігімен жалғанады (суретте асинхронды қозғалтқыш көрсетілген). 4 индуктор деп аталатын жетектегі бөлік жетекші бөліктің ішінде орналасады және 6 редуктор арқылы (немесе тікелей) жұмыс машинасының 7 атқарушы органымен жалғанады. 4 индукторда 3 қоздыру орамы орналасады, ол 5 жанасу сакиналары арқылы корек көзіне қосылады. I_θ қоздыру тогі R_θ резисторының көмегімен реттелуі мүмкін, соның есебінен муфтаның жетектегі бөлігінің жылдамдығы, сонымен қатар 7 атқарушы органның да жылдамдығы өзгереді. 2 зәкір тұрақты ω' жылдамдығымен 1 қозғалтқыштан айналысқа келтіріледі деп санай отырып, жылдамдықты реттеу процесін толығырақ қарастырайық.

Егер 4 индуктордың тогі қоздыру тогімен айнала жүрмейтін болса, олар мен 2 зәкірдің арасында магниттік байланыс болмайды және 4 индуктор қозғалыссыз қалады ($\omega = 0$).

Қоздыру тогі 3 орамы бойынша өткен кезде зәкір мен индуктор арасындағы ауа қуысында магниттік өріс пайда болады, оның әсерінен 2 айналатын зәкірде қүйынды токтар айналатын болады. Бұл

токтардың магниттік өріспен өзара әрекеттестігі айналыс моментін туғызады да соның әсерінен индуктор сол бағытқа ω жылдамдығымен айнала бастайды. Электрмагниттік муфтаның әрекет ету қағидасы шомбал (тұтас) роторы бар асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету қағидасына көбірек ұқсайды.

Муфтаның I_6 токтың әртүрлі қозуы кезінде олар дамытатын M моментке индуктор ω жылдамдығының тәуелділігін білдіретін сипаттамаларынан (10.24, б суретті қараңыз) M_c жүктемесінің тұрақты моменті кезінде қозыру тогін I бастап I_{c3} дейін реттеу индуктордың жылдамдығын ω_{c1} бастап ω_{c2} дейін өзгертуге мүмкіндік береді.

Қатаң механикалық сипаттамаларды алу үшін қоздыру тогін басқарудың тұйықталған сұлбалары, мысалы жылдамдық бойынша кері байланыспен пайдаланылады.

Қарастырылған муфта бөліктері магниттік өріс арқылы байланысатын электрмагниттік муфталар тобына жатады. Сондай-ақ механикалық байланысатын муфталар да болады. Оларда жетекші бөліктен жетектегі бөлікке айналыс моментін беру олардың арасында электрмагниттің қалыпты қысымды магниттік өрісі пайда болуы есебінен механикалық үйкеліс немесе ілінісу арқылы жүзеге асырылады. ЭЖ-де гидравликалық муфталар (гидроберіліс) әлдеқайда сирек қолданылады.

Электрмагниттік муфталарды қолдану бірқатар жағдайларда жұмыс машиналары атқару органдарының қозғалыс жылдамдығын реттеуді және технологиялық процестерді автоматтандыруды оңайлатуға мүмкіндік береді.

Тежегіш құрылғылары. Бірқатар жұмыс машиналарымен механизмдер тежегіш құрылғыларымен жабдықталады, олар атқарушы органдардың берілген қалыпта тоқтатылуын, қозғалтқыш ажыратылғаннан кейін тежелу жолын шектеуді, сондай-ақ қозғалтқыш ажыратылғаннан кейін атқарушы органдардың берілген қалыпта ұсталуын (бкітілуін) қамтамасыз етеді. Мұндай жұмыс машиналарына бірінші кезекте көтергіш-көліктік механизмдер – крандар, лифтілер, көтергіштер, эскалаторлар және т.б. жатады.

Қолданыстағы тежегіш құрылғылар көптеген түрлерде жасалған. Олар: жетектің түрі бойынша – электрмагниттік, гидравликалық және пневматикалық; фрикциялық элементтерінің құрылымы бойынша – дискілік, конустық және цилиндрлік (олар әдетте қалыпты және таспалы болады); фрикциялық элементтерінің бастапқы жағдайы бойынша – қалыпты тұйықталмаған және қалыпты тұйықталғандар болып бөлінеді.

Көптеген ЭЖ-де электрмагниттік деп аталатын электрмагнитті жетегі бар тежегіштер қолданылады. Бұл тежегіштер тұрақты және айнымалы токтың тежегіштері болуы мүмкін; электрмагнит зәкірі

жүрісінің ұзындығына байланысты – ұзақ жүрісті және қысқа жүрісті; ЭЖ жұмыс циклінің уақытына байланысты қосылу ұзақтығы 15, 25, 40 және 60% болады. Қысқа жүрісті тежегіш фрикциялық элементтердің (колодкалар) жылжуына жақын немесе тең электрмагнит зәкірінің жүрісіне ие болады, ал электрмагниттік ұзақ жүрістітежегіш зәкірінің жүрісі бұл жылжудан бірнеше есе артық.

Электрмагниттік жетекті қалыпты тұйықталған қалыпты тежегіштің әрекет ету қағидасы төмендегідей. Электрмагнит қорек көзіне қосылмаған бастапқы (қалыпты) жағдайда оның колодкалары серіппенің көмегімен қозғалтқыштың білігінде арналасқан тежеуіш шкивке қабысады да оны тежейді. Қозғалтқышты қосқан кезде кернеу бір мезгілде электрмагниттің орамына да беріледі. Электрмагниттің зәкірі білікке тартыла отырып, тежегіш колодкаларын тежеуден босатады да қозғалтқыш айнала бастайды. Қозғалтқышты ажыратқан кезде электрмагнит қорегін жоғалтады да серіппе колодкаларды шкивке қайта қысып, ЭЖ тежелуі қамтамасыз етіледі. Электрмагниттің мұндай жұмысын қамтамасыз ету үшін оның орамы тікелей ТТҚ зәкіріне немесе АҚ статорына қосылады.

Тұрақты токтың ЭЖ-да қысқа жүрісті электрмагниттері бар ТКП сериясының тежегіштері қолданылады. Олар 500 Н·м дейінгі тежегіш моменттеріне арналып шығарылады, есептік жүрісі 1,2 мм бастап 4,5 мм дейін. ТКП 400-ТКП 800 серияларының тежегіштері 5 мм дейінгі жүріс кезінде 12 500 Н·м дейін тежегіш моменттеріне есептелген. Бұл тежегіштердің тозуға тұрақтылығы $5 \cdot 10^6$ циклді құрайды.

Тұрақты токтың ұзақ жүрісті тежегіштерінде 500 Н·м дейінгі тежегіш сәттерімен және колодкаларының жоғарғы жүрісі 4,5 мм дейін (зәкірдің 120 мм дейінгі жүрісі кезінде) КМП және ВМ сүлгілеріндегі электрмагниттер қолданылады. Ұзақ жүрісті электрмагниттердің тозуға тұрақтылығы шамамен $5 \cdot 10^6$ циклді құрайды.

Тұрақты ток тежегіштерінің қосылу уақыты 0,15-2,5 с, ал ажыратылуы 0,1-0,6 с құрайды. Үдетуді пайдаланған жағдайда олардың қосылу уақыты 0,1-1 с дейін қысқарады.

Айнымалы токтың ЭЖ үшін МО 100 және МО 200 үлгісіндегі қысқа жүрісті бір фазалы электрмагниттері бар ТКТ сериясының тежегіштері шығарылады. Олар 11 бастап 240 Н·м дейінгі тежегіш моменттеріне есептелген және тозуға тұрақтылығы $1,5 \cdot 10^6$ циклге дейін. Электрмагниттердің өзіндік қосылу уақыты шамамен 0,03 с, ажыратылу уақыты 0,02 с.

Айнымалы токтың КМТ сериялы ұзақ жүрістітежегіштері 450 бастап 4000 Н·м дейінгі тежегіш моменттеріне есептелген және 50-800 мм шегіндегі электрмагнит жүрісіне ие. Олардың қосылу уақыты 0,1-0,5 с, ал ажыратылу уақыты 0,15-0,16 с. Бұл тежегіштердің тозуға тұрақтылығы $(0,4 - 1) \cdot 10^6$ циклді құрайды.

Кейбір өндірістік механизмдердің ЭЖ-де бірінші кезекте крандық, айнымалы токтің тежегіштерінде тозуға тұрақтылығы жоғары, тежегіштің біркелкі жұмысын қамтамасыз ететін, токті аз тұтынуымен және жұмыстағы сенімділігімен сипатталатын электрогидравликалық итергіштер (ЭГИ) қолданылады.

ЭГИ құрамына айнымалы токтің шағын қуатты (0,4 кВт дейін) қозғалтқышы, ортадан тепкіш сорғы және поршені бар гидроцилиндр кіретін кешенді құрылғы түрінде болады. ЭГИ ішкі қуысы маймен толтырылады.

ЭГИ келесі түрде жұмыс істейді. Қозғалтқышқа кернеу берілген кезде ол сорғының қалақшасын айналдыра бастайды. Соңғысы поршень астында қысым туғызып, ол штокпен бірге жоғары қозғалуды бастайды және тежегіш колодкаларын тежеуден босатады. Ең жоғарғы қалыпта цилиндрдегі арналар ашылады, май ЭГИ төменгі бөлігіне сырғып ағады және қозғалыс тоқтатылады. ЭГИ штогының көтерілу және түсу уақыты әдетте 0,3-1,5 с құрайды.

ТКТГ сериясының ЭГИ-мен шығарылатын тежегіштері колодкалардың 1,2-1,8 мм жүрісі кезінде 100 бастап 12 500 Н·м дейінгі тежегіш моменттеріне есептелген. ЭГИ-мен шығарылатын тежегіштердің қызмет мерзімі $4 \cdot 10^6$ дейін циклдер кезінде 10 жылды құрайды.

Жеке құрылғылар түріндегі тежегіштерден басқа ЭЖ-де қозғалтқышпен бірыңғай құрылымдық модульді құрайтын, қозғалтқышқа орнатылатын тежегіштер де кеңінен қолданылады. Мұндай тежегіштер әдетте дискілік болып жасалады және тұрақты, айнымалы ток электромагниттерінен басқарылады.

Отандық тәжірибеде сондай-ақ ТМТ үлгілі айнымалы ток электромагниттерімен және ТДП үлгілі тұрақты ток электромагниттерімен көп дискілі тежегіштер қолданылады. Тежелу моменті оларда жылжымалы және жылжымайтын дискілерді бір-біріне қысатын орталық серіппемен қамтамасыз етіледі. Тежеуден босату әдеттегі тежегіштердегі сияқты қозғалтқышқа және жалпы тороидальдық магнит өткізгішінде айнала орналасқан бірнеше секциялардан тұратын электромагнит орамына кернеу берілген кезде жүзеге асырылады.

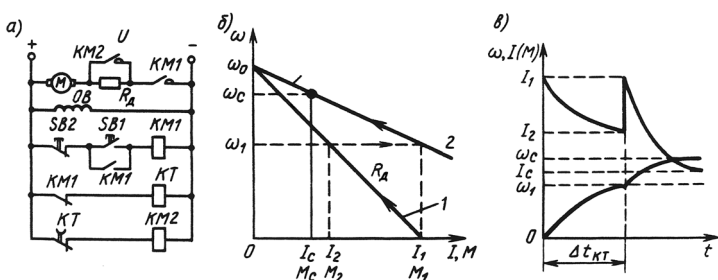
Орнатылған электромагниттік тежегіштері бар электр қозғалтқыштары 4А серияларының крандық-металлургиялық және басқа да бірқатар қозғалтқыштар құрамында шығарылады.

10.7. ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫ БАР ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРІН БАСҚАРУДЫҢ ТИПТІК ТОРАПТАРЫ МЕН СҰЛБАЛАРЫ

ТТҚ-да іске қосуды, реверсті және тежелуді басқару көптеген жағдайларда уақыт, жылдамдық (ЭЖК), ток немесе жүрілетін жол

функцияларымен жүзеге асырылады. Көрсетілген режимдер іске асырылатын бірқатар типтік схемаларды қарастырайық.

Уақыт функциясында тәуелсіз қозатын тұрақты ток қозғалтқышын іске қосудың типтік сұлбасы. Бұл сұлбаға (10.25-сурет, а) *SB1* (іске қосу) және *SB2* (тоқтату, стоп ТТҚ) басқару түймешіктері, қозғалтқыштың желіге қосылуын қамтамасыз ететін *KM1* желілік түйістіргіші, *R* іске қосу резисторын ажыратуға (қысқартуға) арналған *KM2* жылдамдату түйістіргіші кіреді. Сұлбада уақыт датчигі ретінде *KT* уақыттың электромагниттік релесі пайдаланылады. Сұлбаны қорек көзіне қосқан кезде ТТҚ қозуы жүргізіледі және *KT* релесі іске қосылып, *KM2* түйістіргіші шарғысы тізбегінде өз түйіспесін ажыратады және қозғалтқышты іске қосуға дайындайды.



10.25 сурет

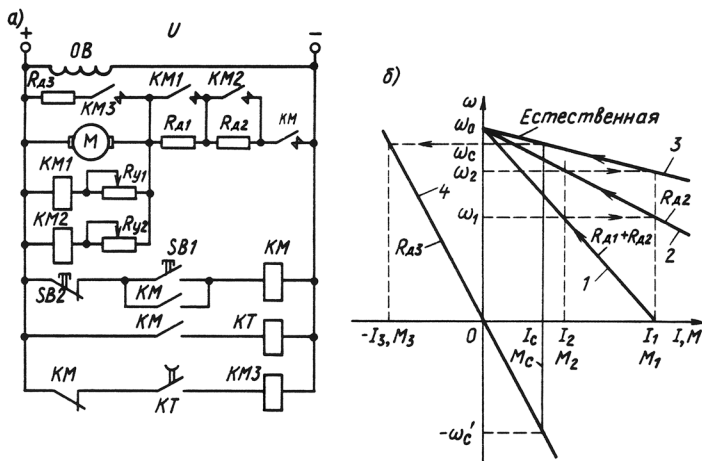
SB1 түймешегін басу кезінде *KM1* түйістіргіші қорек алады және өзінің бас түйіспесімен қозғалтқышты қорек көзіне қосады. Қозғалтқыш қосылу R_d резисторымен зәкір тізбегінде екпін ала бастайды. Бір мезгілде *KM1* түйістіргішінің блок-түйіспесін тұйықтайтын түйіспе *SB1* түймешегін ұштастырады және ол босатылуы мүмкін, ал ажыратушы *KM1* блок-контакт *KT* уақыт релесі шарғысының тізбегін ажыратады. Катушканы қоректендіру тоқтатылғаннан кейін уақыт релесі *KT* түйіспесін ажырататын, уақыттық кешігу деп аталатын $\Delta t_{кт}$ уақыт интервалы арқылы *KM2* түйістіргішінің шарғысы тізбегінде тұйықталады, соңғысы қосылады да зәкір тізбегінде R_d қосу резисторын бас түйіспемен тұйықтайды. Осылайша, қозғалтқышты іске қосу кезінде $\Delta t_{кт}$ уақыт ішінде 1 жасанды сипаттама бойынша жүреді, (10.25, б-суретті қараңыз), ал R_d резисторы ұштастырылғаннан кейін – 2 табиғи сипаттама бойынша жүреді. R_d резисторының кедергісі қозғалтқышты іске қосу сәтінде тізбекте I_1 тогі және тиісінше M_1 моменті жол берілетін деңгейден асып кетпейтіндей түрде таңдалады.

Іске қосу басталғаннан кейін $\Delta t_{кт}$ уақыт ішінде қозғалтқыштың айналу жылдамдығы (3 қисық) ω_1 мәніне жетеді, ал зәкір тізбегіндегі (4 қисық) I_2 деңгейіне дейін төмендейді (10.25-суретті қараңыз, в). R_d резисторын ұштастырғаннан кейін зәкір тізбегіндегі ток жол берілетін

деңгейден аспайтын I_1 мәніне дейін дереу ұлғаяды. Жылдамдықты, токті және уақыттағы моментті өзгерту экспонент бойынша жүргізіледі [(2.30) және (2.32) формулаларын қараңыз].

КТ уақыт релесінің бапталуын белгілейтін қозғалтқыш жылдамдығының нөлден ω_1 дейін өзгеру уақытын (2.33) бойынша есептеуге болады.

ЭҚК функциясында тұрақты ток қозғалтқышын екі сатыда іске қосудың және уақыт функциясында динамикалық тежелудің типтік сұлбасы. Бұл сұлбада (10.26-сурет, а) ЭҚК датчигі ретінде $KM1$ және $KM2$ жылдамдату түйістіргіштерінің шарғылары қосылған M қозғалтқышының зәкірі пайдаланылады. R_{y1} және R_{y2} реттегіш резисторларының көмегімен түйістіргіштер қозғалтқыштың белгілі жылдамдықтарында іске қосылуға бапталады.



10.26 сурет

Тежелуді жүзеге асыру үшін схемада $R_{д3}$ резисторы қарастырылған, оны қосу және ажырату $KM3$ тежеу түйістіргішімен жүзеге асырылады. Тежелу кезіндегі қажетті уақыттық кешігуді қамтамасыз ету үшін тұйықтауыш түйіспесі $KM2$ тежелу түйістіргіші шарғысының тізбегіне қосылған КТ электромагниттік уақыт релесі пайдаланылады.

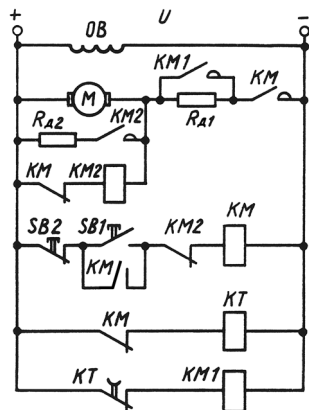
Сұлбаны қорек көзіне қосқаннан кейін ТТҚ қозуы жүргізіледі, бұл ретте сұлбаның барлық басқарушы аппараттары бастапқы қалпында қалады. ТТҚ іске қосу $SB1$ түймешегін басу арқылы жүзеге асырылады, бұл KM желілік түйістіргішінің іске қосылуына, қозғалтқыштың қорек көзіне қосылуына және 1 сипаттама бойынша $R_{д1} + R_{д2}$ зәкірі тізбегінде қосылған резисторларымен оның екпін алуының басталуына алып келеді (10.26, б-суретті қараңыз). Жылдамдықтың ұлғаюына қарай қозғалтқыштың ЭҚК өседі және сәйкесінше $KM1$ және

КМ2 түйістіргіштері шарғыларында кернеу де артады. ω_1 жылдамдығы кезінде *КМ1* түйістіргіші іске қосылады және өзінің түйіспесімен *R* іске қосу резисторының бірінші сатысын тұйықтайды, қозғалтқыш 2 сипаттама бойынша жұмыс істеуді бастайды. ω_2 жылдамдығы кезінде *КМ2* түйістіргіші іске қосылады және *R* іске қосу резисторының екінші сатысын тұйықтайды. Бұл ретте қозғалтқыш бтабиғи сипаттама бойынша жұмыс істеуге көшеді және қозғалтқыштың 3 табиғи сипаттамасының және $\omega(M_c)$ сипаттама жүктемесінің қиылысуымен анықталатын орнатылған режимінің нүктесінде екпін алуын аяқтайды.

Тежелу режиміне көшу үшін *SB2* түймешегін басу қажет. Бұл ретте төмендегілер жүргізіледі. *КМ* түйістіргішінің шарғысы қорегін жоғалтады, ТТҚ зәкір тізбегінде *КМ* тұйықтағыш күштік түйіспесі ажыратылады және соңғысы қорек көзінен ажыратылады. *КМ* ажыратқыш блок-түйіспесі *КМ3* тежегіш түйістіргіші шарғысы тізбегінде тұйықталады, соңғысы іске қосылып, ТТҚ-ны 4 сипаттама бойынша динамикалық тежелу режиміне ауыстыра отырып, өзінің бас түйіспесімен $R_{\Delta 3}$ резисторын *М* зәкіріне қосады (10.26, б-суретті қараңыз). *КТ* уақыт релесі тізбегінде *КМ* түйістіргішінің тұйықтағыш түйіспесі бір мезгілде алшақтайды, ол қорегін жоғалтып, уақыттық кешігуді есептеуді бастайды. ТТҚ жылдамдығын нөлге дейін төмендетуге сәйкес келетін уақыт интервалы арқылы уақыт релесі ажыратылып, өзінің түйіспесімен *КМ3* түйістіргішінің қорек тізбегін ажыратады. Бұл ретте $R_{\Delta 3}$ резисторы қозғалтқыштың *М* зәкірінен ажырайды, тежелу аяқталады және сұлба өзінің бастапқы күйіне қайтып оралады.

Уақыт функциясында тұрақты ток қозғалтқышын бір сатыда іске қосудың және ЭҚК функциясында динамикалық тежелудің типтік сұлбасы. (10.27-сурет). Іске қосу кезінде ТТҚ басқару бұл жағдайда 10.25-суретте келтірілген сұлбаға ұқсас түрде жүргізіледі. Қозғалтқышты қосқанда және оның қорек көзінен жұмысы кезінде *КМ2* тежегіш түйістіргіші тізбегіндегі *КМ* желілік түйістіргішінің ажыратқыш түйіспесі алшақталады, бұл қозғалтқышты тежелу режиміне ауыстыруды болдырмайды.

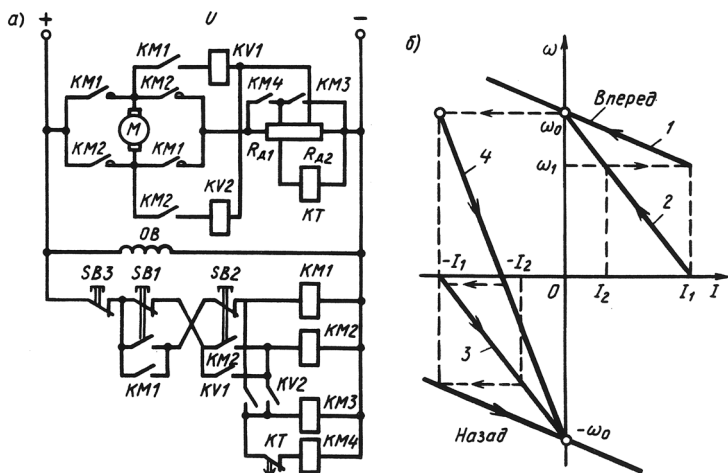
Тежелу *SB2* түймешегін басу арқылы жүзеге асырылады. Бұл ретте *КМ* түйістіргіші қорегін жоғалтады, қозғалтқышты қорек көзінен ажыратады және өзінің түйіспесімен *КМ2* түйістіргіші шарғысының қорек тізбегін тұйықтайды. Соңғысы зәкірде көзделген ЭҚК әсерінен іске қосылады және $R_{\Delta 2}$ тежелу резисторына қозғалтқыштың $M_{\Delta 2}$ зәкірін тұйықтайды. Динамикалық тежелу процесі ТТҚ жылдамдығы аз болған кезде оның



10.27 сурет

ЭҚК КМ2 түйістіргішінің босату кернеуінен аз болғанға дейін жүргізіледі ния происходит до тех пор, пока при нежәне сұлба бастапқы күйіне қайтып оралады.

Уақыт функциясында ТТҚ қосуды, ЭҚК функциясында реверсті және қосуға қарсылықпентежелуді басқару сұлбасы. Бұл сұлбада (10.28, а-сурет) қозғалтқыштың тиісінше алдыға және артқа айналуын қамтамасыз ететін екі желілік түйістіргіш КМ1 және КМ2 қарастырылған. Бұл аппараттардың бас түйіспелері реверсивтік көпір құрайды, оның көмегімен М зәкірінде кернеудің өрістілігін өзгертуге болады. Зәкір тізбегінде R қосу резисторымен қатар КМ3 қосуға қарсылық түйістіргішімен басқарылатын R қосуға қарсылық резисторы бар.



10.28 сурет

Қосуға қарсылықпен тежелу және реверс кезінде қозғалтқышты басқару екі қосуға қарсылық релесінің КV1 және КV2 көмегімен жүзеге асырылады. Олардың мақсаты қосуға қарсылық режимінде R қосу резисторына толықтыру ретінде зәкір тізбегіне R қосуға қарсылық резисторын енгізуді қамтамасыз ету болып табылады, бұған КV1 және КV2 релесі шарғыларын жалғау нүктесін таңдау арқылы қол жеткізуге болады.

Кез келген бағытта ТТҚ іске қосу уақыт функциясында бір сатыда жүзеге асырылады. Мысалы, SB1 түймесін басу кезінде КМ1 түйістіргіші іске қосылып, М зәкірін қорек көзіне қосады. Іске қосу тоғінің R_{д1} резисторында кернеудің төмендеуі салдарынан КМ4 түйістіргішінің тізбегінде өз түйіспесін ажырататын КТ уақыт релесі іске қосылады. КМ1 іске қосылуы КМ3 КV1 релесінің іске қосылуына алып келеді, ол өз кезегінде КМ3 қосуға қарсылық

түйістіргішінде өзінің түйіспесін, тұйықтап, оның қосылуына алып келеді, соның нәтижесінде $R_{д2}$ қосылуға қарсы резисторының, KT уақыт релесі шарғысының қысқа тұйықталуына себеп болады. Бұл ретте қозғалтқыш 2 сипаттама бойынша екпін алуын (10.28-суретті қараңыз, б), ал KT уақыт релесі уақыттық кешігуді есептеуді бастайды.

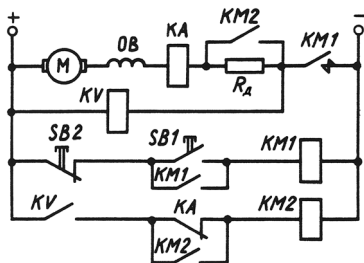
Талап етілетін уақыттық кешігу аяқталғаннан кейін KT релесі $KM4$ түйістіргіші шарғысының тізбегінде өз түйіспесін тұйықтайды, ол қосылғаннан кейін $R_{д1}$ қосу резисторын қысқа тұйықтап, қозғалтқыш 1 табиғи сипаттама бойынша жұмыс істеуін бастайды.

Тежелуді жүзеге асыру үшін $SB2$ түймешегін басу қажет, нәтижесінде $KM1$ түйістіргіші, $KV1$ релесі, $KM3$ және $KM4$ түйістіргіштері ажыратылады және $KM2$ түйістіргіші қосылады. Бұл ретте қозғалтқыштағы кернеу өзінің өрістілігін өзгертеді және $R_{д1}$ және $R_{д2}$ зәкірлері тізбегінде екі резистормен қосылуға қарсы тежелу режиміне ауысады. $KM2$ түйіспесінің тұйықталғанына қарамастан, тізбекте $KV2$ релесі қосылмайды (жоғарыда айтылған қосылу есебінен), сондықтан $KM3$ және $KM4$ аппараттарының қосылуына және $R_{д1}$ және $R_{д2}$ резисторларын ұштастыруға мүмкіндік бермейді.

ТТҚ-ны қосылуға қарсы режимге ауыстыру оның 1 табиғи сипаттамадан 4 жасанды сипаттамаға ауысуына сәйкес келеді (10.28-суретті қараңыз, б). Осы сипаттамада жылдамдықтың барлық диапазондарында $0 < \omega < \omega_0$ қозғалтқыш қосылуға қарсы режимде жұмыс істейді.

Қозғалтқыштың жылдамдығы төмендеуіне қарай $KV2$ релесі шарғысында кернеу ұлғаяды және нөлге жақын жылдамдық кезінде ол іске қосылу кернеуінің мәніне жетеді. Егер бұл сәтке $SB2$ түймешегі босатылған болса, онда $KM2$ түйістіргіші ажыратылады, сұлба бастапқы күйіне қайтып оралады, осымен тежелу процесі аяқталады. Егер аз жылдамдық кезінде $SB2$ түймешегі басулы күйінде қалса, $KV2$ релесі іске қосылады және қозғалтқышты іске қосу процесі енді қарама-қарсы бағытта қайталанады. Осылайша, ТТҚ реверстеу екі кезеңнен тұрады – қосылуға қарсылықпен тежелу және қарама-қарсы бағытта іске қосылу. Реверстің екінші кезеңі 10.28, б-суретте көрсетілгендей қозғалтқыш зәкіріндегі кернеудің кері өрістілігіне және зәкірде қосымша $R_{д1}$ резисторының болуына сәйкес қозғалтқыштың 4 сипаттамадан 3 сипаттамаға ауысуына, сәйкес келеді.

Ток функциясындағы біртіндеп козумен ТТҚ іске қосудың типтік сұлбасы. Бұл сұлбада (10.29-сурет) KA тогі релесінің шарғысы M зәкірінің тізбегіне, ал ажыратқыш түйіспе $KM2$ жылдамдату түйістіргіші



10.29 сурет

қорек тізбегіне қосылған. Токтің релесі оның іске қосу тогі I_2 тогіне сәйкес келетіндей түрде бапталады (см. рис. 10.25, б-суретті қараңыз). Сұлбада сонымен қатар іске қосылу уақыты KA релесінен жоғары қосымша бұғаттағыш KV релесі пайдаланылады.

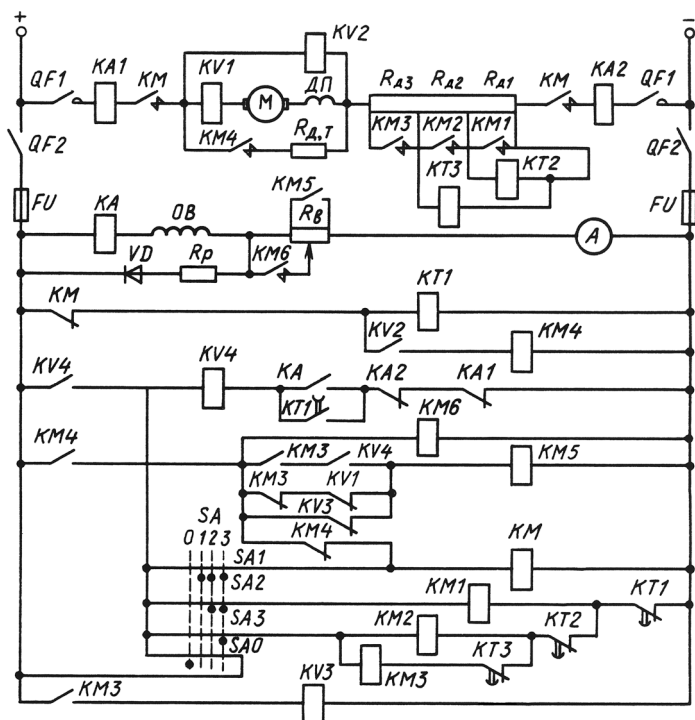
$SB1$ түймешегін басқан кезде $KM1$ түйістіргіші іске қосылады, қозғалтқыш қорек көзіне қосылып, екпін алуын бастайды. Зәкір тізбегінде токтың берілуі $KM1$ түйістіргіші бас түйіспесінің тұйықталуынан кейін $KM2$ түйістіргіші тізбегінде өзінің ажыратқыш түйіспесін ажырататын KA тогі релесінің іске қосылуын туғызады. Осыдан кейін біраз уақыттан кейін KV релесі іске қосылады және $KM2$ түйістіргіші тізбегінде өзінің ажыратқыш түйіспесін тұйықтайды және оны қосуға дайындайды.

Қозғалтқыштың екпін алуына қарай зәкірдің тогі I_2 ауысу тогінің мәніне дейін төмендейді, бұл ретте ток релесі ажыратылып, $KM2$ түйістіргіші тізбегінде өзінің ажыратқыш түйіспесін тұйықтайды. Соңғысы іске қосылады, оның бас түйіспесі зәкір тізбегінде R_d резисторын қысқа тұйықтайды, ал көмекші түйіспе KA ток релесінің түйіспесін ұштастырады. Сондықтан R_d резисторын қысқа тұйықтағаннан кейін KA ток релесін екінші рет қосу $KM2$ түйістіргішінің ажыратылуын туғызбайды, қозғалтқыш өзінің табиғи сипаттамасы бойынша екпін алуын жалғастырады.

ЭЖ басқарудың типтік релелік-түйістіргіштік сұлбаларына бұғаттама, қорғаныс, дабыл элементтері, сондай-ақ технологиялық жабдықпен байланыс элементтері кіреді. Сұлбалық шешімдерді бірегейлендіру үшін электртехникалық өнеркәсіпте жұмыстық машиналар мен механизмдердің ЭЖ түрлері, олардың функциялық мүмкіндіктері, пайдалану шарттары, токтың түрі және т.б. бойынша мамандандырылған стандарттық станциялар, басқару блоктары мен панельдері шығарылады. Крандық механизмдерді басқару үшін түрлі крандық панельдер шығарылады, лифтілер үшін типтік басқару шкафтары әзірленген, ЭЖ конвейерлер үшін типтік басқару станциялары және т.б. шығарылады. Мысал ретінде осындай типтік құрылғылардың бірінің сұлбасын қарастырайық.

Магнит ағымын босаңсыту арқылы қозғалтқышты қосуды, динамикалық тежеуді және жылдамдығын реттеуді қамтамасыз ететін басқару сұлбасы. ТТҚ қосу уақыт функциясында үш сатыда, тежелу ЭҚК функциясында жүзеге асырылады. Бұл сұлбадағы басқару органы SA пәрмен бақылаушысы болып табылады, оның тұтқасының төрт жағдайы бар – біреуі нөлдік (бастапқы) және үш жұмыстық (10.30-сурет).

Қосу алдында пәрмен бақылаушысынөлдік жағдайға келтіріледі, осыдан кейін $QF1$ және $QF2$ автоматтық ажыратқыштар қосылады және схема қорек көзіне қосылады. ОВ қозу орамы бойынша қозу тогі жүре бастайды, сонымен қатар, $KT1$ уақыт релесі іске қосылып,



10.30 сурет

KV4 кернеуді бақылау релесі тізбегінде өзінің түйіспесімен *KA* қозу орамы тізбегінің бөлу релесі түйіспесін ұштастырады. Егер бұл ретте *KA1* және *KA2* жоғарғы ток релесі қалыпты (қосылмаған) күйде болса, *KV4* релесі іске қосылады және өзінің тұйықтағыш түйіспесі арқылы басқару сұлбасы қоректендірілуін дайындайды. Егер жұмыс процесінде қозғалтқыштың қорек кернеуінің немесе қозу тогінің жол берілмейтін төмендеуі орын алса, немесе зәкірдегі ток жол берілетін деңгейден асып кетсе, *KV4* релесі ажыратылады, басқару сұлбасы қоректен айырылады және ТТҚ желіден ажыратылады. Осылайша, *KV4* релесі үш қорғаныстың орындаушы элементі рөлін атқарады.

Қозғалтқыштың жоғарғы жылдамдыққа дейін екпін алуын қамтамасыз ету үшін *SA* пәрменді бақылаушының тұтқасын шеткі үшінші жағдайға ауыстыру қажет. Бұл *KM* түйістіргішінің іске қосылуына және *M* зәкірінің қорек көзіне қосылуына алып келеді, осыдан кейін ол өзінің екпін алуын зәкір желісінде қосу резисторының толық кедергісімен бастайды. *KT1* уақыт релесі *KM* түйіспесінің ажырауы салдарынан қорегін жоғалтып, бірінші сатыдағы жұмыстың уақыттық кешігуін санауды бастайды, ал *KT2*

және $КТЗ$ уақыт релесі R және $R_{д2}$ резисторларында кернеудің түсуінен іске қосылып, $КМ2^{д1}$ және $КМ3$ жылдамдату түйістіргіштері тізбектерінде өз түйіспелерін ажыратады. Осымен бір мезгілде $КМ6$ «экономикалық» түйістіргіші және $КМ5$ қозуды басқару түйістіргіші қосылады, нәтижесінде $R_{в}$ резисторы ұштастырылады және ТТҚ іске қосу толық магнит ағымында жүргізіледі.

Белгілі уақыттан кейін $КТ1$ ажыратқыш түйіспесі тұйықталады, $КМ1$ түйістіргіші қосылады, $R_{д1}$ қосу резисторының бірінші сатысын және бір мезгілде $КТ2$ уақыт релесі шарғысын ұштастырады. Соңғысы өзінің уақыттық кешігуі аяқталғаннан кейін $КМ2$ түйістіргіші қосады және $R_{д2}$ қосу резисторының екінші сатысын және $КТ3$ релесі шарғысын ұштастырады. Бұл реле өзінің уақыттық кешігуі аяқталғаннан кейін, $КМ3$ түйістіргішінің қосылуын және қосу резисторының соңғы сатысының ұштастырылуын туғызады, осыдан кейін ТТҚ өзінің табиғи сипаттамасына шығады.

Қосу резисторының үшінші сатысы ұштастырылғаннан кейін магнит ағымының бәсеңдеуі басталады, ол үшін $КМ3$ түйістіргіші қосылғаннан кейін $КВ3$ релесі қосылып дайындық жүргізіледі. Қозу тогінің бәсеңдеуі процесінде $КВ1$ басқару релесі көмегімен зәкірдің тогін бақылау жүргізіледі. Токтің жүру кезінде $КВ1$ релесі $КМ5$ түйістіргішінің ажыратылуын немесе қосылуын қамтамасыз етеді, бұл ретте зәкір тізбегіндегі ток жол берілетін шектен шығып кетпеуі үшін қозу тогін күшейтеді немесе бәсеңдетеді. $КМ5$ т түйіспесін тұйықтаған кезде қозу тогінің бөлігі VD диоды және $R_{р}$ разрядтық резисторы арқылы тұйықталады.

Қозғалтқыштың тежелуі SA пәрменді бақылағыштың тұтқасын нөлдік жағдайға ауыстырумен жүзеге асырылады, бұл $КМ$ түйістіргішінің ажыратылуына және M зәкірінің қорек көзінен ажыратылуына алып келеді. Қозғалтқышты қосу процесінде $КВ2$ динамикалық тежелу релесі қосылатындықтан, $КМ4$ тежелу түйістіргіші тізбегінде $КМ$ ажыратқыш түйіспесінің тұйықталуы оның қосылуына себеп болады. $R_{дт}$ резисторы қозғалтқыштың M зәкіріне қосылады, аталған зәкір динамикалық тежелу режиміне ауысады. ТТҚ аз жылдамдығы кезінде оның ЭҚК $КВ2$ релесінің босату (ұстап тұру) кернеуінен төмен болғанда ол ажырайды, $КМ4$ түйістіргішін ажыратады және тежелу процесі аяқталады. Динамикалық тежелу толық магнит ағымында жүргізілетінін атап өткен жөн.

Қозғалтқыштың жылдамдығын төмендету үшін SA пәрменді бақылағыштың тұтқасын 1 немесе 2 жағдайына ауыстыру қажет. Бұл ретте 1 жағдайында қозғалтқыш $R_{д2}$ және $R_{д3}$ резисторлары зәкірі тізбегінде болуына сәйкес жасанды сипаттама бойынша, 2 жағдайда $R_{д3}$ резисторының болуына негізделген сипаттама бойынша жұмыс істейді.

10.8. АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫ БАР ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРІН БАСҚАРУДЫҢ ТИПТІК ТОРАПТАРЫ ЖӘНЕ СҰЛБАЛАРЫ

АҚ релелік-түйістіргіштік басқарудың типтік сұлбалары ТТҚ сұлбалары сияқты қағидалар бойынша құрылады.

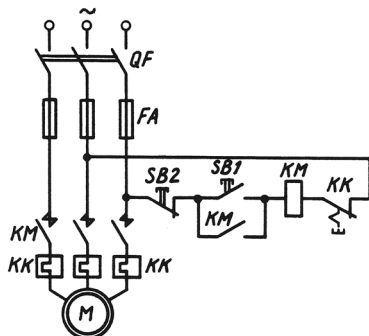
Қысқа тұйықталған роторы бар асинхрондық қозғалтқышты басқарудың типтік сұлбалары. Бұл типтегі шағын және орташа қуатты қозғалтқыштар іске қосу токтерінің шектелуінсіз желіге тікелей қосылу арқылы іске қосылады. Мұндай жағдайларда олар бір мезгілде оларды қорғаудың кейбір түрлерін қамтамасыз ететін магниттік қосқыштар көмегімен басқарылады.

Магниттік қосқышты пайдаланып *асинхрондық қозғалтқышты басқару сұлбасы* (10.31-сурет) *КМ* түйістіргішінен және оған орнатылған екі *КК* жылулық қорғаныс релесінен тұрады. Мұндай сұлба *АҚ* тікелей қосуды (ток пен моментті шектемей), оны желіден ажыратуды, сондай-ақ қысқа тұйықталудан қорғауды (*FA* сақтандырғыштары) және қайта жүктеуді (*КК* жылу релесі) қамтамасыз етеді.

Қозғалтқышты қосу үшін *QF* ажыратқышы тұйықталады, *SB1* қосу түймесі басылады. Бұл ретте *КМ* түйістіргішінің шарғысы қорек алады, ол қосылғаннан кейін статор тізбегінде өзінің бас күштік түйіспелерімен қозғалтқышты қорек көзіне қосады, ал көмекші түйіспемен *SB1* түймешегін ұштастырады. Асинхрондық қозғалтқыштың табиғи сипаттамасы бойынша екпін алуы жүргізіледі. *SB2* тоқтату түймешегін басу кезінде *КМ* түйіспесі қорегін жоғалтады және *АҚ*-ны желіден ажыратады. Білігіне түсетін жүктеме моментінің әсерінен асинхрондық қозғалтқыштың тежелу процесі басталады.

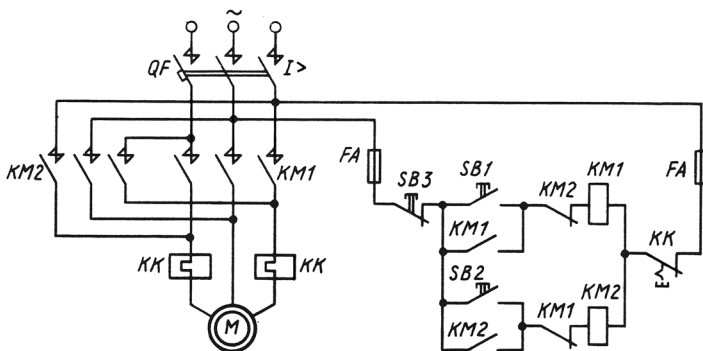
Асинхрондық қозғалтқышты басқарудың реверсивтік сұлбасы. Бұл сұлбаның негізгі элементі құрамына *КМ1* және *КМ2* желілік түйіспелері, *КК* екі жылулық қорғаныс релесі кіретін реверсивтік магниттік қосқыш болып табылады (10.32-сурет). Мұндай сұлба тікелей қосуды және асинхрондық қозғалтқыштың реверсін, сондай-ақ қолмен басқару (автоматтық емес) кезінде қосуға қарсылықпен *АҚ* тежелуін қамтамасыз етеді.

Бұл сұлбада *АҚ* артық жүктемесінен (*КК* релесі) және статор тізбегі (*QF* автоматтық ажыратқыш) мен басқаруда қысқа тұйықталудан



10.31 сурет

қорғау (FA сақтандырғыштары) қарастырылған. Сонымен қатар, онда желі кернеуінің ($KM1$ және $KM2$ түйістіргіштері) жоғалып кетуінен (төмендеуінен) нөлдік қорғаныс та қамтамасыз етіледі.



10.32 сурет

“Алға” немесе “Артқа” шартты бағыттарында қозғалтқышты қосу тиісінше $SB1$ немесе $SB2$ түймешіктерін басу арқылы жүзеге асырылады, бұл $KM1$ немесе $KM2$ түйістіргіштерінің іске қосылуына және АҚ-ның желіге қосылуына алып келеді (QF автоматтық ажыратқышы қосылған кезде).

Реверсті немесе қозғалтқыштың тежелуін қамтамасыз ету үшін бірінші $SB3$ түймешегі басылады, бұл осыған дейін қосылып тұрған түйістіргіштің ажыратылуына алып келеді (мысалы, $KM1$), осыдан кейін $SB2$ түймешегі басылады, $KM2$ түйістіргішінің қосылуына және фазаларды алмастырумен АҚ-ға қорек кернеуінің берілуіне себепші болады. Бұдан кейін қозғалтқыштың магниттік өрісі өзінің айналу бағытын өзгертеді және екі кезеңнен – қосуға қарсылықпен тежелуден және қарама-қарсы бағытқа екпін алудан тұратын реверс процесі басталады.

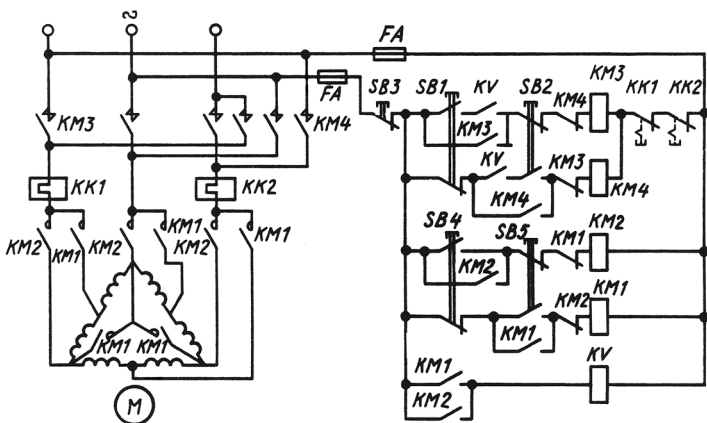
Қозғалтқышты тек тежеу қажеттілігі ғана болған жағдайда нөлдік жылдамдыққа жеткен кезде $SB3$ түймешегін қайта басу керек, бұл оны желіден ажыратуға және сұлбаны бастапқы қалпына қайтаруға алып келеді. Егер $SB3$ түймешегін баспаған жағдайда, АҚ-ның басқа жаққа екпін алуы яғни, оның реверсі орын алады.

$SB1$ және $SB2$ түймешектерін бір мезгілде қателесіп басу нәтижесінде статор тізбегінде қысқа тұйықталуды болдырмау үшін реверсивтік магниттік қосқыштарда кей жағдайда арнайы механикалық бұғаттау қарастырылады. Ол екі түйістіргіштің бір мезгілде қосылуын қолдырмайтын рычагты жүйе түрінде болады. Механикалыққа қосымша мұндай схемада реверсивтік басқару сұлбаларында қолданылатын типтік электрлік бұғаттау

пайдаланылады, ол *KM1* аппаратының ажыратқыш түйіспелерін айқаспалы *KM2* аппаратының шарғы тізбегіне және керісінше қосуға негізделген.

ЭЖ жұмысының сенімділігін және оны пайдалану қолайлылығын жоғарылатуға басқару сұлбасында *QF* автоматтық әуе ажыратқышын қолдану оң ықпал ететінін айта кеткен жөн, ол бір фазаның үзілуі кезінде және бір фазалы қысқа тұйықталу кезінде жетектің жұмыс істеу мүмкіндігін болдырмайды, ал сақтандырғыштарды пайдалану кезінде мұндай жағдай орын алуы мүмкін.

Екі жылдамдықты асинхрондық қозғалтқышты басқару сұлбасы (10.33-сурет) статор орамы секцияларын (жартылай орам) үшбұрышқа немесе қос жұлдызға жалғау және реверстеу арқылы оның екі жылдамдығын алуды қамтамасыз етеді. Бұл жағдайда ЭЖ қорғау *KK1* және *KK2* жылу релесімен және *FA* сақтандырғыштарымен жүзеге асырылады.



10.33 сурет

АҚ қосуды және оның аз жылдамдықпен айналуын қамтамасыз ету үшін *SB4* түймешегін басу қажет, осыдан кейін *KM2* түйістіргіші және *KV* бұғаттау релесі іске қосылады. Бұл ретте қозғалтқыштың статоры үшбұрыш сұлбасы бойынша қосылады, ал *KV* релесі *KM3* және *KM4* аппараттары шарғыларының тізбектерінде өз түйіспелерін тұйықтап, оны корек көзіне қосуға дайындайды. *SB1* немесе *SB2* түймешектерін басу тиісінше қосу бағытын алдыға немесе артқа белгілейді.

Қозғалтқыштың жоғарғы жылдамдыққа дейін екпін алуы *SB5* түймешегін басу кезінде жүзеге асырылады, ол *KM2* түйістіргішін ажыратады және *KM1* түйістіргішін қосады, яғни статор орамы секцияларының үшбұрыш сұлбасынан қос жұлдыз сұлбасына ауысуын қамтамасыз етеді.

Аталған схемада екі тізбекті басқару түймелерін қолдану *КМ1* және *КМ2*, *КМ3* және *КМ4* түйістіргіштерінің бір мезгілде қосылуына жол бермейді. *КМ1* және *КМ2*, *КМ3* және *КМ4* түйістіргіштерінің ажыратқыш блок-түйіспелерін олардың шарғылары тізбегінде айқастыра қосу осындай мақсатқа қызмет атқарады.

The schematic diagram illustrates a motor control system with the following components and connections:

- Power Supply:** A three-phase AC supply is connected to the system.
- Forward Running Circuit:**
 - Includes a forward stop button $SB1$ (normally closed) and a forward start button $SB2$ (normally open).
 - The forward start button $SB2$ is interlocked with the reverse running circuit via a normally closed contact of the reverse contactor $KM2$.
 - The forward running circuit includes a forward thermal relay $KR1$ and a forward contactor $KM1$.
- Reverse Running Circuit:**
 - Includes a reverse stop button $SB3$ (normally closed) and a reverse start button $SB4$ (normally open).
 - The reverse start button $SB4$ is interlocked with the forward running circuit via a normally closed contact of the forward contactor $KM1$.
 - The reverse running circuit includes a reverse thermal relay $KR2$ and a reverse contactor $KM2$.
- Zero-Voltage Protection:**
 - Implemented using a zero-voltage relay KM (labeled as KM in the diagram) that monitors the supply voltage.
 - The relay is connected to the main power lines and the motor winding.
- Thermal Protection:**
 - Implemented using a thermal relay R_T (labeled as R_T in the diagram) that monitors the motor's temperature.
 - The relay is connected to the motor winding and the thermal relays $KR1$ and $KR2$.
- Motor:** A three-phase motor M is connected to the system.

АҚ-ны тоқтау үшін $SB3$ түймешегін басу қажет. KM түйістіргіші ажырағанда статор тізбегінде өз түйіспелерін ажыратып, қозғалтқышты айнымалы ток желісінен ажыратады. Осымен бір мезгілде $KM1$ аппараты тізбегінде KM түйіспесі тұйықталады және KT релесі тізбегінде KM түйіспесі ажырайды, бұл $KM1$ тежелу түйістіргішінің қосылуына, статор орамына R_t резисторы арқылы V түзеткішінен тұрақты токтің берілуіне және қозғалтқышты динамикалық тежелу режиміне ауыстыруға алып келеді. KT уақыт релесі қорегін жоғалтып, уақыттық кешігуді санауды бастайды.

272

өз түйіспелерін ажыратады, ол ажыратылады және статор тізбегіне тұрақты токтың берілуін тоқтатады. Сұлба бастапқы қалпына қайта оралады.

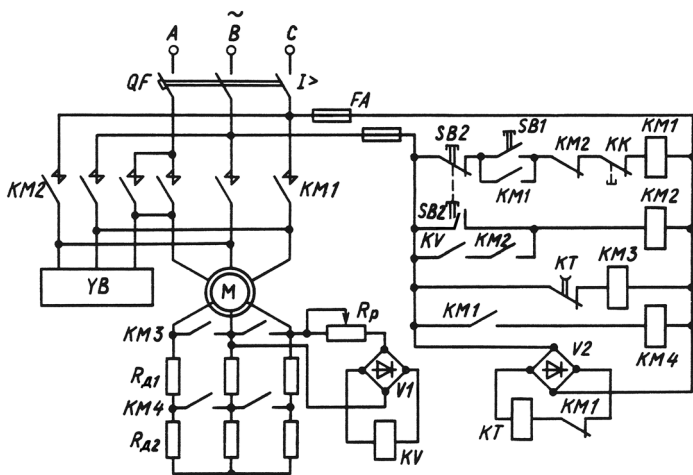
Динамикалық тежелудің қарқындылығы R_t резисторымен реттеледі, оның көмегімен қозғалтқыш статорында қажетті тұрақты ток белгіленеді.

Статордың айнаымалы және тұрақты ток көздеріне бір мезгілде қосылу мүмкіндігін болдырмау үшін аталған сұлбада осы аппараттардың шарғылары тізбегінде айқаса қосылған KM және $KM1$ ажыратқыш түйіспелерінің көмегімен типтік бұғаттау пайдаланылады.

Фазалық роторлы асинхрондық қозғалтқыштарды басқарудың негізінен орта және үлкен қуатқа есептелген типтік сұлбалары іске қосу, реверс және тежеу кезінде ротор тізбегінде қосымша резисторларының көмегімен токты шектеуді ескеруі тиіс. Кейбір жағдайларда резисторлар ротор тізбегіне қозғалтқыштың іске қосу моментін ұлғайту мақсатында енгізіледі.

Асинхронды қозғалтқыштың уақыт функциясында бір сатыда іске қосылу және ЭҚК функциясында қосуға қарсылықпен тежелу сұлбасы (10.35-сурет) келесі түрде жұмыс істейді. Кернеу берілгеннен кейін KT уақыт релесінің қосылуы орын алады, ол өзінің ажыратқыш түйіспесімен $KM3$ түйістіргіші қорек тізбегін үзеді, сол арқылы оның қосылуын және ротор тізбегінде қосу резисторларының уақытынан бұрын қысқа тұйықталуын болдырмайды.

$SB1$ түймешегін басу кезінде $KM1$ түйістіргіші қосылады, статор желіге жалғанады, YB электромагниттік тежегіші тежеуден босатылады



10.35 сурет

және қозғалтқыштың екпін алуы басталады. $KM1$ түйістіргішін қосу бір мезгілде $KM4$ түйістіргішінің іске қосылуына алып келеді, ол өзінің түйіспелерімен қосу кезінде қажет емес $R_{д2}$ қосуға қарсылық резисторын ұштастырады, сондай-ақ КТ уақыт релесішарғысы тізбегін үзеді. Соңғысы қорегін жоғалтып, уақыттық кешігуді санауды бастайды, осыдан кейін $KM3$ түйістіргіші шарғысы тізбегінде өзінің түйіспесін тұйықтайды, ол іске қосылып, ротор тізбегінде $R_{д1}$ қосу резисторын ұштастырады және АҚ өзінің табиғи сипаттамасына шығады.

Схемада тежелуді басқаруды ротордың ЭҚК деңгейін (жылдамдықты) бақылайтын KV тежелу релесі қамтамасыз етеді. R_p резисторының көмегімен ол іске қосу кезінде ($0 < s < 1$) роторда көзделген ЭҚК қосу үшін үшін жеткіліксіз болатындай, ал қосылуға қарсы режимде ($1 < s < 2$) жеткілікті болатындай түрде реттеледі.

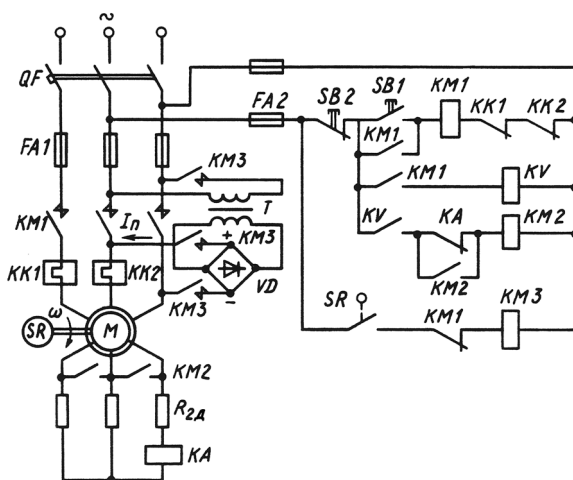
Қозғалтқышты тежеуді жүзеге асыру үшін $SB2$ қосарлы түймешегін басу қажет, оның ажыратқыш түйіспесі $KM1$ түйістіргіші шарғысының қорек тізбегін үзеді, АҚ-ны желіден ажыратады, бұл ретте $KM4$ түйістіргішінің қорек тізбегі үзіледі және KT релесінің қорек тізбегі тұйықталады, яғни $KM3$ және $KM4$ түйістіргіштері ажыратылады, ал АҚ роторы тізбегіне $R_{д1}$ және $R_{д2}$ кедергісі енгізіледі.

$SB2$ түймешегін басу бір мезгілде $KM2$ түйістіргіші шарғысының қорек тізбегін тұйықтауға алып келеді, ол қосылып, қозғалтқышты статордағы желілік кернеудің фазаларын басқа кезектестіру арқылы желіге қайта қосады, яғни АҚ қосуға қарсылықпен тежелу режиміне көшеді. Бұл ретте KV релесі іске қосылады және $SB2$ түймешегі жіберілгеннен кейін өзінің және оның тұйықтағыш түйіспелері арқылы $KM2$ түйістіргішінің қорегін қамтамасыз етеді.

Тежелудің соңында жылдамдық нөлге жақындағанда және ротордың ЭҚК төмендегенде KV релесі ажырайды және өзінің ажыратқыш түйіспесімен $KM2$ түйістіргіші шарғысының қорек тізбегін үзеді. Соңғысы қорегін жоғалтып, қозғалтқышты желіден ажыратады және сұлба бастапқы қалпына келеді. Бұл ретте YB тежегіші қорегін жоғалтып, АҚ білігінің бекітілуін (тежелуін) қамтамасыз етеді.

Асинхронды қозғалтқыштың ток функциясында бір сатыда іске қосылу және жылдамдық функциясында динамикалық тежелу сұлбасына (10.36-сурет) $KM1$, $KM2$ және $KM3$ түйістіргіштері, KA ток релесі, SR жылдамдықты бақылау релесі, KV аралық релесі, динамикалық тежелуге арналған T төмендеткіш трансформаторы, VD түзеткіші кіреді. Жоғарғы ток қорғанысы $FA1$ және $FA2$ сақтандырғыштарымен, ал артық жүктемеден қорғаныс $KK1$ және $KK2$ жылу релелері арқылы жүзеге асырылады.

Сұлба төмендегі түрде жұмыс істейді. QF автоматтық ажыратқышының көмегімен қозғалтқышты қосу үшін кернеу берілгеннен кейін $SB1$ түймешегі басылады, яғни $KM1$ түйістіргіші қосылады, оның күштік түйіспелерімен қозғалтқыш желіге қосылады.



10.36 сурет

Ротор тізбегінде токтың берілуі КА ток релесінің қосылуын және $KM2$ жылдамдатқыш түйістіргіші тізбегінің ажырауын туғызады, яғни қозғалтқыштың екпін алуы ротор тізбегінде R_{2d} қосқышрезисторымен басталады.

KM1 түйістіргішінің қосу *SBI* түймесінің ұштастырылуына, *KM3* тяжелу түйістіргіші шарғысы тізбегінің ажырауын және *KV* кернеудің аралық релесінің қосылуын туғызады, бұл *KM2* түйістіргішінің қосылуын туғызбайды, себебі бұған дейін аталған тізбекте *KA* релесінің түйіспесі ажыратылған болатын.

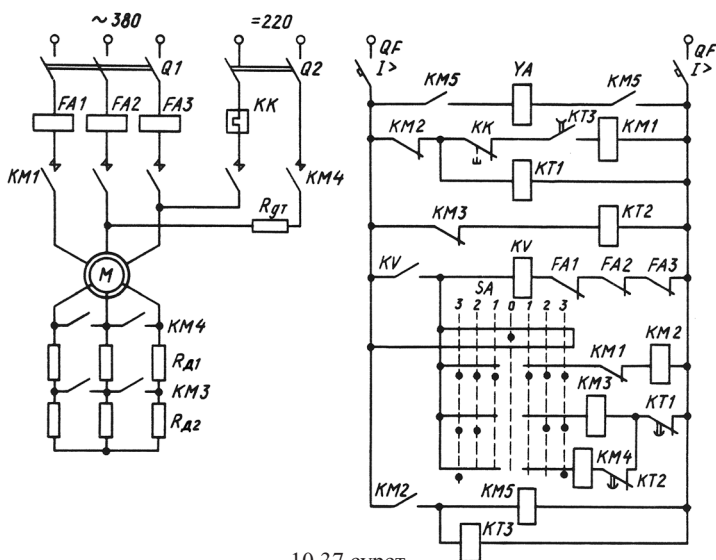
Қозғалтқыштың жылдамдығы артуына қарай ЭҚК және ротордағы ток төмендейді. Ротордағы токтың мәні КА босату релесінің тогіне тең болған жағдайда ол ажырайды және өзінің ажыратқыш түйіспесімен *КМ2* түйістіргіші корек тізбегін үзеді, ол қосылғаннан кейін $R_{2д}$ қосқыш резисторын ұштастырады, осыдан кейін АҚ өзінің табиғи сипаттамасына шығады. Қозғалтқыштың айналысы *КМ3* түйістіргіші тізбегінде *SR* жылдамдық релесі түйіспесінің тұйықталуын туғызады, алайда бұған дейін оның тізбегінде *КМ1* түйістіргішінің түйіспесі ажыратылғандықтан, ол іске қосылмайды.

Қозғалтқышты тежелу режиміне ауыстыру үшін SB2 түймешегін басу қажет. Бұл ретте $KM1$ түйістіргіші қорегін жоғалтады және қозғалтқышты айнымалы ток желісінен ажыратады. $KM1$ түйістіргішінің түйіспелері тұйықталғаннан кейін $KM3$ тежелу түйістіргіші қосылады, ол T трансформаторына қосылған VD түзеткішінен статор орамы қорегі тізбегін тұйықтай отырып, АҚ-ны динамикалық тежелу режиміне ауыстырады. Бір мезгілде KV және KM2 аппараттары қорегін жоғалтады, бұл R_{2d} резисторын ротор тізбегіне енгізуді қамтамасыз етеді және қозғалтқыш тежелу бастайды.

Қозғалтқыштың нөлге жақын жылдамдығы кезінде *SR* жылдамдықты бақылау релесі *KM3* түйістіргіші шарғысының қорек тізбегіндегі өзінің түйіспесін ажыратады, ол ажырап, тежелуін тоқтатады. Сұлба бастапқы қалпына қайтып оралады және одан әрі жұмыс істеуге дайын болады.

Егер *KA* ток релесі шарғысын ротордың емес статордың фазасына қосса сұлбаның әрекет ету қағидаты өзгермейді.

ПДУ6220 типті панель (10.37-сурет) фазалық және қысқа тұйықталған роторлы АҚ басқару панельдерінің жүйеленген құрамына кіреді және оларды екі сатыда іске қосуды және уақыт функциясында динамикалық тежелуді қамтамасыз етеді.



10.37 сурет

Сұлбаға *Q1*, *Q2* ажыратқыштарымен және *QF* автоматымен 220 В тұрақты ток кернеуін және 380 В айнымалы ток кернеуін беру кезінде *KT1* уақыт релесі қосылады да ротор тізбегінде толық қосқыш резистормен қозғалтқышты іске қосуға дайындайды. Бір мезгілде егер пәрменді бақылағыш тұтқасы нөлдік (орта) позицияда және *FA1...FA3* максималдық-ток релесі қосылмаған болса, қорек кернеуінің төмендеуінен қорғайтын *KV* релесі іске қосылып, сұлбаны жұмысқа дайындайды.

Қозғалтқышты іске қосуды немесе табиғи сипаттамалардың бірі бойынша жүзеге асырылады, бұл үшін *SA* тұтқасы тиісінше 1, 2 немесе 3 жағдайына орнатылады. Бұл ретте АҚ-ны желіге қосатын *KM1* желілік түйістіргіші, электрмагниттік тежегіштің *YA* шарғысы желісіне қосатын *KM5* тежеуді басқару түйістіргіші қосылады, ол бұл ретте қозғалтқышты және динамикалық тежелу процесін

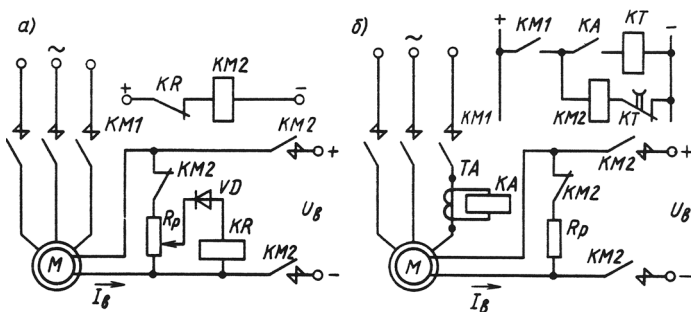
басқаратын КТЗ уақыт релесін тежеуден босатады. SA тұтқасын 2 немесе 3 жағдайына ауыстыру кезінде КМ3 және КМ4 жылдамдату түйістіргіштері қосылады да қозғалтқыш екпін алуын бастайды.

Қозғалтқышты тежеу SA тұтқасын нөлдік (орта) жағдайына ауыстыру кезінде жүргізіледі. Бұл ретте КМ2 және КМ5 түйістіргіштері ажыратылады және АҚ-ны тұрақты ток көзіне қосатын КМ4 динамикалық тежелу түйістіргіші қосылады. Нәтижесінде қозғалтқышты құрамалы (механикалық және динамикалық) тежеу процесі жүргізіледі, ол КТЗ релесі тежелу уақытына сәйкес келетін уақыттық кешігуді санауынан кейін аяқталады.

10.9. СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫ БАР ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРІН БАСҚАРУДЫҢ ТИПТІК ТОРАПТАРЫ МЕН СҰЛБАСЫ

СҚ басқарудың релелік-түйістіргіштік схемалары қозғалтқышты қосу және ажырату, қосу токтерін шектеу сияқты әдеттегі операциялардан басқа оның желіде синхрондалуын қамтамасыз етуі тиіс. Қозғалтқышты желіде синхрондау кезінде қозуды басқаруды қамтамасыз ететін СҚ бар ЭЖ типтік сұлбаларын қарастырайық.

Жылдамдық функциясында СҚ қозуын басқарудың типтік сұлбасы (10.38, а-сурет). Бұл сұлбада қозу орамын U_B қорек көзіне қосуды КР жылдамдық релесімен басқарылатын КМ2 түйістіргіші жүзеге асырады. Бұл реленің шарғысы R_p разрядтық резисторы бөлігімен VD диоды арқылы байланысады. КМ1 түйістіргішін қосу кезінде (оның басқару тізбегі суретте көрсетілмеген) қозғалтқыш статорының орамы айнымалы ток желісіне қосылады да айналатын магниттік өріс құрады, ол қозғалтқыш сәтін туғызып, соның әсерінен екпін алуын, ал қозу орамында ЭҚК басталады. Осы ЭҚК әсерінен КР релесінің шарғысы бойынша түзетілген ток жүре бастайды, ол



10.38 сурет

КМ2 түйістіргішінің қорек тізбегін қосады және ажыратады, яғни қозғалтқыштың екпін алуы қозу орамымен R_p разрядтық резисторына қысқа тұйықталған қозу тогінсіз жүргізіледі.

Ротор жылдамдығы өсуіне қарай оның ЭҚК, яғни *KR* релесі шарғысындағы ток те төмендейді. Синхрондалатын жылдамдық кезінде *KR* релесі шарғысындағы ток іске қосу тогінен аз болады, ол ажыратылады және сол арқылы қозу орамын қорек көзіне қосатын, *СҚ* желімен синхрондалу процесін қамтамасыз ететін *КМ2* түйістіргішінің қосылуын туғызады.

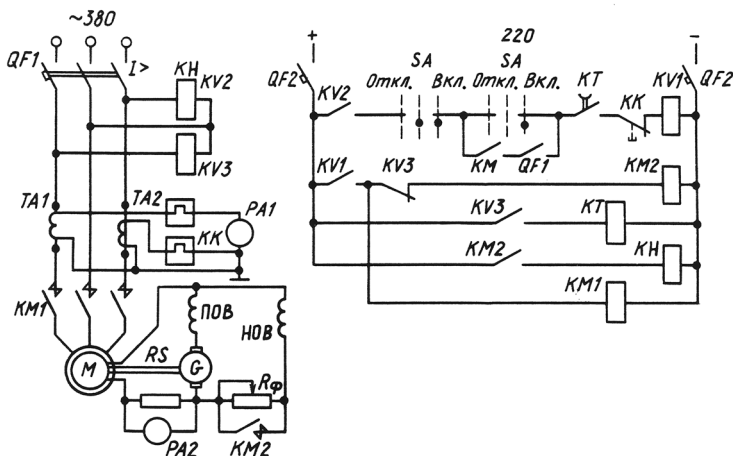
Ток функциясында *СҚ* қозуын басқару сұлбасына (10.38, б-сурет) *КА* ток релесі, *ТА* ток трансформаторынан қоректенетін орам және *КТ* уақыт релесі кіреді. Қозғалтқышты желіге *КМ1* түйістіргішімен қосу кезінде *статор орамы тізбегінде* іске қосу тогі беріліп, *КА* релесінің іске қосылуына алып келеді. Бұл реленің түйістіргіші *КТ* уақыт релесінің қорек тізбегін тұйықтай отырып, *КМ2* қозутүйістіргішінің ажыратылуын туғызады, яғни қозғалтқыштың екпін алуы алдыңғы жағдайдағы сияқты R_p разрядтық резисторына қысқа тұйықталған қозу орамымен жүргізіледі.

Синхрондалатын жылдамдық және *статорда* аз ток кезінде қозғалтқышты іске қосудың соңында *КА* релесі ажыратылады және *КТ уақыт* релесінің шарғысы қорегін жоғалтады. Белгілі уақыттық кешігумен *КМ2* түйістіргіші қосылады және өзінің түйіспелері арқылы *СҚ* желімен синхрондалу процесін қамтамасыз ете отырып, қозу орамын U_b қорек көзіне қосады.

Жоғарыда қарастырылған сұлбаларда *КМ2* қозу түйістіргіші іске қосылғаннан кейін R_p разрядтық резисторының тізбегі үзілетінін айта кеткен жөн, бұл оның жұмысының жылулық режимін жеңілдетеді және сұлбаның үнемділігін жоғарылатады.

Электртехникалық өнеркәсіпте әртүрлі үлгідегі *СҚ* басқару шкафтары мен типтік панельдері шығарылады. Мысал ретінде ПУ 7502 сериялы төменгі вольтты *СД* панельдерін басқару сұлбасын қарастырайық (10.39-суретті қараңыз), аталған сұлба оның тәуелсіз *НОВ* және жүйелі *ПОВ* қозу орамы, қоректендіру кернеуінің деңгейі төмендегенде қозуды үдеткіші бар *G* қоздырғышымен тікелей (токті шектеусіз) іске қосылуын қамтамасыз етеді. Сұлбада сонымен қатар, жылулық қорғаныс (*КК* релесі, *ТА1* және *ТА2* ток трансформаторлары), ток қорғанысы (*QF1* және *QF2* автоматтары) және айнымалы (*KV2*, *KV3* релесі) және тұрақты (*KV1* релесі) ток желілері кернеуінің төмендеуінен қорғаныс қарастырылған.

СҚ іске қосу және тұрақты ток кернеуінің сұлбасын қоректендіретін қалыпты деңгейде ғана мүмкін болады. Мұндай жағдайда, егер *SA* пәрменді бақылағыштың тұтқасы орта жағдайда болса, Және *QF1* мен *QF2* автоматтары қосылы болса, *KV2*, *KV3*



10.39 сурет

кернеу релелері және KT уақыт релесі іске қосылып, сұлбаны қосуға дайындайды. SA тұтқасын «Қос.» жағдайына ауыстырған кезде $KV1$ релесі іске қосылады, $KM1$ желілік түйістіргішінің шарғысы қорек көзіне қосылады, бір мезгілде CQ статорының орамына айнымалы токтың кернеуі беріліп, ол екпін алуын бастайды. Синхрондалатын жылдамдық кезінде G қоздырғышының және сәйкесінше қозғалтқыштың қозуы жүргізіледі, яғни оны желімен синхрондау процесі басталады.

Қоректендіргіш кернеудің күрт төмендеуі кезіндегі аталған сұлбаның жұмысы 10.5-бөлімінде қарастырылған (10.17-суретті қараңыз). $KM2$ үдету түйістіргішінің қосылғаны туралы KH көрсеткіш релесі сигнал береді. Сұлбада статор тогін бақылау үшін $PA1$ амперметрі, ал қозу тогін бақылау үшін RS тұйығынан қоректенетін $PA2$ амперметрі қарастырылған.

10.1-есеп. ЭКК функциясында бір сатыда ТҚТТҚ іске қосуды және уақыт функциясында қосуға қарсылықпен оның тежелуін қамтамасыз ететін басқару схемасын құру.

10.2-есеп. Уақыт функциясында екі сатыда ТҚТТҚ іске қосуды және жылдамдық функциясында (жылдамдықты бақылау релесін пайдаланып) оның динамикалық тежелуін қамтамасыз ететін басқару сұлбасын құру.

10.3-есеп. Уақыт функциясында фазалық ротормен екі сатыда АҚ іске қосуды және жылдамдық функциясында (жылдамдықты бақылау релесін пайдаланып) қосуға қарсылықпен оның тежелуін қамтамасыз ететін басқару сұлбасын құру.

10.4-есеп. Қысқа тұйықталған ротормен АҚ тікелей іске қосуды және уақыт функциясында қосуға қарсылықпен оның тежелуін қамтамасыз ететін басқару сұлбасын құру.

10.10. КОММУТАЦИЯ, БАСҚАРУ ЖӘНЕ ҚОРҒАУ АППАРАТТАРЫН ТАҢДАУ

ЭЖ коммутациясын, басқару және қорғау аппараттарын таңдауға қозғалтқыштың атаулы (паспорттық) деректері, оның жұмысының режимдері мен шарттары негіз болып табылады. Қолданылатын құрылғы өзіне жүктелетін барлық функцияларды толық қамтамасыз етуі және ЭЖ жұмыс шарттарына сәйкес келуі тиіс.

Автоматтық ажыратқыштар номинал тогі, кернеуі, токтың түрі, шектеулі коммутациялық қабілеттері, электрдинамикалық және термиялық тұрақтылығы, өзіндік қосылу уақыты бойынша таңдалады. Олардың барлық параметрлері әдеттегі және авариялық режимдерде ЭЖ жұмысына, ал құрылымдық орындалуы – орналастыру шарттарына сәйкес келуі тиіс.

Автоматтарда әртүрлі ағытқыштардың көмегімен қамтамасыз етілетін жылулық және максималдық қорғаныстар болған кезде олардың тағайындамасы қозғалтқыштың тиісті токтерінің деңгейлеріне сәйкес келуі тиіс. Жоғарғы ток қорғанысы қозғалтқышты іске қосу кезінде іске қосылмауы тиіс, бұл үшін оның $I_{у.м.}$ тағайындамасын арақатынасы бойынша таңдау қажет

$$I_{у.м.} \geq k_{у} I_{қосу} \quad (10.2)$$

Мұнда $I_{қосу}$ – қозғалтқыштың іске қосу тогі; $k_{у} = 1,5... 2,2$ – ағытқыштың түрін және тағайындамаға қатысты оның іске қосылу тогінің мүмкін болатын таралуын ескеретін коэффициент. Артық жүктемеден қорғаныс (жылулық қорғаныс) оның тағайындамасы тогі мен қозғалтқыштың номинал тогінің келесі арақатынасы кезінде тиімді болып саналады:

$$I_{у.т.} = (1,2-1,4) I_{ном.} \quad (10.3)$$

Автоматтың шекті коммутациялық қабілеті қысқа тұйықтау тогінің жоғарғы мәні болып саналады, ол жарамды қалпында оны бірнеше рет ажыратуға қабілетті.

Автоматтың электрдинамикалық тұрақтылығы қысқа тұйықтау тогінің амплитудасымен анықталады, оны зақымдамай ұстауға қабілетті.

Автоматтың термиялық тұрақтылығы жылудың жоғарғы рұқсаттық мөлшерімен анықталады, ол қысқа тұйықтау тогінің әсері кезінде оны зақымдамай ұстай алады. Бұл параметрлердің ЭЖ жұмыс шартына сәйкестігін анықтау үшін қысқа тұйықтау тогі алдын ала анықталады.

Электромагниттік аппараттар (түйістіргіштер, реле, магниттік қосқыштар). Олар таңдалатын көрсеткіштер қатарына бас тізбек пен басқару тізбегі (шарғылармен қоса) кернеуінің сипаттамасы мен мәні; түйістіргіштердің коммутациялық қабілеті мен саны, жол берілетін қосылулар жиілігі; жұмыс режимі; орналасу санаты; қоршаған орта әсерінен қажетті қорғаныс дәрежесі.

Басқару және қорғаныс функцияларын орындайтын релені таңдау кезінде кіретін әсер ету шамасының түрі (ток, кернеу, қуат), уақыттық кешігу (уақыт релесі), қайта коэффициенті, іске қосылу және босату уақыты қосымша ескеріледі.

Ажыратқыштар мен ауыстырғыштар кернеудің түрі мен мәні, жүктеме тогі, механикалық және электрлік тозуға тұрақтылық шарттары бойынша жол берілетін ауысулар саны, құрылымдық орындалуы бойынша таңдалады.

Басқару түймешектері мен кілттері кернеудің түрі мен деңгейі, коммутацияланатын ток мәні, коммутацияланатын тізбектер саны, талап етілетін қорғаныс деңгейі, климаттық жағдайлар, механикалық және электрлік тозуға тұрақтылық бойынша таңдалады.

Сақтандырғыштар. Сақтандырғышты балқымалы ендірмені таңдау қозғалтқыштың қосу тогімен анықталады, яғни ол оны іске қосу кезінде жанып кетпеуі тиіс. Қысқа тұйықталған роторлы АҚ үшін қосу уақыты 5 с дейінгі кезде балқымалы ендірме тогі

$$I_{п.в} = I_{косу}/2,5 \quad (10.4)$$

қосу уақыты 5 с артық кезде

$$I_{п.в} = I_{косу}/(1,6 \dots 2). \quad (10.5)$$

Фазалық роторлы АҚ және әдеттегі орындалған ТТҚ үшін балқымалы ендірме тогі номинал токке қатысты есептеледі:

$$I_{п.в} \geq (1 \dots 1,25) I_{ном}. \quad (10.6)$$

Басқару тізбегін қорғау үшін балқымалы ендірме тогі келесі шарттар бойынша таңдалады

$$I_{п.в} = 2,5 I_c, \quad (10.7)$$

Мұнда I_c – басқару сұлбасында бір мезгілде қосылған аппараттардың жоғарғы саны шарғыларының жиынтық тогі.

Максималток релесі. Қысқа тұйықталған роторлы АҚ қорғау кезінде токтің тағайындамасы арақатынасқа сәйкес таңдалады

$$I_{у.т} = (1, 2 \dots 1, 3) I_{\text{косу}} \quad (10.8)$$

ал фазалық роторлы АҚ және ТТҚ үшін

$$I_{у.т} = (2 \dots 2, 5) I_{\text{ном}} \quad (10.9)$$

Аппараттарды таңдау толығырақ [22]-да қарастырылған.

Бақылау сұрақтары

1. ЭЖ басқарудың ажыратылған сұлбалары негізінен қандай функцияларды орындайды?
2. Іске қосуды, реверсті, қозғалтқышты тежеуді басқарудың ажыратылған сұлбалары қандай қағидалар бойынша құрылады?
3. Қолмен басқару аппараттарын атаңыз және қызметін түсіндіріңіз.
4. Қашықтан басқару аппараттарын атаңыз және әрекет ету қағидасын сипаттаңыз.
5. ЭЖ координаттар датчиктерін атаңыз және қызметін түсіндіріңіз.
6. ЭЖ басқару сұлбаларында қорғаныстың қандай түрлері пайдаланылады?
7. ЭЖ-да қандай аппараттардың көмегімен қорғаныстың түрлері іске асырылады?
8. ЭЖ басқару сұлбаларында қолданылатын типтік бұғаттауларды атаңыз.
9. Түйіспесіз логикалық элементтер электр сигналдарын түрлендірудің қандай типтік операцияларын орындайды?
10. ЭЖ схемаларында қандай күштік резистор түрлері қолданылады?
11. ЭЖ-да тежегіш құрылғылардың қандай түрлері қолданылады?
12. Электргидравликалық итергіштің әрекет ету қағидасын түсіндіріңіз.
13. Тұрақты ток қозғалтқыштарын басқарудың типтік релелік-түйістіргіштік сұлбаларының жұмыс тәртібі туралы түсінігіңізді 10.1... 10.4 тапсырмаларын шеше отырып тексеріңіз.
14. Ақаулар болған жағдайда (мысалы, түйістіргіш пен реле шарғылары тізбектерінің үзілуі, олардың түйіспелерін пісіру, сақтандырғыштардың күйіп кетуі және т.б.) басқарудың типтік релелік-түйістіргіштік сұлбаларының жұмысы туралы түсінігіңізді тексеріңіз.

11-тарау. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН БАСҚАРУДЫҢ ТҮЙЫҚТАЛҒАН СҰЛБАЛАРЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

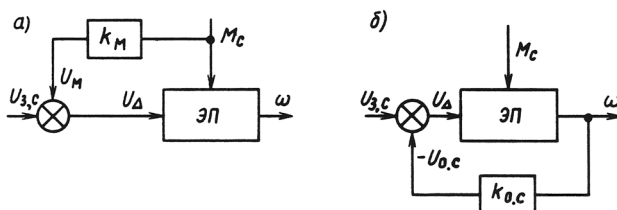
Тұйықталған сұлбалар сапасы жоғары жұмыс машиналарының атқарушы органдары қозғалысын басқаруды қамтамасыз ету талап етілетін жағдайларда қолданылады (жылдамдықты реттеудің үлкен диапазоны және оны қолдаудың дәлдігі, ауыспалы процестердің берілген сапасы және тоқтаудың қажетті дәлдігі, сондай-ақ технологиялық жабдықтың және ЭЖ өзінің жоғары үнемділігі немесе оңтайлы қызмет атқаруы).

11.1. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ТҰЙЫҚТАЛҒАН ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ СҰЛБАЛАРЫ

ЭЖ тұйықталған құрылымдары сыртқы наразылықтарды өтеу қағидасы және кері байланыс қағидасы деп аталатын бас тарту қағидасы бойынша құрылады.

Өтеу қағидасын ЭЖ сыртқы ұйытқуы – оның ω жылдамдығын реттеу кезіндегі M жүктеме моментін өтеу мысалында қарастырайық (11.1, а-сурет). ЭЖ мұндай тұйықталған құрылымының негізгі белгісі ЭЖ-ге кіруде $U_{3,c}$ жылдамдығының берілетін сигналымен бірге жүктеме моментіне барабар сигнал берілетін тізбектің болуы болып табылады: $U_m = k M_c$, мұнда k_m – барабарлық коэффициенті. Нәтижесінде ЭЖ басқару U_{Δ} жиынтық сигналымен жүзеге асырылады, ол жүктеу моментінің толқуы кезінде автоматты түрде өзгере отырып, ЭЖ жылдамдығын берілген деңгейде ұстап тұруды қамтамасыз етеді.

Тиімділігіне қарамастан, 11.1, а суретте келтірілген сұлба бойынша ЭЖ басқару M_c жүктеу моментінде (ұйытқу моменті) қарапайым және сенімді датчиктердің болмауына байланысты сирек жүзеге асырылады. Сондықтан тұйықталған сұлбалардың көпшілігінде ауытқу қағидасы (кері байланыс қағидаты) пайдаланылады, ол ЭЖ шығуын оның кіруімен жалғастыратын кері байланыс тізбегінің болуымен сипатталады. Аталған жағдайда жылдамдықты реттеу кезінде кері байланыс тізбегі пайдаланылады (11.1, б-суретті қараңыз), ол бойынша жылдамдықтың ағымдағы мәні туралы ақпарат (кері байланыс сигналы $U_{o,c} = k_{o,c} \omega$) ЭЖ кірмесіне беріліп, $U_{\Delta} = U_{3,c} - U_{o,c}$ (оны сонымен қатар келісілмеу немесе қателік сигналы деп атайды), ол жылдамдықтың берілген жылдамдықтан айырмашылығы кезінде



10.39 сурет

тиісінше автоматты түрде өзгереді және ЭЖ басқару жүйесінің көмегімен мұндай ауытқуларды жояды.

ЭЖ немесе жұмыс машинасының басқа координаталарын реттеу қажеттілігі кезінде осы координаталар бойынша кері байланыстар пайдаланылады. Тұйықталған ЭЖ-де қолданылатын барлық кері байланыстар оң және теріс, желілік және желілік емес, қатаң және

иілгіш болып бөлінеді. Оң кері байланыс деп сигналы берілетін сигналмен сәйкес бағытталған сигнал аталады, *теріс* байланыстың сигналы оған қарсы бағытталған («-»)11.1, б-сурет).

Қатаң кері байланыс ЭЖ орнатылған және ауыспалы режимдерінде де әрекет етеді. *Иілгіш* кері байланыс сигналы ЭЖ ауыспалы режимдерінде ғана қолданылады және олардан талап етілетін сапаны қамтамасыз етуге, мысалы, жол берілетін қайта реттеуде қозғалыстың тұрақтылығы және т.б. үшін қызмет атқарады.

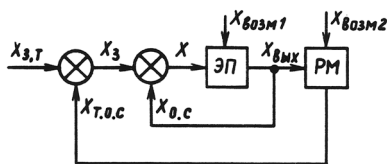
Желілік кері байланыс үшін реттелетін координата мен $U_{\text{с}}$ кері байланыс сигналы арасындағы барабар тәуелділік тән, *желілік емес* байланысты іске асыру кезінде бұл тәуелділік желілік емес.

ЭЖ-да реттелетін координаталардың түріне қарай жылдамдық, жағдай, ток, кернеу, магниттік ағын, ЭҚК бойынша байланыстар пайдаланылады.

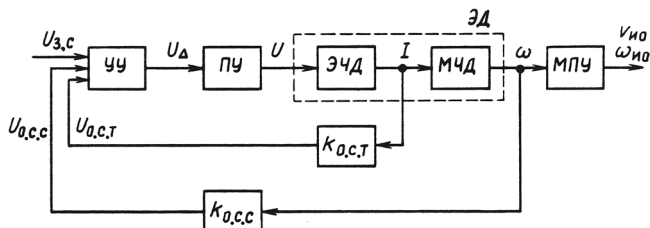
ЭЖ-да көрсетілген “ішкі” кері байланыстардан басқа технологиялық процестердің берілген жүрісі мен сапасын қамтамасыз ету үшін түрлі технологиялық датчиктердің, мысалы температураның, тартылу, кесу күші, қысым, шығын және т.б. датчиктердің сигналдары беріледі. Бұл жағдайда ЭЖ технологиялық процесті немесе операцияны іске асыратын жұмыстық машинамен немесе механизммен бірге автоматтық реттеу жүйесін құрады (11.2-сурет). Бұл жүйеде ЭЖ шығу координатасы $X_{\text{шығ}}$ (мысалы, жылдамдық) РМ жұмыстық машинасы үшін басқарушы әсер болып табылатын және оны беретін сигналдың $X_{\text{зп}}$, сондай-ақ ұйытқыш әсердің $X_{\text{ұйтқ2}}$ өзгерістері кезінде технологиялық процестердің берілген жүрісін қамтамасыз ететін күштік реттегіш құрылғы болып табылады. Аталған жағдайда ЭЖ үшін берілетін сигнал $X_{\text{з.т}}$ технологиялық параметрдің берілетін сигналы мен $X_{\text{т.о.с}}$ технологиялық кері байланыс берілетін сигналы арасындағы ауытқу сигналы (келісілмеу) болып табылады. Технологиялық кері байланыс сигналдары бірнеше болуы мүмкін, ал ЭЖ үшін берілетін сигналды шығару үшін ЭЕМ немесе микропроцессорлар пайдаланылады.

Жоғарыда айтып өткендей, атқарушы органның қозғалысын басқару үшін кейде ЭЖ бірнеше координаталарын, мысалға, ток (сәт) пен жылдамдықты реттеу талап етіледі. Мұндай жағдайда тұйықталған ЭЖ келесі құрылымдық схемалардың бірі бойынша орындалады.

Жалпы күшейткіші бар ЭЖ схемасы (11.3-сурет). Сұлбада қабылданған белгілер талдау қолайлылығы үшін екі бөлікте – ЭЧД және механикалық МЧД түрінде көрсетілген электр қозғалтқышын қоспағанда 1.1-суреттегі ЭЖ жалпы сұлбасына сәйкес келеді.



11.2 сурет

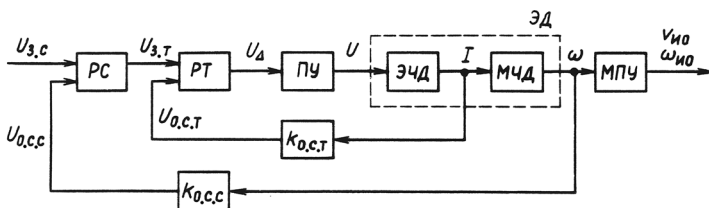


11.3 сурет

Сұлба ЭЖ екі координаталарын – ток (момент) пен жылдамдықты реттеуді қамтамасыз етеді. Бұл сұлбада $C_{ост}$ тогі және $C_{осс}$ жылдамдығы бойынша кері байланыс сигналдары $УУ$ басқарушы құрылғысының кірмесіне U_{3c} жылдамдығының берілетін сигналымен бірге беріледі, мұнда алгебралық жинақталады. Сұлба іске асыру қарапайымдылығымен ерекшеленеді, бірақ ЭЖ координаталарын бір-бірінен тәуелсіз реттеуге мүмкіндік бермейді. ЭЖ теориясында бөлгіштер деп аталатын желілік емес кері байланыстарды пайдалану есебінен кейбір диапазонда оларды тәуелсіз реттеуді жүзеге асыруға болады, бұл аталған кемшілікті ішінара жояды.

Координаталарды бағынысты реттеу сұлбасы (11.4-сурет) алдыңғысынан принципті түрде ерекшеленеді. Онда әрбір координатаны реттеу тиісті кері байланыстармен тұйықталған контурлар құратын өзіндік реттегіштермен (ток PT , жылдамдық PC) жүзеге асырылады. Бұл контурлар $U_{3,T}$ ток контуры үшін кіру (беру) сигналы жылдамдық контурының оған қатысты сыртқы шығу сигналы болып табылатындай түрде орналасады. Осылайша, токтың ішкі контуры сыртқы жылдамдық контурына – ЭЖ негізгі реттелетін координатына бағынатын болады.

Мұндай сұлбаның негізгі артықшылығы әрбір координатаны оңтайлы баптау мүмкіндігіне негізделеді, осыған байланысты ЭЖ-да кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, ток контурының жылдамдық контурына бағынуы ток пен моментті шектеу процесін оңайлатуға мүмкіндік береді, бұл үшін тек жылдамдық реттегіші



11.4 сурет

шығуында сигналды тиісті деңгейде ұстап тұру қажет (ток деңгейін беру сигналы).

Қозғалтқыш білігінің жағдайын реттеу үшін 11.3 және 11.4-суреттерінде келтірілген сұлбаларға тиісті кері байланысты енгізу қажет.

Қарастырылған схемалар жеке алынған жұмыс машинасының басқару құрылымын көрсетеді. Көптеген нақты технологиялық процестерде бірнеше өзара әрекет ететін жұмыс машиналары мен механизмдерін бірыңғай кешенге біріктіру көзделеді. Мұндай технологиялық кешендер автоматтандырылады, бұл ретте ЭЖ негізгі функция атқарады. Тиісті басқару есебінен олар барлық технологиялық операциялардың талап етілетін жүйелілігін қамтамасыз етеді, өнеркәсіптік жабдықтың және ЭЖ оңтайлы жұмыс режиміне қол жеткізіледі, қажетті бұғаттаулар мен қорғаныс жүзеге асырылады.

Технологиялық кешендерді басқару үшін ЭЕМ кеңінен пайдаланылады. Олар технологиялық процестің барысы туралы үлкен көлемдегі ақпаратты жылдам өңдеуді жүргізуге, берілген бағдарламаға сәйкес жұмыс машиналары мен механизмдерінің ЭЖ-на басқарушылық әсерді қалыптастыруға мүмкіндік береді. Әсіресе күрделі технологиялық процестерді тұтас, сондай-ақ жекелеген өндірістік операциялар мен циклдерді автоматтандыруды жүзеге асыруға мүмкіндік беретін микропроцессорлық басқару техникасын пайдалану кезінде үлкен мүмкіндіктер ашылады.

11.2. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН БАСҚАРУДЫҢ ТҰЙЫҚТАЛҒАН СҰЛБАЛАРЫНЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ

ЭЖ басқарудың заманауи тұйықталған жүйелері әдетте дұрыс тандау мен пайдалану кезінде басқарудың, автоматтандыру мен диагностиканың кең функционалдық мүмкіндіктерімен, пайдаланудағы сенімділігімен, жоғары ПӘК-мен және бағасының қатысты төмендігімен ерекшеленетін жартылай өткізгіш элементтер мен құрылғылардың негізінде іске асырылады. Сонымен қатар, ЭЖ элементтерін қорек көзіне қосу, қорғаныс пен дабылдың бірқатар түрлері бұл жүйелерде қолмен және электромагниттік басқарылатын жоғарыда қарастырылған электрлік аппараттардың көмегімен жүзеге асырылады.

Тұйықталған ЭЖ күштік бөлігі қандай да бір түрлендіргіштің – түзеткіштің, инвертордың, жиілікті түрлендіргіштің, тұрақты немесе айнымалы токтың кернеуін реттегіштің негізінде іске асырылады. Бұл түрлендіргіштерде олардың негізінде диодтар, тиристорлар, транзисторлар мен түрлі модульдер (біріктірілген құрылғылар) пайдаланылады.

Диодтар (басқарылмайтын вентильдер) басқарылмайтын түзеткіштер сұлбаларында қолданылады және бірнеше килоамперге дейінгі токтерге және бірнеше киловольт кернеуге шығарылады. Сонымен қатар, белгілі склба бойынша бір корпуста жалғанған бір немесе одан көп диодтар түріндегі диодтық модульдер де шығарылады.

Тиристорлар (басқарылатын диодтар) түрлендіргіштердің барлық түрлерінде пайдаланылады. Сонымен қатар, тікелей кернеу импульсымен қосылатын диодтық тиристорлар (динисторлар), екі қарсы-параллель қосылған тиристорларға теңсимметриялық тиристорларнемесе симмисторлар (ағылш. TRIAC), желілік ағынмен басқарылатын оптотиристорлар, жылдам әрекет ететін жоғары жиілікті тиристорлар және т.б. пайдаланылады. Аталған толық басқарылмайтын, анодта кернеудің өрістілігі өзгерген кезде ғана басқарушы сигналды алғаннан кейін жабылатын тиристорлармен қатар, түрлендіргіштерде техникалық әдебиеттерде GTO ретінде белгіленетін толық басқарылатын (жабылатын) тиристорлар да қолданылады. Мұндай тиристорларды ажырату (жабу) олардың басқарушы электродына теріс басқару тогі импульсын еру арқылы жүргізіледі.

Қуатты тиристорлар бірнеше килоамперге дейінгі жұмыс токтеріне және бірнеше киловольтқа дейінгі кернеуге есептелген. Сондай-ақ әртүрлі жасалған тиристорлық және тиристорлық-диодтық модульдер қолданылады, оларда күштік элементтерді басқару мен қорғауды қамтамасыз ететін қосымша орнатылған элементтер болуы мүмкін. Мұндай модульдерді кейде «зияткерлік күштік модульдер» деп атайды.

Транзисторлартолық басқарылатын құралдар болып табылады және өздерінің техникалық сипаттамалары бойынша биполярлық, оқшауланған бекітпелі биполярлық (ағылш. IGBT), далалық (ағылш. MOSFET) және статикалық индукциялы далалық (ағылш. SIT) болып бөлінеді. Күштік транзисторлық түрлендіргіштерде биполярлық (қосулы күйінде қуатты шығынының төмендігі) және далалық (жоғары кіру кедергісі) транзисторлардың оң қасиеттерін иеленген IGBT үлгілі транзисторлар кеңінен таралған.

Күштік транзисторлар әртүрлі түрлендіргіштердің типтік сұлбаларына сәйкес келетін модульдер түрінде шығарылады. Олардың замануи орындалуында басқару, қорғау, диагностика және сұлбаның басқа элементтерімен байланыс функцияларын жүзеге асыратын қосымша элементтердің болуы қарастырылған.

Қозғалтқышты басқарудың күштік түрлендіргіштер іске асыратын заңдарын қалыптастыру үшін ЭЖ тұйықталған сұлбаларында басқарушы элементтердің белгілі жинағы болады: реттелетін координатаның өзгеру сипаты мен деңгейін белгілеуші

(бағдарламалық) құрылғылар; технологиялық процесс пен ЭЖ жұмысының барысы туралы ақпарат беретін реттелетін координаталар және технологиялық параметрлер датчиктері; беруші құрылғылар мен координаталар мен параметрлер датчиктерінің сигналдары негізінде басқарушы әсер қалыптастыратын реттегіштер мен функционалдық түрлендіргіштер; токтың түрі, деңгейлер және сигналдар түрі және т.б. бойынша олардың кіру және шығу сигналдарын келісімдеу есебінен барлық аталған элементтерді бірыңғай сұлбаға жалғауға мүмкіндік беретін келісуші элементтер.

Заманауи ЭЖ басқарушы құрылғыларын техникалық іске асыру алуан түрлі. Олар өздерінің элементтік базасы, токтың түрі, қуаты, құрылымдық орындалуы және басқа көптеген белгілері бойынша ерекшеленеді. Сигналдарды түрлендіру сипаты бойынша басқару құрылғылары аналогтық және дискреттік болып бөлінеді.

Аналогтық құрылғылар мен элементтер кіру және шығу сигналдары арасындағы функционалдық (желілік немесе желілік емес) тәуелділіктің болуымен сипатталады, бұл ретте шығу сигналы кез келген мәнді қабылдауы мүмкін. Күштік аналогтық құрылғыларға басқарылатын түзеткіштер және жиілікті түрлендіргіштер мысал бола алады, оларда шығу кернеуі мен жиілігі кіретін басқару сигналының деңгейіне қарай кең шеңберде реттелуі мүмкін.

Дискреттік элементтермен құрылғыларда кіру сигналы белгілі мәнге жеткен кезде пайда болатын немесе жоғалып кететін тек нөлдік немесе максималды шығу сигналы болуы мүмкін. Дискреттік элементтерге реле және түйіспесіз логикалық элементтер мысал бола алады. Дискреттік элементтердің негізінде ЭЖ басқарудың сандық схемалары құрылады.

Жоғарыда қарастырылған барлық күштік және басқару құрылғылары автоматтандырылған ЭЖ-да қолданылады. Жоғарғы техникалық және экономикалық әсерге бір ЭЖ-да түрлі элементтерді пайдалану арқылы қол жеткізуге болады.

Жақын уақытқа дейін реттеуші, белгілеуші, келісуші және функционалдық құрылғылар, сондай-ақ ЭЖ координаталары датчиктері жеке сериялармен «шашылып» шығарылды, бұл басқару схемасын жобалауды, оларды ретке келтіру мен пайдалануды қиындатты. Техникалық басқару құралдарын жасаудағы прогрестік құбылыс бірегей блоктық реттеу жүйесін (ББРЖ) әзірлеу болды. Бұл жүйені пайдалану жиынтық басқару құралдары өндірісін бірегейлендіруді қамтамасыз етеді, ЭЖ жобалауды, ретке келтіру мен пайдалануды жеңілдетеді, олардың техникалық-экономикалық көрсеткіштерін жақсартады.

ББРЖ жүйесі электрониканың қарапайым элементтерінде (ББРЖ-А) және интегралдық микросұлбаларда орындалатын (ББРЖ-АИ) аналогтық және қарапайым элементтерден (ББРЖ-Д)

және микросұлбалардан тұратын (ББРЖ-ДИ) дискреттік (сандық) болуы мүмкін.

ЭЖ басқару сұлбаларының маңызды сипаттамасы оларда жұмыс істеу алгоритмін өзгерту (қайта баптау) мүмкіндігінің болуы немесе болмауы болып табылады. Осы белгі бойынша олар қатаң (өзгермейтін) алгоритм сұлбалары және өзгерметін алгоритм сұлбалары болып бөлінеді.

Қатаң алгоритм сұлбаларында сигналдарды түрлендіру жалғасу сұлбасына және элементтердің сипаттамасына сәйкес жүзеге асырылады. Мұндай сұлбаның жұмыс істеу алгоритмін өзгерту үшін тиісті элементтерді ауыстыру (қайта монтаждау) қажет.

Бағдарламаланатын алгоритмдер сұлбалары осы құрылғылардың аппараттық бөлігінің жұмысын басқаратын бағдарламаны өзгерту есебінен басқаруды өзгертуге мүмкіндік береді. Мұндай құрылғыларды іске асыру басқарудың компьютерлік (микропроцессорлық) техника құралдарын пайдаланып жүзеге асырылады және заманауи ЭЖ маңызды даму үрдісі ретінде сипатталады.

11.3. ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРІН БАСҚАРУДЫҢ АНАЛОГТЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕРІ МЕН ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ

Мұндай элементтер мен құрылғылардың жұмысын ББРЖ жүйелері мысалында қарастырайық.

ББРЖ-А аналогтық тармағы тұрақты токтың транзисторлық күшейткіштері, пәрмендік және белгілегіш құрылғылары, функциялық түрлендіргіштер, координата датчиктері, келісу құрылғылары және қорек блоктары жинағынан орындалады және тұрақты токтың бірегейлендірілген сигналына есептелген (0 ± 10) мА, (0 ± 24) В, бұл оларда жалпы мақсаттағы транзисторларды пайдалануға мүмкіндік береді.

ББРЖ аналогтық тармағының дамуы интегралдық микросұлбаларда ББРЖ-АИ сериясын әзірлеу болып табылды, оларды қолдану басқару сұлбасының сипаттамасын жақсартуға және олардың функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтуге мүмкіндік берді. ББРЖ-АИ блоктары ащалық ағытқышы бар ауысымды ұяшықтарда орналасады және баспалық монтажда ие. Бұл серия оның элементтерін ББРЖ-ДИ дискреттік элементтерімен және технологиялық процестерді автоматтандырудың басқа құрылғыларымен жалғауға мүмкіндік беретін бірегейлендірілген электрлік сигналға есептелген ± 10 В, ± 5 мА.

Операциялық күшейткіш (ОК) аналогтық жүйенің негізгі элементі болып табылады. Ол теріс кері байланыспен қамтылған, күшейткіш коэффициенті үлкен ($10\ 000$ дейін) тұрақты ток күшейткіші түрінде болады.

11.5-суретте келтірілген сұлба бойынша қосыған операциялық күшейткішкіру сигналдарын U_{BXI} түрлендіруді жүзеге асырады

$$U_{\text{ВЫХ}} = -z_{\text{o.c}} \sum_1^n (U_{\text{BXI}} / z_{\text{BXI}}), \quad (11.1)$$

мұнда n – кіру сигналдарының саны; z_{BXI} – жалпы жағдайда кешенді белсенді-сыйымдылық кіру кедергісі ОК, $z_{\text{o.c}}$ – кері байланыс желісінің кешенді кедергісі.

Қарапайым жағдайда ОК бір сигнал кіргенде U_{BX} , аз $z_{\text{o.c}} = R_{\text{oc}}$ и $z_{\text{BXI}} = R_1$, кіру сигналының түрленуі келесі түрде болады

$$U_{\text{ШЫҒ}} = -R_{\text{o.c}} U_{\text{КІР}} / R_1 = k U_{\text{КІР}}, \quad (112)$$

яғнионың $k = R_{\text{o.c}} / R_1$ коэффициентіне көбейтілуі және белгісінің қарама-қарсыға өзгеруі жүргізіледі. $R_{\text{o.c}} = R_1$ және $k = 1$ кезінде кіру сигналының белгі бойынша терістелуі орын алады.

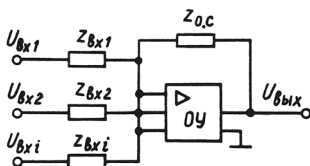
Если $z_{\text{o.c}} = R_{\text{o.c}}$ және $z_{\text{BXI}} = R_{\text{BXI}}$ болса, онда ОК бір мезгілде тиісті коэффициентке көбейте отырып. оған берілетін электр сигналдарын қосуды жүзеге асырады, яғни

$$U_{\text{ВЫХ}} = - \sum_1^n (U_{\text{BXI}} / k_i), \quad (11.3)$$

мұнда $k_i = R_{\text{o.c}} / R_{\text{BXI}}$

Кіру тізбектеріне және кері байланыс тізбектеріне қосу кезінде ОК конденсаторлары резисторларымен қатар кіру сигналдарының ЭЖ-де талап етілетін басқару әсерін алу үшін қажетті басқа түрлі түрленулері жүзеге асырылуы мүмкін. Мұндай сұлбалар реттегіштер деп аталады. 11.1-кестеде ОК пайдаланылатын реттегіштердің кейбір таралған сұлбалары келтірілген.

Реттегіштер өздерінің атауларына орындайтын кіру сигналдарын функционалдық түрлендірулеріне байланысты ие болды.



11.5 сурет

Пропорционал (П) реттегіш жоғарыда қарастырылған кіру сигналын ауқымды (пропорционал) түрлендіруді $k = R_{oc}/R_i$ коэффициентімен жүзеге асырады және оның белгісін терістейді. Кестеде t_0 уақыт моментінде оған сатылы кіру сигналын беру кезінде осы реттегіштің шығу сигналының уақыт ішінде өзгеру сипаттамасы көрсетілген. Бұл жағдайда шығу сигналы k түрлену коэффициенті мен кіру сигналын қайталайды. Реттегішке сатылы кіру сигналын беру кезінде $U_{\text{шығ}}(t)$ тәуелділігі оның ауыспалы функциясы атауын иеленді.

Интегралдық (И) реттегіш. Бұл реттегішті іске асыру үшін ОК кері байланыс тізбегіне C_{oc} конденсаторы, ал кіретін тізбекке R_i резисторы қосылады. Нәтижесінде реттегіш интеграциялау құрылғысы қасиетіне ие болады және оның шығу кернеуі кіру сигналының интегралымен анықталаы.

Дифференциалдық (Д) реттегіш. Бұл реттегішті жалғау сұлбасы $T = R_{oc} C I$ коэффициентімен кіру сигналын дифференциялауды қамтамасыз етеді. Дұрыс дифференцияланған реттегіштің ауыспалы сипаттамасы шексіз үлкен амплитуданың электрлік импульсы және аз ұзақтығы түрінде болады (оңайлату үшін кестеде $U_{\text{кір}}(t)$ кіру сигналының графигі көрсетілген жоқ).

Апериодты (А) реттегіш. Мұндай реттегіштің ауыспалы функциясы уақыт ішінде шығу сигналына экспоненциалдық тәуелділігі болып табылады.

Пропорционал-интегралдық (ПИ), пропорционал-дифференциалдық (ПД) және пропорционал-интегралдық-дифференциалдық (ПИД) реттегіштердің сұлбалары мен сипаттамалары 11.1-кестесінде келтірілген. Бұл реттегіштер ЭЖ-да басқарудың күрделі заңдарын іске асыру кезінде талап етілетін кіру сигналдарын кешенді түрлендіруді жүзеге асырады.

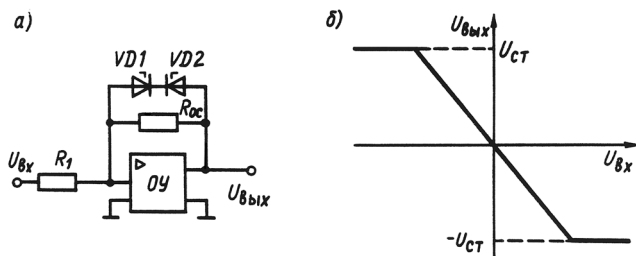
ББРЖ-АИ-да реттегіштер сұлбаларын іске асыру үшін К1УТ402А микросұлбаларында екі күшейткіші бар У2-АИ және У4-АИ операциялық күшейткіштерінің ұяшықтары, сондай-ақ кіру тізбегі, ОК кері байланыс және шығу сигналын шектеу элементтері қолданылады.

Функционалдық түрлендіргіштер ББРЖ-АИ құрамына кіреді және кіру сигналынан квадраттауға және квадраттық түбірді шығаруға (ПК-1АИ ұяшығы), аналогтық кіру сигналдарын көбейтуге және бөлуге (УМ-1АИ, УМ-2АИ, МДУ-1АИ ұяшықтары), сигнал модулін бөлуге (ВМ-1АИ ұяшығы), кіру және шығу сигналдары арасында желілік емес тәуелділікті жүзеге асыруға (ПФ-1АИ ұяшығы) мүмкіндік береді. Бұл түрлендіргіштер бір немесе бірнеше ОК базасында іске асырылады.

Электр сигналдарының басқа желілік емес түрлендіргіштерін ОК негізінде іске асырылатын көптеген сұлбалардың көмегімен де алуға болады. Мысал ретінде, сигналды шектеуді қамтамасыз ететін ОК қосу сұлбасын (11.6, а-сурет) қарастырайық.

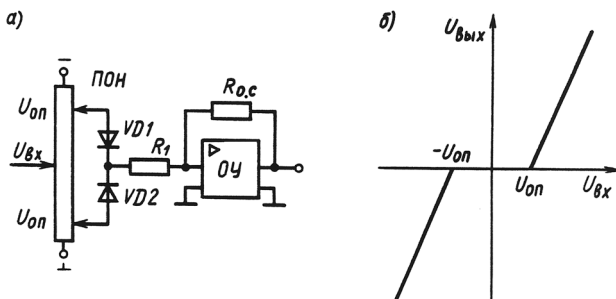
Реттегіштің түрі	Сұлбасы	Түрлендіріштің түрі	Реттегіштің параметрлері	Ауыспалы функция
П		$U_{\text{вых}} = kU_{\text{вх}}$	$k = R_{0,c}/R_1$	
И		$U_{\text{вых}} = \frac{1}{T} \int U_{\text{вх}} dt$	$T = R_1 C_{0,c}$	
Д		$U_{\text{вых}} = T \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$	$T = R_{0,c} C_1$	
А		$U_{\text{вых}} = kU_{\text{вх}} + \frac{1}{T} \int U_{\text{вх}} dt$	$k = R_{0,c}/R_1$ $T = R_{0,c} C_{0,c}$	
ПИ		$U_{\text{вых}} = k(U_{\text{вх}} + \frac{1}{T} \int U_{\text{вх}} dt)$	$k = R_{0,c}/R_1$ $T = R_{0,c} C_{0,c}$	
ПД		$U_{\text{вых}} = k(U_{\text{вх}} + T \frac{dU_{\text{вх}}}{dt})$	$k = R_{0,c}/R_1$ $T = R_1 C_1$	
ПИД		$U_{\text{вых}} = k(U_{\text{вх}} (1 + T_2/T_1) + T \frac{dU_{\text{вх}}}{dt} + \frac{1}{T} \int U_{\text{вх}} dt)$	$k = R_{0,c}/R_1$ $T_1 = R_{0,c} C_{0,c}$ $T_2 = R_1 C_1$	

Бұл функцияны орындау үшін ОК кері байланыс тізбегіне $R_{о.с}$ резисторына параллель $VD1$ және $VD2$ екі стабилитроны қосылады. $U_{ст}$ стабилитрондарының тесілу (тұрақтану) кернеуіне сәйкес келетін шығу кернеуінің деңгейіне дейін $U_{шығ.}(U_{к.ір})$ желілік сипаттамасымен ОК әдеттегі масштабтық түрлендіргіш ретінде жұмыс істейді (11.6, б-суретті қараңыз). Шығу кернеуі $U_{сг}$ деңгейіне жеткен кезде стабилитронның тесілуі, кері байланыс тізбегінде эквиваленттік кедергіорын алады, демек (11.3) сәйкес, ОК күшейткіш коэффициенті нөлге тең болады, шығу кернеуі өзгеруін тоқтатады (шектеледі). Екі стабилитрон қосу $U_{шығ.}(U_{к.ір})$ симметриялық сипаттамасын алуды қамтамасыз етеді. Егер кері байланыс тізбегінен $R_{о.с}$ резисторын алып тастаса, схема сезімтал емес аймақсыз релелік желілік емес сипаттамасын алуды қамтамасыз етеді. Шығудағы $U_{сг}$ сигналы кіру сигналы түскеннен кейін дереу пайда болады.



11.6 сурет

Сигналдарды желілік емес түрлендірудің бірқатар сұлбаларында стабилитрондардың орнына тірек (жабушы) кернеудің потенциометрлері мен диодтар пайдаланылады. 11.7, а-суретте $VD1$, $VD2$ диодтары және тірек кернеудің потенциометрлері ТКП пайдаланылатын сұлба келтірілген. Диодтар $\pm U_{тр}$ тірек кернеулері оларды жабатындай түрде қосылады, себебі, катодтардың



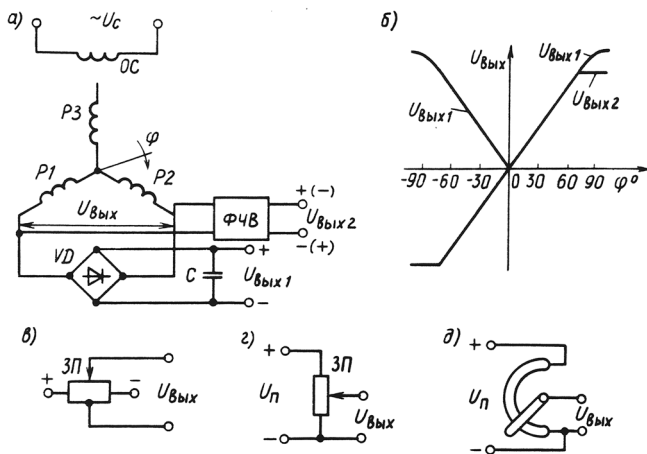
11.7 сурет

потенциалымен салыстырғанда олардың анодтарының неғұрлым төмен потенциалы пайда болады. Сондықтан $U_{кр}$ сигналы $U_{тір}$ тірек сигналынан кем болған кезде диодтар жабық күйінде қалады және ОК шығуында кернеу болмайды. $U_{кр}$ сигналы $U_{тір}$ тірек сигналынан көбірек болған кезде диодтардың бірі ашылады және ОК шығуында кернеу пайда болады да одан әрі $k = R_{oc}/R_1$ күшейткіш коэффициентімен желілік түрде өзгереді. 11.7, б-суретте көрсетілген сипаттама сезімтал емес аймағы бар сипаттама деп аталады. $U_{тір}$ кернеу деңгейін және k күшейткіш коэффициентін өзгерте отырып, оның әртүрлі түрлерін қамтамасыз етуге болады.

11.6, а және 11.7, а-суреттерінде келтірілген біріктірілген сұлбалар сезімтал емес аймағы бар үш позициялы релеге сәйкес келетін $U_{кр}$ ($U_{шығ}$) сипаттамасын алуға мүмкіндік береді.

Пәрмендік (белгілеуші) құрылғылар СКА үлгісіндегі сельсинді басқару аппараты базасында іске асырылады. Олар үш түрде жасап шығарылады – тұтқалы жетекпен (СКАР), педальдық жетекпен (СКАП) және маховикті жетекпен (СКАЗ).

Сельсинді басқару аппаратының электрлік сұлбасын қарастырайық (11.8, а-сурет). ОК сельсин статорының бір фазалы орамы кернеуі $U_c = 110$ В жиілігі 50 Гц айнымалы ток желісіне қосылады. Айнымалы токтың $U_{шығ}$ шығу кернеуі ротор орамының екі фазасынан алынады және одан әрі VD басқарылмайтын түзеткіштің немесе ФСТ фазалық сезімтал түзеткіштің көмегімен түзетіледі. Бірінші жағдайда $U_{шығ1}$ шығу кернеуі тұрақты өрістілікке ие болады, ал екінші жағдайда $U_{шығ2}$ сигналының өрістілігі статор мен ротор кернеуі фазаларының жылжуына тәуелді болады. Осылайша, ФСТ шығу сигналының өрістілігі



11.8 сурет

айнымалы токтың кіру кернеуінің фазасымен анықталатын түзеткіш болып табылады.

Сельсин роторын бұру кезінде оның орамдарында берілетін ЭҚС амплитудасы және сәйкесінше $U_{\text{шығ}}$ шығу кернеуінің амплитудасы $U_{\text{шығ}}(\varphi)$ қисығы бойынша ротордың бастапқы жағдайында нөлден бастап ($\varphi = 0$) жоғарғы мәнге дейін $\varphi = 90^\circ$ (11.8, б-суретті қараңыз) өзгереді. Басқару аппаратының шығу сигналының желілік тәуелділігін алу үшін ротор бұрылыс бұрышы функциясында $\varphi = \pm 60^\circ$ аймағы пайдаланылады.

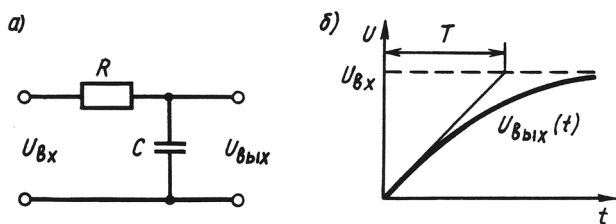
Сельсиндік басқару аппараты негізінде БЗС және БСШД үлгісіндегі ББРЖ қарқындылық задатчиктері орындалады. БЗС қарқындылық задатчигінде ротор РД-09 үлгілі бір фазалы реверсивтік атқарушы қозғалтқышымен жылжиды, ал БСШД задатчигінде ШДР 711 үлгілі қадамдық қозғалтқышы көмегімен жылжиды.

Басқару сұлбаларында, оның ішінде ББРЖ-да желілік және айналыс қозғалысты потенциометриялық белгілегіш құрылғылар (задатчиктер) кеңінен қолданылады. 11.8, в-суретте келтірілген сұлба шығуда екі өрісті сигналды алуды, ал 11.8, г, д-суретте келтірілген сұлба бір өрісті сигналды алуды қамтамасыз етеді.

Егер потенциометрлердің сырғақтарын атқарушы қозғалтқыштардың көмегімен жылжытса, олар қарқындылық задатчигі функцияларын орындай алады. Осындай қағида бойынша ББРЖ-да реостаттық жылдамдық блогы (РЖБ) жасалған, онда РД-09 қозғалтқышы редуктор арқылы РПП үлгісіндегі екі потенциометрдің сырғақтарын жылжытады. Потенциометр білікшелерінің бұрылу бұрышы $0-300^\circ$, олардың шеткі қалыптары микроажыратқыштармен шектеледі.

ББРЖ-да ЗИ-2АИ үлгілі статикалық (қозғалтқыш қолданылмай) қарқындылық задатчигі қарастырылған. Сатылы кіру сигналын уақыт ішінде желілік өзгертін шығу кернеуіне түрлендіруге арналған бұл құрылғыда төрт ОК қолданылады, оның біреуі басқарылатын шектеу режимінде (11.6, а-суретті қараңыз), екіншісі – интегратор режимінде (11.1-кестені қараңыз), ал үшінші мен төртіншісі – инверторрежимінде жұмыс істейді. Операциялық күшейткіштің ЗИ-2АИ ұяшығы өзінің шығу кернеуін $0,5-120$ с уақыт ішінде ± 10 В шеңберінде өзгертуді қамтамасыз етеді.

ЭЖ басқару сұлбаларында сонымен қатар уақыт ішінде өтетін конденсатор әсеріне құрылған қарқындылық задатчиктері қолданылады. 11.9, а-суретте С конденсаторы және R резисторы пайдаланылатын қарапайым қарқындылық задатчигі көрсетілген. R-С тізбегіне $U_{\text{кір}}$ сатылы кіру сигналын беру кезінде оның шығуындағы $U_{\text{шығ}}$ сигналы экспонент бойынша өзгертін болады (11.9, б-суретті қараңыз). $T = RC$ уақыт тұрақтысын өзгерте отырып, шығу сигналы өзгеруінің түрлі қарқынын алуға болады.

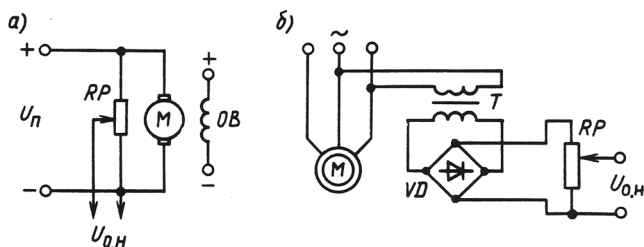


11.9 сурет

Электр жетектерінің координаталары датчиктері. Айтып өткеніміздей, тұйықталған ЭЖ-да талап етілетін статикалық және динамикалық сипаттамаларды қалыптастыру үшін жылдамдық, жағдай, ток пен кернеу бойынша тиісті датчиктердің көмегімен іске асырылатын кері байланыстар қолданылады. Жылдамдық пен токтың аналогты датчиктері 10.4-да қарастырылды. Тұйықталған ЭЖ басқарудың аналогты сұлбаларында қолданылатын кейбір басқа датчиктерді қарастырайық.

ТТҚ ЭЖ арналған *кернеу датчиктері* 11.10, а-суретте көрсетілгендей, М қозғалтқыштың зәкірі қысқыштарына қосылатын потенциометрдің негізінде орындалады. RP потенциометрінен алынатын $U_{он}$ кернеуі бойынша кері байланыс сигналының деңгейі, демек кернеу бойынша кері байланыс коэффициенті де потенциометр қозғалтқышының қалпымен анықталады.

Айнымалы ток қозғалтқыштарының ЭЖ-да кернеу бойынша кері байланыс сигналын алу үшін трансформаторлық сұлбалар пайдаланылады (11.10, б-суретті қараңыз). Аналогты сұлбалар УВ – ТТҚ жүйесінде қолданылады, мұнда кернеу трансформаторлары УВ айнымалы ток тізбегіне қосылады.



11.10 сурет

ББРЖ-да ток пен кернеу бойынша кері байланыс тізбектерін іске асыру ток пен кернеу датчиктері деп аталатын ПН-1АИ және ПН-2АИ ұяшықтары көмегімен жүзеге асырылады. Олар кері байланыс коэффициенттерін реттеуге мүмкіндік береді және күштік тізбектер мен басқару тізбектерінің гальваникалық шешімін қамтамасыз етеді.

Жағдай датчиктері атқарушы органның немесе қозғалтқыш білігінің жағдайына пропорционал электр сигналын алу үшін қолданылады. Мұндай датчиктерде сельсиндер, потенциометрлер мен айналатын трансформаторлар пайдаланылады.

Жағдайдың тұрақты токке шығатын сельсинді датчиктері (11.8, а-суретті қараңыз) атқарушы органмен немесе қозғалтқыш білігімен жалғанады, соның нәтижесінде олардың шығу кернеуі жағдайға пропорционал болады. ЭЖ-да БД 160, БД 404, БД 501, ДИД 505, НЭД-101 үлгісіндегі сельсиндер пайдаланылады.

Бақылаушы ЭЖ-да задатчиктің, жағдай датчигінің, келісілмеуді (қателікті) өлшегіштің функцияларын орындайтын сельсиндік құрылғы қолданылады. Оған екі сельсин, өзара жалғасқан ротор орамдары кіреді. Бұл ретте бір сельсиннің (задатчик) статор орамы қорек көзіне жалғанады (11.8, а-суретті қараңыз), ал басқа сельсиннің (датчик) статор орамынан кернеу алынады, оның мәні мен фазасы олардың роторлары жағдайы арасындағы келісілмеу бұрышымен анықталады. Бұл сигнал одан әрі фазалық сезімтал түзеткішке беріледі.

Жағдайдың потенциометрлік датчиктері 11.8, в...д суреттеріндегі сұлбалар бойынша орындалады. Мұндай датчиктің қозғалтқышын қозғалтқыш білігімен жалғастыру кезінде оның шығу кернеуі біліктің жағдайына пропорционал болады.

Айналатын трансформаторлар негізіндегі жағдай датчиктері электрмеханикалық құрылғылар болып табылады. Сельсиндердегі сияқты олардың шығу кернеулері жылжымалы бөліктің жағдайымен анықталады.

Келісу құрылғылары басқарудың түрлі элементтерін бірыңғай сұлбаға жалғау үшін қолданылады. ББРЖ-АИ-да мұндай құрылғыларға осы жүйенің элементтерін басқа құрылғылармен жалғауға мүмкіндік беретін +24 В кіру сигналы; кернеуі 1000 В дейін электр тізбектерін потенциалдық бөлу үшін қолданылатын РГ-2АИ және РГ-3АИ гальваникалық шешім ұяшықтары; басқару сұлбасында электр сигналдарының сүзгісін қамтамасыз ететін Ф1-АИ және Ф2-АИ сүзгі ұяшықтары бар У1-АИ келісуші күшейткіштің ұяшығы жатады.

ББРЖ құрамына сондай-ақ тұрақты және айнымалы токтың тұрақтандырылған шығу кернеуімен қорек блоктары кіреді.

11.4. ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІҢ ДИСКРЕТТІ ЭЛЕМЕНТТЕРІ ЖӘНЕ БАСҚАРУ ҚҰРАЛДАРЫ

Технологиялық процестерді басқаруда осы процестердің барысы және олардың жұмыс режимдерін оңтайландыру мақсатында ақпаратты жинау, өңдеу және бақылау үшін электрондық есептеу

машиналар (ЭЕМ) қолданылады. Есептеу техникасының құралдарын, оның ішінде бірінші кезекте микропроцессорлық басқаруды қолдана отырып, технологиялық процестерді кешенді автоматтандыру еңбек өнімділігін және сапасын айтарлықтай арттыруға, сонымен қатар жабдық жұмысының сенімділігін жоғарылатуға және қызмет көрсету персоналының жұмыс жағдайларын жақсартуға мүмкіндік береді.

Жұмыс машиналары мен механизмдердің жұмыстарын кешенді ақпараттандыруда олардың ЭЖ-ға қойылатын көптеген талаптар басқарудың цифрлық сұлбаларын орындауға мүмкіндік береді. Олар ЭЖ жұмысының жоғары дәлдігін және тезерекеттігін қамтамасыз етеді және үлкен сенімділігі мен энергияны аз тұтынумен сипатталады. ЭЖ басқарудың цифрлық сұлбалары технологиялық процестерді басқаратын ЭЕМ-мен үйлесіп, олармен ортақ автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) құрады.

Көп жағдайларда өз бойында аналогты және цифрлық (дискретті) элементтер мен құрылғылардың үздік қасиеттерін үйлестіретін ЭЖ басқарудың аралас цифрлық-аналогты сұлбаларын құрған жөн.

ЭЖ-да қолданылатын цифрлық басқару құралдарын келесі топтарға бөлуге болады: қарапайым логикалық операцияларды жүзеге асыратын логикалық элементтер мен триггерлер; логикалық элементтердің жиынтығынан тұратын және сигналдарды күрделірек функционалды түрлендірулерді орындайтын цифрлық тораптар (элементтер кешені); ЭЖ басқарудың күрделі функцияларын жүзеге асыратын цифрлық құрылғылар (тораптар кешені); ЭЖ басқару бойынша барлық функцияларды кіріктірудің жоғары формасы болып табылатын цифрлық есептеу машиналары – ЦЕМ (цифрлық құрылғылар кешені).

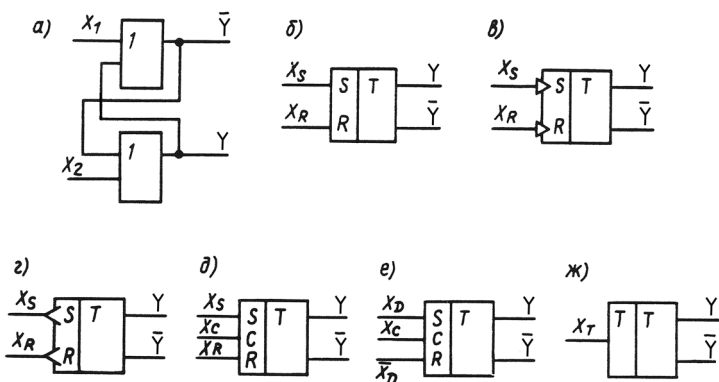
Белгілі бір шарттылығына қарамастан, осындай жіктеу ЭЖ басқарудың цифрлық сұлбаларын талдауда ыңғайлы болады.

Дискретті (цифрлық) элементтер, тораптар мен басқару құралдарының жиынтығы аналогты құралдармен салыстырғанда анағұрлым кең және алуан түрлі. Атап айтқанда, РББЖ-АИ жүйесінде (реттегіштердің біріздендірілген блоктық жүйесі) функционалдық құрылғылардың шамамен 15 түрі болса, РББЖ-ДИ жүйесінде 30-дан аса, яғни екі есе көп осындай құрылғы бар. Негізгі дискретті элементтер мен құрылғыларды қарастырайық.

Триггер – екі тұрақты күйі бар және сыртқы басқарушы сигналдың ықпалымен бір күйден екінші күйге қарғып өту қабілетіне ие цифрлық басқару құралдарының элементтерінің бірі. Триггерлердің қолданылуымен әртүрлі логикалық және есептеу тораптары, сондай-ақ, өндіруші құрылғылар мен жад құрылғылары құрылады. «Өнеркәсіптік электроника» курсының зерттеу пәні болып табылатын триггерлердің техникалық жүзеге асырылуына тоқталмай, олардың функционалдық сипаттамаларын қарастырамыз.

Триггер НЕМЕСЕ-ЕМЕС сияқты екі логикалық элементтен тұрады (11.11, а-сур.) және төмендегідей жұмыс істейді. $X_1 = 1$ кіріс сигналын бергенде және $\bar{X}_2$ ($X_2 = 0$) сигналы болмаған жағдайда жоғары элементтің шығысы $\bar{Y} = 0$ күйіне, ал төменгі (негізгі) элементтің шығысы – $Y = 1$ күйіне орнатылады (айнымалы шаманың үстіндегі сызықпен оның инверстік күйі белгіленеді). X_1 ($X_1 = 0$) сигналы алынғанда сұлбалар n осы күйі сақталады. Енді $X_2 = 1$ сигналын бергенде басқа тұрақты түрге өтеді, онда $Y = 0$, ал $\bar{Y} = 1$.

R – S-триггер 11.11, б-сур. көрсетілген және оның жұмысы статикалық асинхрондық триггердің жұмысына сәйкес келеді. Ағылшын сөзі Set – орнату деген мағынадан өзінің атауына ие болған S кірісіне $X_1 = X_s = 1$ кіріс сигналы беріледі, одан кейін триггердің тура шығысында $Y = 1$ бірлік сигналы, ал инверстік шығыста $\bar{Y} = 0$ сигналы пайда болады (орнатылады). R кірісіне (Reset – түсіру ағылшын сөзінен) $X_2 = X_r = 1$ бірлік сигналы берілгенде Y шығысы бойынша сигнал нөлдік деңгейге ($Y = 0$), ал инверстік шығысы бойынша – бірлік ($\bar{Y} = 1$) деңгейге ауыстырылады.



11.11 сурет

Егер екі кірісте де сигналдар жоқ болса ($X_s = X_r = 0$), триггер өзінің алдыңғы күйін «есте сақтайды», бұл оның маңызды қасиеті болып табылады. $X_s = X_r = 1$ сигналдардың тіркесуіне тыйым салынады, себебі триггердің шығыс күйлерінің белгісіздігін тудырады.

Кіріс сигналдары көздерінің триггердің кірістерімен тікелей әлеуетті байланысы болып, ол солардың деңгейіне жауап қайтаратын жағдайға «статикалық» анықтамасы тән. Егер триггердің кірістері кіріс сигналдарының көздерімен тікелей емес, импульстық трансформаторлар (RC-тізбектер және т.б.) арқылы байланысты болса, ол тек қана кіріс кернеуінің айырмаларына (өзгерістеріне) жауап береді және олардың деңгейіне жауап бермейді. Триггерді

осылай басқару динамикалық деген атауға ие болды. Егер триггер кіріс сигналы 0-ден 1-ге өзгерген жағдайда іске қосылса, оның кірістері тура деп аталады және олардың шартты белгіленуі 11.11, в-сур. көрсетілген. Кері жағдайда, триггер кіріс сигналы 1-ден 0-ге өзгерген жағдайда іске қосылса, оның кірістері инверстік деп аталады және олардың шарты белгіленуі 11.11, г-сур. келтірілген.

«Бей синхрондық» анықтамасы триггердің кіріс сигналдардың жиынтығымен анықталатын ерікті уақытта ауысу мүмкіндігіне сәйкес келеді. Егер триггердің ауысуы тек қана қатаң белгілі бір уақытта орындалуы қажет болса, ол тағы бір C кірісімен толықтырылады, оған X_c тактілік жиіліктегі импульстер жіберіледі. Сонда $X_c = 0$ жағдайында триггер алдыңғы күйін сақтайды, ал $X_c = 1$ сигналының пайда болуы оны ауыстыруға рұқсат береді. Статикалық кірістері бар синхрондық $R - S$ -триггердің шартты белгіленуі 11.11, д-суретінде көрсетілген.

D-триггер синхрондық триггердің бір түрі болып табылады. Оның кірісіне бір сигнал X_D ғана түседі. Осындай триггерді $R - S$ -триггерден алу үшін оның S кірісіне X_D , сигналын, а R кірісіне – инверсті сигнал жіберу керек. *D*-триггердің шартты белгіленуі 11.11, е суретінде келтірілген.

T-триггердің есептік кіруі ғана бар және осы кіру бойынша импульстық сигналмен басқарылады, және кезекті кіру импульсі түскенде триггердің шығуында сигнал қарама-қарсыға өзгереді. Осындай триггелер өздерінің негізгі қолданыстарын импульстерді санауыштарда және бөлгіштерде тапты. *T*-триггердің шартты белгіленуі 11.11, ж суретінде келтірілген.

Екісатылы синхрондық $R - S$ -триггер екі триггерден – кіру және шығу триггерлерінен тұрады, ол оның функционалды мүмкіндіктерін анағұрлым кеңейтеді. Сыртқы айқас байланыстарды қолдану арқылы оның негізінде $/\wedge$ -триггер, который может работать в режимах $R - S$ -триггердің, *D*-триггердің және *T*-триггердің режимдерінде жұмыс істей алатын, яғни әмбебап болып табылатын $/\wedge$ -триггерді шығаруға болады.

Цифрлық тораптар мен құрылғылар өздерінің функционалдық мақсатына қарай есептік, логикалық, жад құрылғылары, келісу элементтері, уақытша құрылғылар, цифрлық-аналогты түрлендіргіштер, деректерді енгізу-шығару құрылғылары және координаталардың цифрлық датчиктері. Осы топтардың құрамын және жеке, ең жиі қолданылатын құрылғылардың жүзеге асырылуын қарастырамыз.

Есептеу құрылғылары әртүрлі арифметикалық операцияларды орындауға арналған. Есептеу операциялары цифрлық тораптарда екілік санақ жүйесінде орындалады. Бұл жүйеде бізге үйреншікті ондық санақ жүйесінің кез келген санын 2 (жүйенің негізі) санының

әртүрлі дәрежелерін қиыстырумен шығара аламыз. Мысалы, 87 ондық санын келесі жолмен жаза аламыз:

$$(87)_{10} = 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = (1010111)_2,$$

яғни, екі санды: 0 және 1 сандарын қиыстырумен ұсына аламыз, бұл сандар екі саны осы разрядының (дәрежесінің) бар (1) немесе жоқтығын (0) көрсетеді. 0-ден 9-ға дейінгі сандарды екілік формамен ұсынамыз:

Саны	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Екілік форма	0000	0001	0011	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001

Санақ жүйесінің негізі сандарды ұсыну үшін қолданылатын сандардың санын көрсетеді. Мысалы, екілік жүйеде (негізі 2) екі сан ғана – 0 және 1, ал ондық жүйеде – 10 (0-ден 9-ға дейін) қолданылады.

Басқарудың цифрлық құрылғыларында сандарды сегіздік және он алтылық санақ жүйесі де қолданылады. Сегіздік санақ жүйесінде сегіз сан: 0-ден 7-дейінгі сандар қолданылады. Ондық 87 саны бұл жүйеде төмендегідей жазылады:

$$(87)_{10} = 1 \cdot 8^2 + 2 \cdot 8^1 + 7 \cdot 8^0 = (127)_8.$$

Он алтылық санақ жүйесінде сандарды ұсыну үшін он сан: 0, 1,..., 9 және латын әрпі – A (он), B (он бір), C (он екі), D (он үш), E (он төрт), F (он бес) қолданылады. Мысалы, A3E,4 он алтылық сан ондық жүйеде төмендегідей жазылады:

$$(A3E,4)_{16} = 10 \cdot 16^2 + 3 \cdot 16^1 + 14 \cdot 16^0 + 4 \cdot 16^{-1} = (2622,25)_{10}.$$

Бұл жүйенің латын әріптерін екілік формада ұсынуға болады: A – 1010; B – 1011; C – 1100; D – 1101; E – 1110; F – 1111.

Сегіздік (он алтылық) санын екілік формаға ауыстыру үшін осы санның әрбір санын тиісті үшразрядтық (төртразрядтық) екілік санмен ауыстыру керек:

$$(24,7)_8 = (10100,111)_2; (5D,6)_{16} = (1011101,11)_2.$$

Он алтылық және сегіздік жүйелер ақпаратты анағұрлым ыңғайлы екілік формада жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Екілік сандарға арифметикалық амалдарды орындау ережелері келесідей:

қосу
 $0 + 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 1; 1 + 1 = 0$ +үлкен разрядқа тасымалдау бірлігі;

алу

$0 - 0 = 0; 1 - 0 = 1; 1 - 1 = 0; 10 - 1 = 1$ бірлікті үлкен разрядтан қарызға алғанда;

көбейту

$0 \times 0 = 0; 0 \times 1 = 0; 1 \times 0 = 0.$

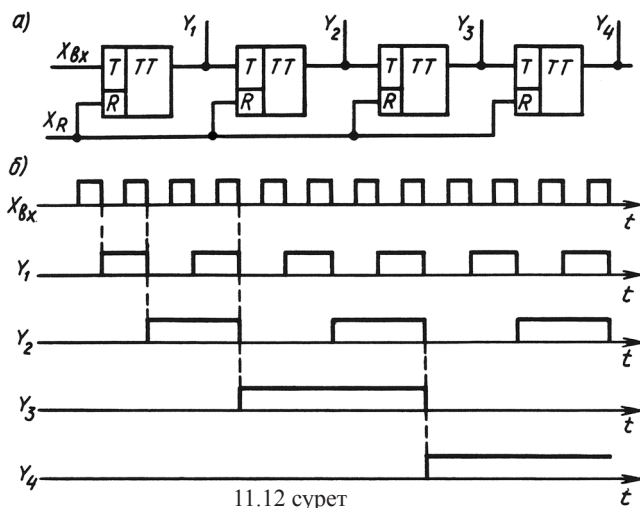
Есептеу құрылғыларына есептеуіштер, жиілік бөлгіштері, сумматорлар және компараторлар (салыстыру құрылғылары) жатқызылады.

Санауыш – кіру сигналдарының санын есептеуге арналған цифрлық торап. Олар қосындылайтын, азайтатын және реверсивті санауыштар болып бөлінеді.

Біртіндеп қосындылайтын екілік санауыш (11.12, а-сур.) төрт екі сатылы Г-триггерлерден тұрады. Бірінші және екінші триггерді қосу және өшіру (шығыс Y_1) X_{6x} кіріс сигналы импульстерінің артқы шебімен орындалады (11.12, б-сур. қараңыз). Қалған триггерлерді қосу және өшіру алдыңғы триггердің тура шығысы импульстерінің артқы шебімен орындалады.

$Y_1 - Y_4$ триггерлерінің шығыс сигналдарының жиынтығы санауышқа түскен екілік формада ұсынылған импульстердің санына сәйкес келеді, триггердің реттік саны екілік санның разрядын анықтайды. Мысалы, санауыштың кірісіне алты импульс түссе, онда $Y_4 = 0, Y_3 = 1, Y_2 = 1, Y_1 = 0$, яғни m импульстердің саны $m = (0110)_2 = (110)_2 = (6)_{10}$. Санауыштың сыйымдылығы $N = 2^n - 1$, формуласы бойынша триггерлердің n санымен анықталады, яғни қарастырылып жатқан $n = 4$ сұлбасы үшін осындай санауышта $(N)_{10} = 2^4 - 1 = (15)_{10} = (1111)_2$ саны жазылуы мүмкін.

Жиілік бөлгіші. 11.12-сур. келтірілген сұлбаны жиілікті бөлу үшін де қолдануға болады. Расында да, 11.12, б-сур. диаграммаға



11.12 сурет

сәйкес, әрбір кейінгі триггердің шығыстарында импульстердің саны бір уақытта екі есе азаяды, яғни, олардың жиілігі екіге азаяды.

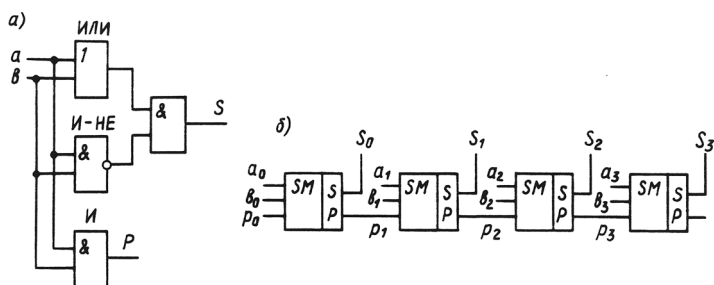
Санауышты нөлдік бастапқы күйге орнату (санауышты тазалау) X_R бірлік сигналын барлық триггерлердің R -кірістеріне жіберу арқылы жүзеге асырылады.

Реверсивті санауыштар сандарды қосындылауды да, азайтуды да қамтамасыз етеді, ал азайту санауыштары – азайтуды ғана қамтамасыз етеді. Бұл санауыштар ұқсас сұлбалар бойынша құрылады.

Сумматор – бұл екі санды қосу операциясын орындайтын цифрлық торап. Әдетте сумматор екілік қосу кестесіне сәйкес жұмыс істейтін бірразрядты қосындылайтын сұлбалардың жиынтығы болып табылады. 11.13, а сур. келтірілген бірразрядты сумматордың сұлбасы екі бірразрядтық a және b сандарын екілік жүйе бойынша қосуды жүзеге асырады:

$$a + b = \begin{cases} 0 + 0 = 0, & S = 0, & P = 0 \\ 0 + 1 = 1, & S = 1, & P = 0. \\ 1 + 0 = 1, & S = 1, & P = 0. \\ 1 + 1 = 10, & S = 0, & P = 1 \end{cases}$$

Мұнда екі бірлікті қосу барысында нәтиже екіразрядтық формада ұсынылады: $S = 0$ – осы разрядта және $P = 1$ – келесі, келесі, үлкендеу разрядқа тасымалдау. Сөйтіп, ерікті разряд үшін қосындылау алдыңғы разрядтан тасымалдау нәтижесі болып табылатын a, b және P , қосылғыштарын ескере отырып орындалуы тиіс. Мысал үшін 11.13, б – сур. төртразрядты сумматордың сұлбасы келтірілген.



11.13 сурет

Сумматорлар азайту операциясын да жүзеге асыруға мүмкіндік береді, ол үшін азайғышқа азайтқыштың разряд бойынша толықтыруын қосу операциясымен ауыстырады. Азайтатын сумматордың сұлбасын [17] қараңыз.

Компаратор – бұл L_n және B_n екі санын салыстыру функциясын

орындайтын цифрлық торап. Осы салыстыру нәтижесінде $A = B$; $A > B$; $A < B$ ара салмақтарының біреуінің ақиқаттылығы анықталады, олардың әрқайсысы тиісті шығыста бірлік сигналмен белгіленеді. Бірразрядтық компаратордың a және b бірразрядтық сандарын салыстыруда жұмыс істеу принципін 11.2-кесте түсіндіреді.

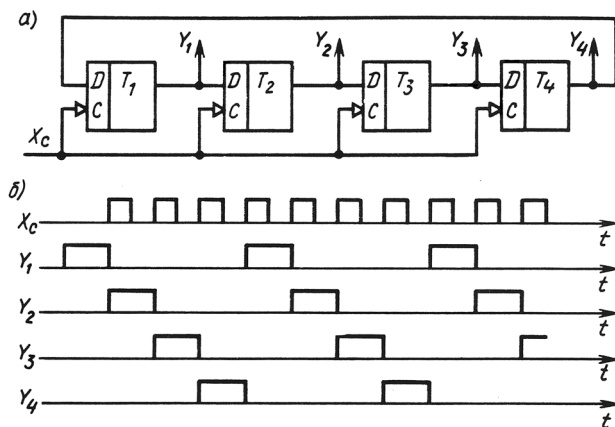
n -разрядтық сандарды салыстыру разряд бойынша орындалады, одан кейін қосымша логикалық сұлба арқылы үлкен разрядтан бастап салыстыру нәтижелері талданады.

11.2 - кесте

a	b	$Y_1(a = b)$	$Y_2(a > b)$	$Y_3(a < b)$
1	1	1	0	0
1	0	0	1	0
0	1	0	0	1
0	0	1	0	0

Логикалық цифрлық тораптар дискретті электр сигналдарына әртүрлі логикалық операцияларды жүзеге асыруға арналған. Оларға импульстер үлестіргіші, шифраторлар, дешифраторлар (шифрды жай жазуға айналдырушы) және мультиплексорлар жатқызылады.

Импульстер үлестіргіші импульстердің бірканалдық бірізділігін үйлестіруді қамтамасыз ететін цифрлық торап, бұл ретте үлестіргіштің алдыңғы $(i - 1)$ -ші шығысында сигналы Y_{i-1} жоғалып кеткенде i -ші шығыста Y_i бірлік сигналы пайда болады, $\bar{Y}_i$ сигналы кіріс (тактілік) импульспен алынады. Үлестіргішті төрт D-триггерде жүзеге асыру үлгісі 11.14, a -суретінде келтірілген.



11.14 сурет

Бірінші триггердің шығысында бастапқы қалыпта $Y_1 = 1$ бірлік сигналы бар деп жорамалдайық. S кірісіне бірінші кіріс (тактілік) импульстың X_C келуі (11.14, 6-сур. қараңыз) бірінші триггердің шығысынан сигналдың жоғалуына ($Y_1 = 0$) және екіншінің шығысында сигналдың пайда болуына ($Y_2 = 1$) алып келеді. Келесі импульс түскенде Y_2 сигналы нөлге теңеледі, ал Y_3 сигналы – бірге теңеледі және т.б. Төртінші триггердің шығысынан сигнал кері байланыстың тізбегі бойынша бірінші триггердің кірісіне түседі және цикл қайталанады. Импульстерді үлестіргіштің әрбір шығысы $Y_1 \dots Y_4$ бойынша үлестірілу жиілігі $= 1/n$, (11.4) ара қатынасымен анықталады,

$$f = f_t / n, \quad (11.4)$$

онда n – үлестіргіштің триггерлерінің саны; f_t – тактілік импульстердің жиілігі.

Дешифратор (декодер) сигналды осылай түрлендіруді n кірістерінде жүзеге асырады, оның шығыстарының бірінде бірге тең сигнал пайда болады, ал қалған шығыстарда нөлге тең сигналдар сақталады. Шифратор кері операцияны орындайды, ол кірістердің бірінде бірлік сигналды бірнеше шығыстарда екілік санға айналдырады.

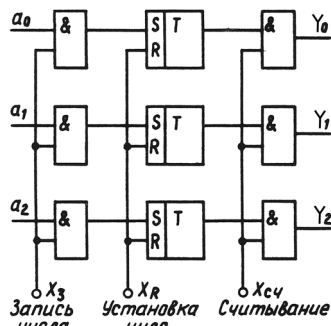
Мультиплексор – бұл сигналдарды бірнеше кіріс желілерінен бір шығыс желісіне жіберуді қамтамасыз ететін цифрлық торап. Кіріс желісін таңдау мульти-плексордың басқарушы кірістеріне жіберілетін басқарушы импульстық сигналдың (кодтың) көмегімен орындалады. Мультиплексор дешифратор сұлбасын шағын түрлендіру арқылы орындалады.

Жад құрылғылары ақпаратты есте қалдыру, сақтау және беруге арналған. Оларға регистрлар, матрица-жинақтауыштар және сақтау құрылғысы жатқызылады.

Регистр көпразрядтық екілік санды жазуға, сақтауға және беруге, олармен күрделі емес логикалық операцияларды орындауға арналған.

11.15-сур. үшразрядтық A санын сақтау үшін регистрдің сұлбасы келтірілген. Сұлбаның негізін үш триггер және алты & деп белгіленген алты И логикалық элемент құрайды.

Жазбаның алдында R кірістеріне $X_R = 1$ сигналы жіберіледі, ол триггерлердің шығыстарына нөлдік сигналдарды орнатады $Y_0 = Y_1 = Y_2 = 0$, яғни алдыңдағы санды «өшіреді» және регистрді жаңа санды жазуға дайындайды. a_0, a_1, a_2 разрядты екілік



11.15 сурет

санды жазу $X_3 = 1$ сигналы түскенде басталады, бұл сигнал сандық ақпаратты қабылдау үшін триггерлердің кірістерін «ашады». Жазылған сан жадыда сақталады және $X_b = 0$ болған жағдайда регистрде сақталады. Жазылған санды оқып алу үшін $X_{сч} = 1$ сигналы беріледі, ол Y_0, Y_1, Y_2 шығыстарына А санының жазылған сандарын шығаруға мүмкіндік береді.

11.15-сур. көрсетілген схема жұмысының қарастырылған тәртібі регистрге санды параллельді кодта енгізуге сәйкес келеді, параллельді кодта ақпарат бір уақытта барлық разрядтар бойынша жазылады.

Параллельді кодтан басқа, сандарды регистрге жазуда бірізді код та қолданылады, ол санды n тактіде бір шығыста жазуды көздейді, тактілер жазылатын санның n разрядтарына сәйкес келеді.

Регистрлерде косымша байланыстар мен логикалық элементтерді енгізу кодты терістету, санды оңға немесе солға разрядтардың талап етілетін санына жылжыту, сандарды басқа разрядқа аудару және сияқты логикалық операцияларды орындауға мүмкіндік береді.

Жад құрылғыларында сақталатын ақпарат көлемі арнайы бірліктермен – биттармен және байттармен өлшенеді. Бит – бұл 0 немесе 1 мәндерін қабылдайтын екілік санның бір разряды. Биттар (разрядтар) тобы сөз құрайды, ол 4, 8, 12 және 16 биттан тұруы мүмкін. Ұзындығы 8 бит сөз байт атауын иеленді.

Матрица-жинақтауыш регистрмен салыстырғанда сақталатын ақпараттың анағұрлым жоғары көлемімен ерекшеленетін жады торабы болып табылады. Матрицаның негізін триггерлер қалайды, олар 1 бит ақпаратты (бірразрядтық екілік сан) сақтауға қабілетті. Көпразрядтық матрица параллельді жалғанған бірразрядтық матрицалардан тұрады. Ақпаратты енгізу және шығару жазу немесе оқып алуға тиісті сигнал берілгенде матрицаның барлық ұяшықтарын байланыстыратын ішкі деректер шиналары (ДШ) арқылы жүзеге асырылады. Бұл сигналдар ұяшықтарға арнайы коммутациялану құрылғысынан басқару шиналары (БШ) арқылы беріледі.

Бағдарламаланатын логикалық матрица (БЛМ) функционалдық деңгейі анағұрлым жоғары матрица-жинақтауыштың бір түрі болып табылады. Оның мақсаты – ЭЖ басқарудың талап етілетін логикалық функциясын қалыптастыру. БЛМ кірісіне тиісті келістіру блоктары арқылы ЭЖ басқару, қорғау және бұғаттаудың сыртқы құрылғылары – басқару, реле, шеткі ағытқыштар және т.б. батырмалары арқылы жіберіледі. Талап етілетін бағдарламаға, жүзеге асырылатын логикалық және диодтық элементтерді біріктіру сұлбасына сәйкес, БЛМ алынатын ақпаратты басқарудың логикалық

сигналына түрлендіреді, бұл сигнал келістіру блоктары арқылы ЭЖ-ның атқарушы элементтеріне жіберіледі. БЛМ 10-тарауда қарастырылған ЭЖ басқарудың түйіспесіз ашық сұлбаларын жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Сақтау құрылғысы (СК) ақпараттың үлкен көлемдерін сақтауға арналған. Ақпаратты дүркін-дүркін жазу және оқуды қамтамасыз ететін СК жедел сақтау құрылғылары (ЖСК) атауын иеленді. ЖСК ерекшелігі – ол ақпаратты қорек көзі болған жағдайда ғана сақтайды, ал ол болмаса, ақпарат жоғалып кетеді.

Жазылған ақпаратты тұрақты сақтауға арналған СК тұрақты сақтау құрылғылары (ТСК) деген атауды иеленді. Бұл құрылғылар онда жазылған ақпаратты қорек болмаса да сақтауға қабілетті. ТСК-ға сақталатын ақпараттың үлкен көлемі, ЖСК-мен салыстырғанда анағұрлым қарапайым сұлбалар және энергияны азырақ тұтыну тән.

Уақытша құрылғыларға жиілігі 100... 500 кГц (I атқару) немесе 1...5 МГц (II атқару) тактілік импульстерді шығаруға арналған эталондық жиілік генераторы және шығу сигналының жиілігі 200 кГц-дейін әмбебап мультидірілдеткіш жатқызылады.

Цифрлық-аналогты құрылғылар төмендегілерден құралады: екілік немесе екілік-ондық кодты тұрақты тоқтың кернеуіне түрлендіретін код- кернеу түрлендіргіші (ТКК); импульстердің қадағалау жиілігін тұрақты тоқтың кернеуіне, сонымен қатар, кері түрлендіруді жүзеге асыратын жиілік-кернеу түрлендіргіші (ЖКТ) және кернеу-жиілік түрлендіргіші (КЖТ).

Келістіру құрылғылары РББЖ-ДИ тораптары мен сигналдарын электр жетекті басқаруды релелік-түйістіргіш аппаратурасымен, логикалық тораптардың шығыс сигналдарын күшейтуді және электр тізбектерінің гальваникалық (әлеуетті) айырығын келістіруді қамтамасыз етеді.

Одан бөлек, РББЖ-ДИ құрамына ақпаратты енгізу-шығарудың қосалқы тораптары және қорек блогы кіреді.

РББЖ-ДИ шеңберінде қарастырылған цифрлық тораптардың базасында күрделі арифметикалық және логикалық операцияларды орындауға мүмкіндік беретін басқарудың типтік блоктары да әзірленген. Оларға цифрлық ақпаратты өңдеуге арналған блоктар (сандарды қалыптастырғыш, сандар дискриминаторы, арифметикалық құрылғы) және жиілік сигналдарын (жиілік сигналдар генераторы, сандық интегратор, басқарылатын жиілік бөлгіші) өңдеуге арналған блоктар, сан кодын жиілікке және жиілікті сан кодына түрлендіру, ақпаратты енгізу және шығару блоктары (кіру және шығу жады регистрлері, импульстік сигналдарды және күй-жағдайдың кодтық датчиктерін қалыптастырғыш, шығыс

күшетйткіштер), сонымен қатар, ЭЖ басқару сұлбаларының аналогты элементтерімен байланыс блоктары жатқызылады.

РББЖ-ДИ тораптары мен блоктары К 155 және К 172 сериялы цифрлық интеграл микросұлбалардың және К 124, К 140, К 153 және К 190 сериялы аналогты интеграл сұлбалардың негізінде жүзеге асырылады. Сыртқы тізбектермен байланыс және келістіру құрылғыларында оптрондық кілттер мен геркондық релелер қолданылады. РББЖ-ДИ-да оның жұмысын РББЖ –АИ-мен келістіруге мүмкіндік беретін біркелкіленген электр сигналы $0...10\text{ В}$, $\pm 5\text{ мА}$ қолданылады. «Металл – оксид – жартылай өткізгіш» (МОЖ) құрылымы бойынша орындалған логикалық элементтер үшін логикалық нөл 0-ден -1 В-ға дейінгі кернеуге, ал логикалық бірлік – -9,5 –нан -20 В-ға дейінгі кернеуге сәйкес келеді. «Транзисторлы-транзисторлық логика» (ТТЛ) типті элементтер үшін бұл деңгейлер тиісінше $0...0,4\text{ В}$ и $2,4... 5\text{ В}$ құрайды. РББЖ -ДИ элементтері баспа монтажымен өлшемі $100 \times 160\text{ мм}$ шынытекстолиттік тақшаларда (модульдерде) орналастырылады, сигналдарды енгізу және шығару разъемдардың көмегімен жүзеге асырылады. Модульдер блоктарға жинақталады, ал блоктар өз кезегінде бірыңғай блоктық біріздендірілген конструкциялардың (ББК) кассеталарына жалғастырылады.

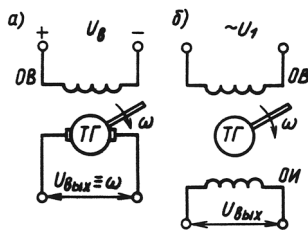
11.5. БАСҚАРУДЫҢ ТҮЙЫҚ СҰЛБАЛАРЫНДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЖЫЛДАМДЫҚ ДАТЧИКТЕРІ ЖӘНЕ ЖАЙ-КҮЙЛЕРІ

Түйық ЭЖ қозғалтқыш білігінің жылдамдығы мен жай-күйі туралы ақпарат алу үшін жылдамдық және жай-күйлердің аналогты және дискретті датчиктері қолданылады.

Жылдамдық датчиктері (тахогенераторлар) қозғалтқыш білігінің немесе жұмыс машинасының атқару органының жылдамдығын өлшеу арналған. Олар шағын қуатты мамандырылған электр машиналары болып табылады, олардың шығыс кернеуі олардың якорінің (роторының) айналу жылдамдығына пропорционалды, яғни $I_{\text{шығ}} = \gamma \omega$, мұнда γ – пропорционалдық коэффициенті. Тахогенераторларға қойылатын негізгі талап – $U(\omega)$ тәуелділігінің желілікке максималды жақындауы, бұл олардың жұмысының дәлдігін анықтайды.

Жұмысының қағидасы мен құрылымы бойынша тахогенераторлар тұрақты және айнымалы тоқты болады.

Тұрақты ток тахогенераторлары тәуелсіз көзден (11. 16, а-сур.) немесе тұрақты магниттен (10.7, б-сур. қараңыз) қоздырылатын шағын генераторлар болып табылады.



11.16 сурет

Айнымалы тоқ тахогенераторлары негізінен бейсинхрондық типтілері қолданылады және өздерінің құрылымы бойынша бір фазалы бейсинхрондық қозғалтқыштардан аз ерекшеленеді. Олардың екі орамасы бар (11.16, б-сур. қараңыз), олардың біреуі ҚО жабдықтағыш желіге қосылады және тахогенераторды қоздыруға арналған, ал екіншісі ӨО өлшеуіш орама болып табылады. Осы ораманың қысқыштарындағы кернеу $u_{\text{вых}}$ тахогенератордың айналу жылдамдығына пропорционалды.

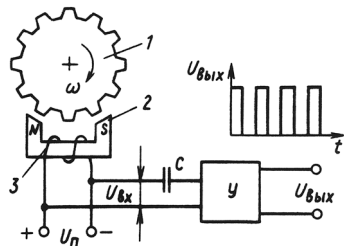
Синхрондық тахогенераторлар көпполустық тұрақты магнит түріндегі роторы аз қуатты бір фазалы синхрондық генератор болып табылады. Ротор айналғанда ол құратын магниттік өріс статордың орамасы орамдарын кесіп өтеді және онда айналу жылдамдығына пропорционалды ЭҚК туралайды, сондықтан статор ораманың қысқыштарында шығыс кернеуі ротор жылдамдығына пропорционалды болып шығады.

Шығыс кернеуінің ротор жылдамдығына тәуелділігі синхрондық тахогенераторлардың ерекшелігі болып табылады.

Жылдамдықтың аналогты датчиктерінен басқа тұйық сұлбаларда цифрлық датчиктер кеңінен қолданылып жатыр, олардың сигналдары басқарудың цифрлық сұлбаларына тікелей түсе алады. Осындай датчиктерді қолдану жұмыс машиналары мен механизмдердің атқару органдарының жылдамдығын реттеудің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Жылдамдықтың импульстық индукциялық датчигі қозғалтқыш немесе жұмыс машинасының білігімен жалғанған тісті дисктен 1 (11.17-сур.) тұрады. Осы дисктің тістеріне қарама-қарсы индуктор 2 орналасқан, бұл индуктор U_n қорек көзіне қосылған өлшеу орамасы 3 бар тұрақты магнит болып табылады. Орамадан алынатын кернеу конденсатор С арқылы бір мезгілде импульстерді қалыптастырғыштың ролін атқаратын күшейткіштің У кірісіне жіберіледі. Дисктің айналуы барысында оның тістері мен индуктор 2 полюстарының арасындағы саңылау өзгереді. Соның нәтижесінде ауа саңылауының магниттік кедергісі және диск тістері 1 мен индуктордың арасынан өтетін магниттік ағын шұғыл өзгереді. Өзгермелі магниттік ағын ЭҚК орамында 3 индуцирлейді, оның жиілігі $f = \omega N / (2\pi)$, мұнда N – диск тістерінің саны; ω – дисктің дисктің (қозғалтқыш білігінің) жылдамдығы.

Осы ЭҚК-мен құрылған айнымалы токтың кернеуі $u_{\text{вых}}$ конденсатор С арқылы күшейткіштің кірісіне беріледі, ол бұл сигналды күшейте отырып, одан шығыс тік төртбұрышты импульстардың бірізділігін қалыптастырылады, олардың

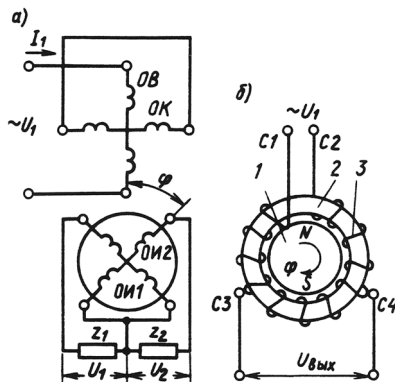


11.17 сурет

жиілігі өлшенетін жылдамдыққа пропорционалды. Әрі қарай бұл импульстер мысалы, РББЖ-ДИ-да бар «жиілік-код» цифрлық блогының көмегімен оларды белгілі бір уақыт аралығында алынған санды келесі интервалдың уақытына сақтап, санау арқылы екілік санға түрлендіреді. Қажет болған жағдайда жиілігі бойынша айнаымалы осы сигналды ЭЖ басқарудың аналогты сұлбаларында қолдану үшін тұрақты токтың кернеуіне (мысалы, интегралдық операциялық күшейткіштің көмегімен) де түрлендіруге болады.

Жай-күй датчиктері ЭЖ басқарудың тұйық сұлбаларында қолданылады және аналогты немесе цифрлы жүйелермен орындалады.

Айнаымалы (бұрмалы) трансформаторлар, қозғалтқыш білігі немесе жұмыс машинасының жай-күйінің (бұрылыс бұрышы) аналогты датчиктері болып табылады, қуаты аз индукциялық электр машинасы болып есептеледі. Олардың жұмысын кең тараған синустық-косинустық айнаымалы трансформатордың (СКАТ) мысалында қарастырамыз. Бұл трансформатордың (11.18, а-сур.) төрт орамасы бар, олардың екеуі (қозу орамасы ҚО және өтемдеуші орама ӨО) статорда орналасқан және екеуі (өлшеуіш $OII1$ және $OII2$) екінші реттік деп аталады, олар роторда орналасқан. Ротор жай-күйі тексерілуі тиіс қозғалтқыштың валымен немесе жұмыс машинасымен жалғастырылады.



11.18 сурет

Қозу орамасына ҚО U_1 айнаымалы тоғының кернеуі жіберіледі. Оның ықпалымен өтетін ток СКАТ-тың ауа саңылауында ток магниттік ағынды құрады, оны ЭЖК екінші реттік (роторлық) орамаларда туралайды. Осы ЭЖК-нің $OII1$ (синустық) орамасындағы мәні синуска пропорционалды, ал $OII2$ орамасында (косинустық) – роторға қатысты ротор бұрылысының ϕ бұрышының косинусына пропорционалды. z_1 және z_2 жүктемелеріндегі $U = U_{\max} \sin \phi$ және $U_2 = U_{\max} \cos \phi$ кернеулері қозғалтқыш білігінің ϕ бұрылысының бұрышы туралы ақпараты болып табылады.

Әдетте тұйықталатын өтемдеуші орама ΘO ротор орамалары тоғының магниттік өрісінің зиян ықпалын өтеуге арналған, сөйтіп айналмалы трансформаторлардың қателерін төмендетуді қамтамасыз етеді.

ЭЖ тұйық жүйелерінде желілік айналмалы трансформаторлар да қолданылады, олардың ротор орамасының шығыс кернеуі ϕ бұрышына тура пропорционалды.

Сельсин, ЭЖ басқарудың тұйық жүйелерінде жай-күйдің аналогты датчигі ретінде жиі қолданылады, біліктің бұрылысы бұрышын электр сигналына түрлендіруді қамтамасыз ететін аз қуатты электр машинасы болып табылады. Сельсиннің тапсырғыш құрылғысы ретінде қолданылуын 11.3 бөлімінде, ал қадағалаушы ЭЖ-ның жай-күйі датчигі және келісілмеуді өлшеуші ретінде қолданылуын – 11.10 бөлімінде қараңыз.

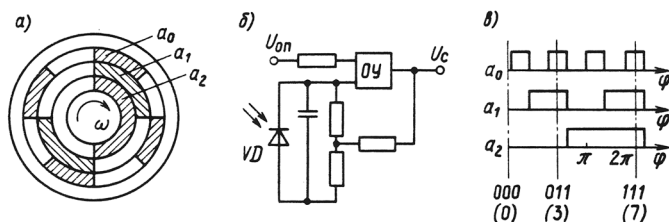
Магнесин (11.18, б-сур. қараңыз) бұрылыс бұрышының түйіспесіз электрмеханикалық датчигі болып табылады, сельсинмен салыстырғанда айналмалы трансформаторы бар анағұрлым қарапайым құрылымы, азырақ салмағы және габариттік өлшемі және өлшеудің жоғары дәлдігі бар ($2,5^\circ$ -дан кем).

Магнесин паздарсыз тороидальді өзекшеден 2 тұрады, оған шиыршықты орама 3 оралған. Ораманың оны айнымалы токтың бір фазалық жабдықтағыш желіге қосу үшін $C1$, $C2$ қысқыштары және бір-біріне 120° бұрышпен орналасқан, шығыс кернеуін түсіру үшін $C3$, $C4$ шығыстары бар. Магнесин роторы қозғалтқыштың білігімен жалғанатын цилиндрлі формалы тұрақты магнит l болып табылады. $C1$, $C2$ қысқыштарына U_1 жеткізу кернеуін жібергенде $C3$, $C4$ орама шығыстарында магнесин ϕ роторының бұрылысы бұрышына пропорционалды, ЭЖ басқа сұлбасына түсетін $i_{\text{вых}}$ шығыс кернеуі пайда болады.

Индуктосин ЭЖ механикалық элементтерінің немесе жұмыс машиналарының атқару органдарының желілік жылжуларын өлшеу үшін қолданылады. Құрылысы бойынша ол желілік бейсинхронды қозғалтқышқа ұқсайды және жазық статор мен жылжымалы роторы бар. Статорда орналасқан бастапқы орамасы айнымалы токтың бір фазалық желісіне қосылады, бұл ретте екінші рет орамасында роторды жылжытуда оның қалпына тәуелді ЭҚК тураланады. Индуктосиндердің дәлдігі бірнеше микрометрге жетуі мүмкін.

Бастапқы элемент ретіндегі *жай-күйдің сандық фотоэлектрлік датчигі* машины қозғалтқыш немесе жұмыс машинасының білігімен жалғанатын кодтаушы дисктен (11.19, а-сур.) тұрады. Диск бірнеше центрілік сақинадан (жолдардан) тұрады, олардың әрқайсысында сегмент тәрізді мөлдір және мөлдір емес учаскелері бар. Минималды радиусты (яғни, диск осіне ең жақын орналасқан т.) сақинаның осындай екі учаскесі бар және

ол шығыс санының үлкен разрядына жатқызылады. Әрбір келесі сақинада осы учаскелердің саны екі есе артады, ол сандарды екілік ұсынуда келесі разрядқа сәйкес келеді. Суретте көрсетілген диск үш сақинадан тұрады, ол оны үш разрядтық екілік санның көмегімен қалыптастыруға көмектеседі.



11.19 сурет

Сигнал алу фотоэлектрлік әдіспен орындалады. Ол үшін дисктің бір жағынан сақиналарының саны бойынша жарық көздері – жарықдиодтар, ал екінші жағынан – жарықты қабылдауыштар – фотодиодтар орналастырылады. Олардың арасында дисктің мөлдір учаскесі тұрғанда, жарықдиод фотодиодты жарықтандырады, соңғысының электр кедергісі күрт өзгереді, ол жай-күй датчигінің келесі жұмысы үшін шығыс ықпалы болып табылады электрлі.

Бір разрядқа сәйкес келетін жай-күй датчигінің бір каналының схемасы 11.19, б сур. көрсетілген. VD фотодиод реле элементі режимінде операциялық күшейткіштің ОК кірісіне қосылған. Бастапқы қалыпта күшейткіш теріс тірек кернеуімен $C_{оп}$ «жабық» болады. Фотодиодты VD жарықдиодпен жарықтандырғанда күшейткіш «ашылады» және оның шығысында екілік санның бірлігіне сәйкес келетін электр сигналы пайда болады. Күшейткіштердің саны жай-күй датчигінің разрядтылығын анықтайды. Кодтаушы дисктің жай-күйінің 360° шегінде (бір айналым) кез келген қалпына күшейткіштердің шығысындағы нөлдер мен бірліктердің белгілі бір тіркесімі, яғни бұрыштың белгілі бір сандық белгіленуі сәйкес келеді. Қарастырылып жатқан үш разрядтық датчик (11.19, в-сур. қараңыз) жұмысының диаграммасынан көретініміз: дискті 360° -ге бұрғанда күшейткіштер шығыстарынан 000-дан 111-ге дейін сигналдардың сегіз комбинация орын алады. Бұл санның ондық жүйеде 0-ден 7-ге дейін өзгеруіне сәйкес келеді.

Келтірілген диаграммадан жай-күй датчигі шығысынан сигнал әр 45° сайын өзгереді де көруге болады, бұл оның дискреттілігін (дәлдігін) анықтайды. Жалпы жағдайда жай-күйдің цифрлық датчигінің дискреттілігі $\Delta\varphi = 360^\circ/2^n$ өрнегімен анықталады, онда n – оның разрядтарының саны.

Жай-күйдің цифрлық датчиктерінің дәлдігін арттыру үшін қозғалтқыштың білігімен редуктор арқылы жалғанған бірнеше кодтаушы дисктер қолданылады.

Жай-күй датчиктерінде фотоэлектр бастапқы элементтердің орнына дәлділігі жоғарырақ шығыс сигналдарын алуға мүмкіндік беретін индуктосиндері бар индуктивті датчиктер қолдана алады. Олардың дәлдігін сипаттайтын осындай датчиктердің айыру қабілеті $\Delta\varphi = 360^\circ/(p-2^n)$ өрнегімен анықталады, онда, p – число пар индуктосин полюстері жұптарының саны. Бұл сан бірнеше жүзді құрай алатындықтан, дәлдік бұрыштық секундалардың бірнеше бірлігімен (немесе ондық бірліктермен) қамтамасыз етіле алады.

ЭЖ басқарудың цифрлық жүйелерінде ПДФ-3 және ДИФ-5 типті импульстік датчиктер қолданыс тапты. Олардың біріншісінің импульстердің екі сериясы түрінде шығыс сигналы бар, импульстері бір-біріне қатысты периодтың ширегіне ығыстырылған. Қозғалтқыш білігінің бір айналымында импульстердің саны 600 құрайды. Өртүрлі модификациялы ДИФ-5 типті датчиктер датчик білігінің бір айналымында 45-тен 1800-ге дейін импульс алуға мүмкіндік береді.

Соңғы кезде ЭЖ тұйық сұлбаларында қозғалтқыш білігінің жылдамдығы мен жай—күйінің кешенді жылдамдық және жай-күй датчиктері қолданылады. Оларға ПДФ-8 және ПДФ-9 типті датчиктер жатқызылады, олар жылдамдық датчигінен (тұрақты ток түйіспесіз тахогенератор) және біліктің бір айналымында 125-тен 2500-ге дейін импульс шығаратын ротордың жай-күйінің и фотоимпульстық датчигінен тұрады. Сонымен қатар, мұндай датчиктер ЭЖ-да вентильді қозғалтқыштары бар ЭПБ-1 және ЭПБ-2 қолданылады.

11.6. ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН БАСҚАРУДЫҢ МИКРОПРОЦЕССОРЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ

Микропроцессор (МП) деп цифрлық ақпаратты өңдеу және осы процесті басқаруды жүзеге асыратын және бір немесе бірнеше үлкен интеграл микросұлбаларға (ҮИМ) негізделген бағдарламалық-басқарылатын құрылғы. Осы анықтамада тұжырымдалған МП негізгі белгілеріне тоқталамыз.

Микропроцессор бір немесе бірнеше ҮИС негізінде орындалады, олардың әрқайсысы бірнеше ондық мың қарапайым элементтерден – транзисторлар, диодтар, резисторлар және конденсаторлардан тұрады ҮИС ауданы бірнеше ондық шаршы миллиметрден аспайды. МП-ның осындай орындалуы оның энергияны аз тұтынуын, жұмыстағы жоғары сенімділігін, шағын салмағы мен габариттік өлшемдерін, ал жаппай шығаруда – қымбат емес бағасын анықтайды.

Микропроцессор икемді жұмыс алгоритмі бар басқару элементі болып табылады, ол оған жүктелетін өзгертіле алатын бағдарламамен анықталады. МП-ның осы маңызды ерекшелігін жақсырақ түсіну үшін ЭЖ басқару сұлбаларының логикалық тораптарының жұмысысын еске түсіреміз (10.6 бөлімді қараңыз). Бұл сұлбаларда берілген логикалық операцияларды жүзеге асыру үшін өзара тиісті жолмен жалғанған логикалық элементтердің белгілі бір жиынтығы қолданылады. Осындай сұлбалардың қызмет ету алгоритмін өзгеру қажеттілігі болғанда оларды қайта жөндеу (қайта монтаждау) керек, ол бір элементті басқаларына ауыстырумен немесе жаңа элементтерді қосу және оларды жалғау сұлбасын өзгертумен байланысты болады, яғни басқа сөзбен айтқанда, басқару сұлбасының аппараттық (элементік) бөлігін өзгеру талап етіледі.

МП қолдануда сұлбаның қызмет ету алгоритмін өзгерту бір бағдарламаны екінші бағдарламаға ауыстыру арқылы қолжеткізіледі, ол оңай, қарапайым, басқару сұлбасын қайта баптауға кететін уақытты азайтуға мүмкіндік береді.

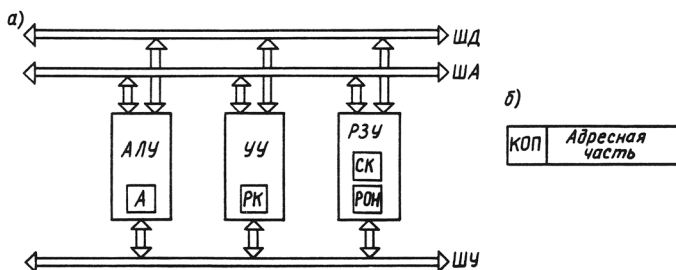
Осылардың барлығы МП негізінде орындалған күрделі өндірістік кешендерден бастап, балаларға арналған ойындарға дейін басқару құралдарын қолданудың қарқынды өсуін анықтады. МП энергетикалық жүйелердің жұмысын және жеке энергоблоктарды автоматтандыру үшін, автомобильдерді басқаруда, тұрмыс техникасында, ғылыми зерттеулер мен жобалық жұмыстарды автоматтандыру және басқа көптеген жағдайларда қолданылады. Дамыған елдерде МП үшін УИС шығару шашамен екі жыл сайын екі есе артуы МП қолдану салаларының кеңеюін дәлелдейді.

ЭЖ координаталарын реттеу диапазонына, оның функционалды міндеттеріне, сенімділігі мен құнына қойылатын талаптардың үнемі өсуі; сондай-ақ, электроника және микроэлектрониканың жаңа жетістіктері микропроцессорлық техниканың жаңа түрі – қозғалтқыштарды басқаруға арналған микроконтроллердің (ағылш. Motor control) пайда болуына негіз болды. ЭЖ-да қолдануға бағытталған бұл құралдар секундына бірнеше ондық миллион операциялар жасау сияқты өнімділікке ие болып, цифрлық басқару жүйесінің жоғары тиімді кіріккен жүйелерін, сондай-ақ, технологиялық жабдықты автоматтандыру сұлбаларын жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Микропроцессордың құрылымдық сұлбасына (11.20, а сур.) арифметикалық-логикалық құрылғы *АЛҚ*, басқару құрылғысы *БҚ* және регистрлік сақтау құрылғысы *РСҚ* кіреді. МП-ның осы үш негізгі бөлігі үш байланыс желісімен – деректер шиналары *ДШ*, адрестер шиналарымен *ΔА* және басқару шиналарымен *БШ* байланыстырылған.

Арифметикалық-логикалық құрылғы екілік сандар түрінде ұсынылған деректермен арифметикалық және логикалық операцияларды орындауға арналған. Осы операциялар өткізілетін

деректер операндтар деп аталады. Әдетте операцияға екі операнд қатысады, олардың біреуі арнайы регистрде – аккумуляторда А, ал екіншісі – регистрлерінде *РСК* (немесе МП жадысында) орналасады. Кейде *АЛҚ* МП-ның операциялық бөлігі деп атайды.



11.20 сурет

Регистрлік сақтау құрылғысы содержит жалпы мақсаттағы регистрлерді (ЖМР), сонымен қатар арнайы мақсаттағы регистрлерді, пәрмендер санаушыын ПС қамтиды. Кейде *РСК*-ны МП-ның ішкі жадысы деп атайды.

Басқарушы құрылғы блоктарының жұмысын қамтамасыз ететін басқару сигналдарын шығаруға арналған. *БК* құрамына пәрмендер регистрі *ПР* кіреді, онда осы сәтте орындалып жатқан пәрмен тіркеліп жазылады.

Бұрын атап өтілгендей, МП жұмысы оның жадысында жазылған бағдарламамен қамтамасыз етіледі.

Бағдарлама. Ақпаратты өңдеудің берілген алгоритмін жүзеге асыруды қамтамасыз ететін пәрмендердің реті бағдарламаны құрайды. МП жұмысының маңызды ерекшелігі – онда бағдарламаның пәрмендері қадамдық режимде қатаң жазылған ретте орындалады.

Бағдарламаның әрбір пәрмені не істеу керек, операция нәтижесін қандай операндтармен және қай адрес бойынша орналастыру керектігі туралы ақпаратты қамтиды. Ол үшін команданың 11.20, б-сур. келтірілген құрылымы бар. Оның бірінші бөлімі операция кодын ОПК, яғни операндтарға операцияның сипатын (мыс., қосу, логикалық салыстыру және т.б.) қамтиды. Пәрменнің екінші бөлігі – адрестік – осы операция жүргізіліп жатқан операндтардың орналасу адрестерін, нәтиженің орналастырылуы тиіс регистрдің адресі немесе жады ұяшығын қамтиды.

МП пәрмендері, адрестері және операндтары екілік көпразрядтық сандармен белгіленеді, барлық цифрлық құрылғыларда сияқты, кернеудің екі деңгейінің – жоғары және төмен деңгейдің комбинациясымен ұсынылады. Бірінші МП-да төртразрядтық сандар

қолданылса, қазіргі МП-да сегіз және он алты разрядтық сандар қолданылады. ақМП-да көпразрядтық екілік сандарды қолдану олардың жұмысының тезерекеттігін және дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

МП бағдарламасы (пәрмендер жиынтығы-ПЖ) бірнеше тәсілмен жазыла алады. Біріншісі пәрмендерді тікелей екілік сандар түрінде, осы МП-ға түсінікті машиналық код түрінде жазуды көздейді. Бағдарлама құрудың осындай әдісі көптеген жағдайларда ыңғайсыз болып шығады және әсіресе, үлкен бағдарламаларды құру барысында көп уақыт шығынын талап етеді.

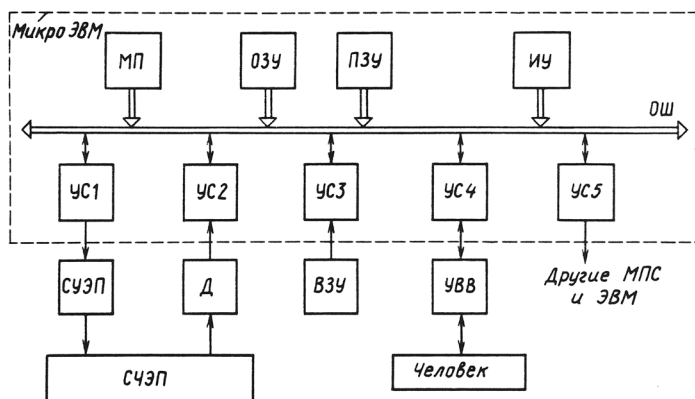
Бағдарламалау тілдерін қолдану анағұрлым ыңғайлы болып саналады. АССЕМБЛЕР типті төмен деңгейлі тілдер МП-мен қатынас құралы ретінде шарты мнемокодтарда ұсынылған бірнеше ондық типтік пәрмендерді қамтиды. Мысалы, К 580 типті отандық сегізразрядтық МП үшін осы типтің тілі шамамен 80 типтік пәрменді қамтиды – арифметикалық, логикалық, деректерді жіберу, басқаруды беру және бірқатар басқа пәрмендер. Қайсыбір тілдің бағдарламалау кезеңінде қолданатынын атап өткен жөн, ал МП өзінің жұмысында екілік сандарды қолданады.

ФОРТРАН, ПАСКАЛЬ, ПЛ/М, БЕЙСИК, СИ, АДА және олардың түрлері (диалектілер) сияқты жоғары деңгейлі бағдарламалау тілдері микропроцессорлық схемаларды пайдаланушыға үлкен мүмкіндіктер мен ыңғайлылықтарды ұсынады. Осы тілдерде құрастырылған бағдарламалар әрі қарай кросс-бағдарламалар атауын иеленген арнайы бағдарламалардың көмегімен МП-ға түсінікті машиналық кодтар жүйесіне таратылады (аударылады).

11.20, а сур. ұсынылған МП тікелей ЭЖ (немесе басқа объектіні) басқару үшін қолданыла алмайды. Басқару функциясын орындау үшін МП сұлбасы бірқатар блоктармен толықтырылуы тиіс, олардың қатарына жад құрылғылары, ЭЖ басқа блоктарымен келістіру құрылғылары, енгізу-шығару құрылғылары, тактілік импульстердің генераторы және т.б.

Микропроцессорлық жүйе. МП және жоғарыда тізілген құрылғылардың жиынтығы микропроцессорлық жүйені (МПЖ) құрайды, оның құрылымдық сұлбасы 11.21-сур. келтірілген.

Осы МПЖ құрамына МП-мен қатар жедел ЖСҚ және тұрақты ТСҚ жад құрылғылары, интерфейстік құрылғы *ИҚ*, сыртқы объектілермен түйіндесу құрылғылары *ТҚ*; сыртқы сақтау құрылғылары *ССҚ*, ақпаратты енгізу-шығару құрылғылары *ЕШҚ*, *ДШ*, *БШ* және *АШ*-дан құралатын жалпы шина *ЖШ* кіреді. Одан бөлек, ЭЖ күштік бөлігі ЭЖКБ сұлбасында белгіленген түрлендіргіш – қозғалтқыш – механикалық беріліс). Қысқаша МПЖ әрбір құрылғысын қарастырамыз.



11.21 сурет

ЖСҚ және ТСҚ сақтау құрылғылары служат өңделуге тиісті деректер мен бағдарламаны, сонымен қатар, өңдеу нәтижелерін орналастыру үшін арналған. МПЖ мүмкіндіктерін кеңейту үшін, *ЖСҚ* мен *ТСҚ*-дан басқа, *ССҚ* қолданылуы мүмкін, олардың қатарына иілгіш магниттік дисктердегі ақпарат жинақтауыштар, сондай-ақ, кассеталық жинақтауыштар жатады.

Ақпаратты енгізу-шығару құрылғылары (ЕШҚ) МПЖ және адамның оған ыңғайлы формада өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету үшін арналған. Енгізу-шығару құрылғыларына басқару пультінің пернетақтасы, баспа машинка (принтер), графиксалғыштар, ақпаратты визуалды ұсыну құрылғылары және т.б

Түйіндесу құрылғылары (*ТҚ*) МПЖ-нің әртүрлі сыртқы (перифериялық) құрылғылармен байланысын қамтамасыз етеді. Олардың алуан түрлі сұлбалық және элементтік жүзеге асырылулары мүмкін. Атап айтқанда, МПЖ-ны ЭЖ координаттар датчиктерімен байланысы үшін (Д және ЭЖ басқару сұлбаларының блоктары (*ЭЖБС*) электр сигналдарын широко используются аналогты-цифрлық (АЦТ) және цифрлы-аналогты (ЦАТ) түрлендіргіштер кеңінен қолданылады, сұлбада *ТҚ1* және *ТҚ2* деп белгіленген.

МПЖ-ны с *ССҚ* және *ЕШҚ*-мен байланыстыруға арналған *ТҚ3* және *ТҚ4* түйіндесу құрылғылары деректерді сақтау үшін случае буферлік (аралық) жады регистрлері болып табылады, деректер жалпы шинадан *ЖШ* сыртқы құрылғыларына және кері жіберіледі. Контроллер (микрoкoнтроллер) атауын алған түйіндесу құрылғылары күрделірек функцияларды орындайды, және олардың жұмысы бағдарламаланады.

Осы МПЖ жұмысын басқа МПЖ және ЭЕМ-мен келістіруді орындайтын *ТҚ5* түйіндесу құрылғылары адаптерлер деп аталады.

Интерфейстік құрылғы (ИҚ) – бұл МП, жады және сыртқы құрылғылардың (*ЕШҚ, ССҚ, Д*) арасында ақпарат жіберуді басқаруды қамтамасыз ететін электрондық сұлбалар, шиналар мен алгоритмдердің (бағдарламалардың) жиынтығы. Басқа сөзбен айтқанда, интерфейстік құрылғы МПЖ-ның жұмыс режимі ауысқан жағдайда көрсетілген сыртқы құрылғылармен талап етілетін өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді. Қайсыбір сыртқы құралдан басқару сигналы түскен жағдайда бір бағдарламаны орындаудан басқасына ауысу типтік үлгі болып табылады. Мұндай ауысу үзілім атауын иеленді. Ұзу бағдарламасы аяқталғаннан кейін ИҚ МРЖ-ның үзілген бағдарлама бойынша жұмысқа қайта оралуын қамтамасыз етеді. ИҚ мысалдары – таймер, жадыға тура қолжеткізу блогы, үзілімдерді ұйымдастыру блогы.

МП, жады және интерфейстің жиынтығы микроЕЭМ атауына ие болды, интерфейс ИҚ, ТҚ және ЖШ-дан құралады.

МПЖ мен микроЕЭМ мақсатына қарай әмбебап және мамандандырылған болып бөлінеді.

Әртүрлі объектілерді (оның ішінде ЭЖ), технологиялық процестерді, өнеркәсіп мекемелерін басқаруды қамтамасыз ете алатын, әртүрлі есептеу операцияларын орындай алатын МПЖ мен ЕЭМ әмбебапқа жатқызылады. Осы функцияларды орындау үшін МПЖ-ның 11.21-сур. көрсетілген сыртқы (перифериялық) құрылғылардың ауқымды жиынтығы бар. Әдетте нақты қолдануда осы құрылғылардың бір бөлігі іске қосылмауы мүмкін, яғни әмбебап МПЖ және ЕЭМ элементтік артықтыққа ие.

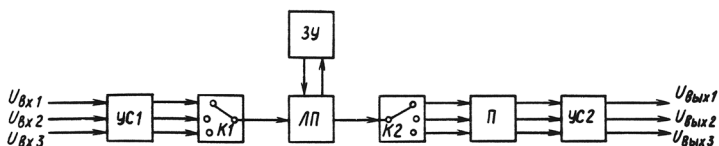
Мамандандырылған деп өздерін құру кезеңінің өзінде нақты қолдануға – білдек немесе роботтың ЭЖ басқару сұлбалары, тұрмыстық аспаптап немесе балалар ойындары, өлшеу жүйелері және т.б. бағытталған МПЖ аталады. Бұл жағдайда МПЖ-ның нақты, алдын ала анықталған функциялардың орындалуын қамтамасыз ететін құрылғылары және бағдарламалық қамтамасыз етілуі болады.

Бағдарламаланатын контроллер (БК) мамандандырылған МПЖ-ның кең тараған мысалы болып табылады.

БК-ның орындайтын функцияларын және әсіресе, оның құрылымдық ерекшеліктерін жақсырақ түсіну үшін сұлбаларға (10.23-сур. қараңыз) жүгінеміз, олар ЭЖ басқаруда әртүрлі логикалық операцияларды жүзеге асырады – бір түйістіргіш қосылу тұрғанда екіншісін қосуға тыйым салу, басқару батырмасын басқанда және тыйым салатын қорғаныс сигналы болмаған жағдайда қозғалтқышты іске қосуға рұқсаттың берілуі. Осыған ұқсас сұлбалар қатты (немесе монтаждық) логика атауын иеленді, себебі берілген логикалық операциялардың жүзеге асырылуы элементтердің белгілі бір жиынтығымен және олардың арасындағы байланыстармен қамтамасыз етіледі. Басқарудың күрделі жүйелерін жүзеге асыруда

(20...30 элемент және одан да көп) қатты логикалы сұлбалар үлкен салмаққа және габариттік өлшемдерге ие болады, олардың энергия тұтынуы артады, баптау және олардың жұмысын диагностикалау және тиісінше жөндеу күрделене түседі. Осындай сұлбалардың ең маңызды кемшілігі – жаңа функцияларды ендіруде немесе жарым-жартылай өзгертуде сұлбаларды қайта жасау (қайта монтаждау) қиындығы.

Бағдарламаланатын контроллерлерді МПЖ-ның бір түрі ретінде қолдану ЭЖ басқарудың күрделі сұлбаларын құрастыруда баламалы (техникалық және экономикалық тұрғыдан тиімді) шешім болып табылады. БҚ қолдану қатты логикалы сұлбаларға тән, бірінші кезекте, басқарудың күрделі заңдарын жүзеге асыруда икемділіктің жоқтығы сияқты кемшіліктерден құтылуға мүмкіндік береді. Бағдарламаланатын контроллер – бұл логикалық кіріс сигналдарды өңдеу, оларды түрлендіру және ЭЖ-ға басқарушы ықпалдарды жасауға арналған және алдын ала берілген бағдарлама бойынша жұмыс істейтін мамандандырылған МПЖ. Түсетін ақпаратты өңдеу және басқарушы ықпалдарды жасау процесі БҚ-да бағдарлама бойынша жүзеге асырылады және уақыттың шынайы масштабында орындалады.



11.22 сурет

БҚ (1.22-сур) құрамына сақтау құрылғысы *СК* кіреді, онда оның жұмысының бағдарламасы қамтылған; бірізді енгізілетін сигналдарға логикалық операцияларды жүзеге асыратын логикалық процессор *ЛП* (11.20-сур. сұлбада *АЛҚ*); кіріс *K1* және шығыс *K2* сигналдарының коммутаторлары; БҚ-ның кіріс *ТҚ 1* және шығыс *ТҚ2* сигналдарымен түйілісу құрылғылары, сонымен қатар, жады *Ж*, оған логикалық операцияларды орындау нәтижелері келіп түседі.

Технологиялық процестің барысы, ЭЖ жеке бөліктерінің жұмыс режимдері, қорғаныстың жай-күйі туралы ақпаратты қамтитын $u_{\text{кпр}1}, u_{\text{кпр}2}, \dots, u_{\text{вх}3}$ кіріс сигналдары түйістіру құрылғысының *ТҚ1* кірісіне келіп түседі, түйістіру құрылғы олардың гальваникалық айырығын және олардан осы БҚ-да қолданылатын мәні мен түріне сәйкес келетін сигналдардың қалыптастырылуын қамтамасыз етеді.

Осылай қалыптастырылған сигналдар поступают на вход коммутатордың *K1*, кірісіне келіп түседі, ол который

последовательно подает на *ЛП-ға СҚ-дан* келіп түсетін кезекті пәрменде қамтылған адресі жібереді.

СҚ-да жүктелген бағдарламамен анықталатын ЛП түрлендірулерден кейін сигналдар коммутатор *К2* арқылы жады Ж регистріне, сосын *ТҚ2* арқылы *БК* шығысына келіп түседі.

Операцияларды бірізді орындау қағидасы ақпаратты өңдеу уақытын ұзартады, бірақ бір операцияны орындау уақыты бірнеше микросекунд қана құрағандықтан, БК тезәрекеттігі көп жағдайда жеткілікті болады.

Кіріс сигналдары ретінде кернеуі тұрақты немесе айнымалы тоқтың 5-тен до 250-ге В дейінгі сигналдарға рұқсат беріледі, олардың жалпы саны мыңға жетіп, одан да көп бола алады. Шығыс түйістіру құралдары *ТҚ2* әдетте шығыс тізбектерінің гальваникалық айырығын қамтамасыз ететін және реле, контакторлар, электр магниттерінің катушкалар сияқты қуатты атқару құрылғыларын басқаруға мүмкіндік беретін оптрондық тиристорлар негізінде құрылады.

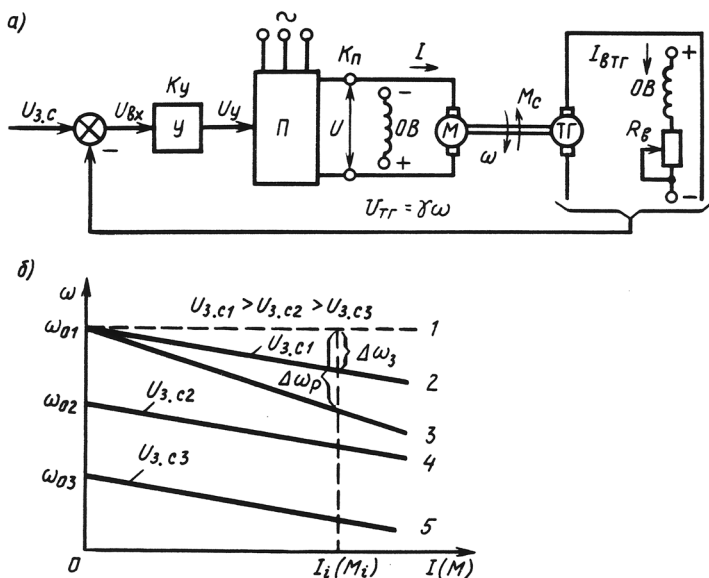
Басқарудың цифрлық жүйелері теориясында кез келген логикалық түрлендірулер қарапайым ЖӘНЕ, НЕМЕСЕ, ЕМЕС логикалық операциялардың көмегімен орындалатыны көрсетіледі. Бұл ереже БК жұмысын бағдарламалық қамтамасыз етудің қарапайымдылығын, МПЖ саласында бағдарламалау саласында арнайы білімдері жоқ қызметкерлерге де қолжетімділігін анықтайды. Жүктеу, логикалық, меншіктену, циклды басқару және арнайы пәрмендер БК-ның типтік командалары болып табылады. Пәрмендер жүйесінің тиісті мнемоникалық маңызы бар.

11.7. ТҰРАҚТЫ ТОҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫ БАР ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТІ БАСҚАРУДЫҢ ТҰЙЫҚ СҰЛБАЛАРЫ

«Түрлендіргіш-қозғалтқыш» (Т – Қ) қағидасы бойынша құрылған ажыратылған ЭЖ сипаттамасының салыстырмалы түрде қаттылығы жоғары емес, себебі оған түрлендіргіштің ішкі кедергісінің ықпалы әсер етеді. Жылдамдықты реттеудің ауқымды диапазондарына және жоғары дәлдігіне қолжеткізу үшін қаттырақ сипаттамалар талап етіледі, бұл сипаттамаларды Т – Қ тұйық жүйесінде ғана қамтамасыз ету мүмкін.

Одан бөлек, ажыратылған жүйенің сипаттамалары тоқ пен сәтті дәл реттеуді (шектеуді) қамтамасыз етпейді, ол да Т – Қ тұйық жүйесіне өтуді талап етеді. Әртүрлі кері байланыстарды қолдана отырып, қозғалтқыштың жылдамдығын, тоғын, сәтін және қалпын реттеудің тұйық сұлбаларын қарастырамыз.

Тәуелсіз қоздырылатын тұрақты тоқты қозғалтқышының жылдамдығы бойынша теріс кері байланысымен Т – Қ тұйық жүйесі. Осындай жүйенің негізін (11.23, а-сур.) Т – Қ ажыратылған жүйесі құрайды. ТҚТҚ білігінде жылдамдық датчигі – тахогенератор $ТГ$ орналасқан, оның шығыс кернеуі $U_{Tr} = \gamma \omega$ жылдамдығына пропорционалды және кері байланыстың сигналы болып табылады. Пропорционалдық коэффициенті γ жылдамдық бойынша кері байланыстың коэффициенті деп аталады және тахогенератордың I_{Tr} қозу тоғын өзгерту есебінен реттеле алады.



11.23 сурет

$U_{Tr} = \gamma \omega = U_{oc}$ кері байланыс сигналы u_{3c} жылдамдығының жетекші сигналымен салыстырылады және олардың айырмасы келісілмеу (қате) сигналы түрінде u_{bx} қосымша күшейткіштің U кірісіне жіберіледі, ол k_{γ} коэффициентімен u_{bx} келісілмеу сигналын күшейтеді және оны U басқару сигналы түрінде T түрлендіргіштің кірісіне жібереді.

ТҚТҚ тұйық жүйедегі сипаттамаларын алу үшін (4.30) және (4.31) өрнектерін, 4.11 сур. сұлбасын, сонымен қатар, ара қатынастарды пайдаланымз (11.23, а-сур. қараңыз)

$$U_{bx} = U_{3c} - \gamma \omega; \quad (11.5)$$

$$U_y = k_y U_{\text{вх}}; \quad (11.6)$$

$$E_{\text{п}} = k_{\text{п}} U_y, \quad (11.7)$$

мұнда $E_{\text{п}}$ және $k_{\text{п}}$ – тиісінше ЭҚК және түрлендіргішті күшейту коэффициенті.

(4.30) және (4.31) біртіндеп $E_{\text{п}}$ –ні өрнекке ауыстырып (11.7), әрі қарай U_y өрнекке ауыстырып (11.6), сосын $U_{\text{вх}}$ өрнекке ауыстырып (11.5), күрделі емес түрлендірулерден кейін ТТҚ тұйық жүйедегі сипаттамалары үшін келесі флomuлаларды аламыз:

$$\omega = \frac{k_y k_{\text{п}} U_{3.c}}{c(1 + k_c)} - \frac{I(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})}{c(1 + k_c)} = \omega_0 = \Delta\omega; \quad (11.8)$$

$$\omega = \frac{k_y k_{\text{п}} U_{3.c}}{c(1 + k_c)} - \frac{M(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})}{c^2(1 + k_c)} = \omega_0 = \Delta\omega; \quad (11.9)$$

мұнда $c = k\Phi_{\text{ном}}$; $k_c = \gamma k_y k_{\text{п}} / c$ – жүйені күшейтудің жалпы коэффициенті $\Pi - \text{Д}$

Алынған сипаттамалардың қаттылығын талдау үшін ажыратылған $\Delta\omega_{\text{р}}$ және тұйық $\Delta\omega_3$ жүйесіндегі бірдей тоқта немесе сәтте жылдамдықтың айырымын салыстырамыз. (4.30), (4.31), (11.8) және (11.9) сәйкес

$$\Delta\omega_{\text{р}} = I(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})/c; \quad (11.10)$$

$$\Delta\omega_3 = I(R_{\text{я}} + R_{\text{п}})/c(1 + k_c) = \Delta\omega_{\text{р}}(1 + k_c). \quad (11.11)$$

$k_a > 0$, то $\Delta\omega_3 < \Delta\omega_{\text{р}}$ болғандықтан, тұйық жүйедегі сипаттамалардың қаттылығы ажыратылған жүйедегі сипаттамалардың қаттылығынан әрқашан жоғары. 11.23, б-сур. көрсетілген сипаттамалардың өздері, представляют собой прямые параллельные линии 2, 4 және 5 тура параллельді сызықтар болып табылады, олардың орналасуы U жылдамдығы бойынша жетекші сигналдың деңгейімен және тиісінше, y_0 бос жүрістің жылдамдығымен анықталады. Тура осы жерде салыстыру үшін ТТҚ-ның ажыратылған жүйедегі жұмсақтау сипаттамасы келтірілген (түзу 3).

Қаттылығы бойынша шекті сипаттаманы табу үшін жүйені күшейту коэффициентін k_c шексіздікке дейін ұлғайтамыз. (11.11)-ден көрініп тұрғандай, $k_c \rightarrow \infty$ $\Delta\omega_3 \rightarrow 0$, яғни осы тұйық жүйенің шегінде абсолютті қатты сипаттама алына алады (штрихтік түзу 1).

Осы жүйеде жылдамдықты реттеу процесінің физикалық жағын қарастырайық. ТТҚ орнатылған режимде жүктеменің астында

жұмыс істеп жатыр деп жорамалдаймыз және қайсыбір себептермен жүктеме кезі M_c ұлғайды. ТТҚ арттыратын сәт жүктеме сәтінен азайғандықтан, оның жылдамдығы төмендей бастайды, және тиісінше $U_{Tr} =$ ую жылдамдығы бойынша кері байланыстың сигналы да төмендей бастайды, ол өз кезегінде, (П.5)...(11.7) сәйкес келісілмеу i_{bx} және басқару u_y сигналдарының көбеюіне және түрлендіргіштің ЭҚК жоғарылауына, демек, ТТҚ кернеуі мен жылдамдығының артуына алып келеді. Жүктеме сәтін азайтқанда кері байланыс басқа бағытта әрекет ете бастап, түрлендіргіштің ЭҚК төмендеуіне алып келеді.

Сонымен, кері байланыстың бар болуына байланысты түрлендіргіштің ЭҚК автоматты реттеу жүзеге асырылады, демек, ТТҚ-ға жеткізілетін кернеуді автоматты реттеу жүзеге асырылады, соның есебінен ЭЖ сипаттамаларының қаттылығы жоғарылайды. Ажыратылған жүйеде жүктеме сәті өзгергенде түрлендіргіштің ЭҚК өзгермейді, нәтижесінде электр жетегі сипаттамаларының қаттылығы төменірек болады.

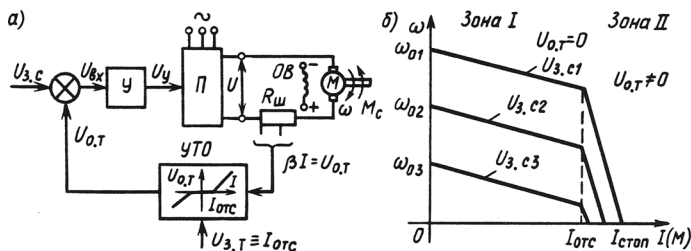
Т – Қ жүйесінде сипаттамалардың қаттылығын арттыру үшін жылдамдық бойынша кері байланыстан басқа кернеу бойынша теріс кері байланыс және қозғалтқыштың тоғы бойынша оң кері байланыс және олардың тіркесулері қолданылады. ЭЖ сұлбаларын және алынатын сипаттамаларды [6, 7] қараңыз.

Тоқ бойынша сызықты емес кері байланыстың көмегімен тұрақты тоқ қозғалтқышының тоғын және сәтін реттеу (шектеу) (11.24, а сур.). ЭЖ осы жүйесінде датчиктің ретінде $L_{ш}$ кедергісімен шунт қолданылады, онда кернеуің түсуі якорь I тоғына пропорционалды. Нәтижесінде ток бойынша кері байланыс сигналы

$$U_{o.T} = \beta I, \quad (11.12)$$

онда β – ток бойынша кері байланыстың коэффициенті, Ом.

Резистор $R_{ш}$ ретінде қосымша полюстерінің орамы немесе қозғалтқыштың өтеуіш орамасы жиі қолданылатындығын атап өтеміз.



11.24 сурет

Кері байланыс сигналы $U_{от}$ тоқты беру сигналымен $U_{3т}$ бірге ток дәйек торабы деп те аталатын тоқты шектеу торабына ТШТ келіп түседі, тоқты беру сигналы тоқты реттеу (шектеу) басталатын дәйектің тоқ деңгейін анықтайды.

ТШТ жұмысы оның $U_{от}(I)$ сипаттамасына сәйкес (11.24, а-сур. қараңыз) келесідей. Якорьдағы ток дәйектің берген тоғынан аз болса, яғни $I \leq I_{отс}$, ТШТ шығысында кері байланыс сигналы нөлге тең. Басқа сөзбен айтқанда, ЭЖ якорь тоғының 0-ден $I_{отс}$ -ге дейінгі диапазонында ажыратылған болып табылады және I аймағында 11.24, б-сур. көрсетілген сипаттамалары бар. $I > I_{отс}$ болса, ТШТ шығысында $U_{от} = \beta I$ теріс кері байланыстың сигналы пайда болады, ЭЖ тұйық бола бастайды да, аймағындағы II сипаттамаларға сәйкес жұмыс істей бастайды. Осы зонадағы ЭЖ сипаттамаларының түрін түсіндіру үшін келісілмеу сигналы үшін өрнекті жазамыз:

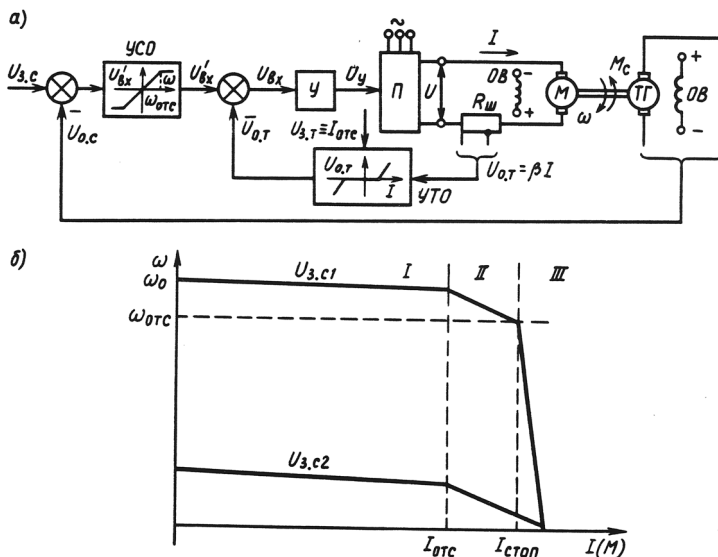
$$U_{вх} = U_{3.с} - \beta I, \quad (11.13)$$

(11.13) көрініп тұрғандай, ток ұлғайғанда/ $U_{вх}$ сигналы азаяды, ол (11.6) және (11.7) сәйкес U_y және E_n сигналдарының азаюына себеп болады, бұл ретте U_y қозғалтқышында кернеу азаяды және тиісінше, қозғалтқыштың якорінде де ток азаяды. Қозғалтқыштың сипаттамалары құламалы (жұмсақ) бола бастайды, ол тоқты, және тиісінше сәтті де реттеу (шектеу) әсерін бейнелейді. Жүйені күшейту коэффициенті ұлғайғанда аймағындағы II сипаттамалар тік сызықтарға жақындай түседі. Тоқты шектеу деңгейі жетекші сигналмен (тағайын шамасы) и $_{3т}$ анықталады. Қозғалтқыштың нөлдік жылдамдықтағы тоғы тоқтатылу тоғы деп аталады $I_{стоп}$.

Жылдамдық және ток бойынша кері байланыстармен тұрақты ток қозғалтқышты электр жетегінің тұйық сұлбасы. Жылдамдықты реттеуге қажетті ЭЖ қатты сипаттамаларын және ток пен сәтті шектеу үшін қажетті жұмсақ сипаттамаларды алу үшін, яғни екі координатаны реттеу барысында тиісті кері байланыстар қолданылады. Жылдамдық және ток бойынша сызықтық емес кері байланыстармен ЭЖ сұлбасында (11.25, а сур.) кері байланыстар тізбектерінің сызықтық еместікті қамтамасыз ету үшін тоқты шектеу торабын ТШТ және жылдамдықты шектеу торабын ЖШТ қолданады, олардың сипаттамалары тиісті шартты белгілердің ішінде көрсетілген. Келтірілген сызба жалпы күшейткіші және сызықтық емес кері байланыстары бар сұлбаға сәйкес келеді (11.3 сур. қараңыз), олар механикалық сипаттамалар саласын (11.25, б сур. қараңыз) үш аймаққа – I, II және III бөлуді анықтайды.

Токтардың 0-ден $I_{отс}$ дейін аймағында / диапазонында жылдамдық бойынша ғана кері байланыс әрекет етіп, ЭЖ қатты сипаттамаларын қамтамасыз етеді.

II аймағында $I > I_{отс}$ болса ток бойынша кері байланыс іске қосылады және сипаттамалар жұмсағырақ бола бастайды. Ток әрі қарай ұлғайып, және жылдамдық $\omega_{отс}$ айырық жылдамдығынан төмендесе, жылдамдық бойынша кері байланыстың әрекеті тоқтайды, ал ток бойынша байланыс әрекеттері есебінен сипаттамалар одан да төмен бола бастайды (III аймақ), яғни талап етілетін тоқты және сәтті шектеу қамтамасыз етіледі.



11.25 сурет

Сұлба бойынша жалпы күшейткішпен тұйық ЭЖ –да талап етілетін статикалық сипаттамаларды қалыптастырғаннан кейін, оның динамикалық сипаттамалары қабылдауға келмейтіндей болып шығуы мүмкін – қозғалыс ауыспалы процестерде не тұрақсыз, немесе қайта реттеу мен ауытқулармен сипатталады, немесе ағып кетудің айтарлықтай уақыты болады. Бұл жағдайларда ЭЖ басқару зандарын түзету талап етіледі.

ЭЖ динамикалық сипаттамаларын түзету мәні төмендегідей: оның сұлбасына осы сипаттамаларды қажетті жолмен өзгертуіне мүмкіндік беретін қосымша (түзетуші) құрылғылар енгізіледі. Түзетуші құрылғылардың сұлбасын (құрылымын), параметрлерін және қосу орындарын анықтау, немесе, олардың синтезі автоматтық реттеу және ЭЖ теориясында [6, 9] әзірленген әдістермен ауыспалы процестердің сапасының берілген критерийлері бойынша жүргізіледі. Осы әдістерді және қолданылатын түзетуші құрылғылардың сұлбаларын сипаттауға тоқтамай, түзетудің мақсаты – ЭЖ сұлбасында негізгі сигналдардан туындылар мен

интегралдарға пропорционалды басқарудың қосымша сигналдарын қолдану екендігін атап өтеміз.

Басқа сөзбен айтқанда, ЭЖ динамикалық сипаттамаларын түзету қосымша икемді кері байланыстарды қолдануды көздейді. Бұл байланыстар өздерінің әрекет ету қағидалары бойынша ЭЖ берілген динамикалық сипаттамаларын қалыптастыруға қатысып, өздерін тек ауыспалы процестерде танытады және қатты (тұрақты әрекет ететін) кері байланыстардың көмегімен алынған статикалық сипаттамаларды өзгертпейді.

Координаталарды бағыныңқы реттеумен тұйық электр жетектері. 11.4 -сур. келтірілген құрылымдық сұлба бойынша жүзеге асырылатын бағыныңқы реттеу қағидасы Т-Қ жүйесінде координаталарды тиімді және сапалы реттеуді қамтамасыз етеді. Еске салайық, бұл қағида әрбір координатаны және тиісті кері байланысты өзінің жеке реттеуішінің көмегімен реттеуді көздейді, яғни әр координатаны реттеу жеке тұйық контурында орындалады және ЭЖ статика және динамикада талап етілетін сипаттамаларын сұлбаны және осы координаталарды реттеу параметрлерін және оның кері байланысының тізбегін таңдау арқылы алуға болады.

Ішкі контурды сыртқы контурдың сыртқы сигналының көмегімен басқару осындай жүйелердің тағы бір бағалы қасиетін анықтайды. Ол қарапайым құралдармен кез келген реттелетін координатаны, мысалы ток және сәтті берілген деңгейде шектеуге мүмкіндік береді. Ол үшін сыртқы контурдан түсетін сигналды шектеу жеткілікті.

Бағыныңқы реттелуімен ЭЖ сұлбасын (11.26, *a* –сур.) қарастырайық, мұнда жылдамдық шығыс реттелетін координата болып табылады. Сұлбаның басқару бөлігі екі тұйық контурдан тұрады: токты реттеуші TP мен ток датчигінен TD тұратын токты (сәтті) реттеу контуры және жылдамдықты реттеуіш JP пен жылдамдық датчигінен тұратын (тахогенератор) TG жылдамдықты реттеу контуры.

Осы типті ЭЖ сұлбалардың көбінде ток және жылдамдықты реттеушілер операциялық күшейткіштердің базасында орындалады. Тізбекке U_c жылдамдығының жетекші сигналын РС жылдамдық реттеуішін және оның $R1$ және R_{oc1} резисторларының кері байланысын қосу осы сигналдың $k_1 = R_{oc1}/R1$ коэффициентімен өзгеруін (күшеюін немесе бәсеңдеуін) қамтамасыз етеді. Осыған ұқсас, U_o жылдамдығы бойынша кері байланыс сигналының өзгеруі $k_2 = R_o/R2$ коэффициентімен орындалады. Осындай реттеуіш жылдамдықтың пропорционалды реттеуіші атауын иеленді.

ЖТ тізбегіне конденсаторларды (реактивті электр элементтері) қосқанда оның электр сигналдарын түрлендіру бойынша функционалдық мүмкіндіктері кеңейеді. Мысалы, конденсатордың C_{oc} ток реттеуішін TP бірізді J_{oc2} резисторымен тізбекке қосу TP

Техникалық оптимум реттеуіштерді баптаудың ең кең тараған әдісі болып табылады, мұнда қайта реттеу $\Delta X = X_{max} - X_{уст}$ орнатылған деңгейлердің 4,3% құрайды, ал ауыспалы процестің уақыты $t_m = 4,1 T_n$, мұнда T_n – тиристорлық түрлендіргіш уақытының электр магниттік тұрақты шамасы, әдетте 0,01 с-қа тең қабылданады. ЭЖ теориясында [2] жылдамдық пен тоқ реттеуіштері тізбектерінің параметрлерін есептеудің тиісті әдістері әзірленген, олар координаталарды реттеудің берілген сипатын қамтамасыз етеді.

Бағыныңқылы реттеу сұлбасы қарапайым құралдармен ЭЖ координаталарын берілген деңгеймен шектеуге мүмкіндік беретінін атап өткен болатынбыз. 11.26, а-сур. келтірілген сұлбада осы мақсатта кері байланыстың ЖР тізбегіне VI және $V2$, стабилитрондары қосылған, олар которые, ограничивая выходное напряжение PC , являющееся входным задающим сигналом (уставкой) тока U_T тоғының кіріс жетекші сигналы (тағайын шамасы) болып табылатын CP шығыс кернеуін де, қозғалтқыштың тоғы мен сәтін берілген деңгеймен шектейді.

11.26, в-сур. координаталарды бағыныңқылы реттеумен және техникалық оптимумға бапталған ЭЖ-ның статикалық сипаттамалары келтірілген. Тоқ және сәтті шектеу қамтамасыз етілетін тік учаскенің I болуы және қатаң сипаттамалары бар учаскенің II болуы олардың ерекшелігі болып табылады, олардың еңкістігі уақыттың екі тұрақты шамасының – қозғалтқыштың T_m электр механикалық тұрақты шамасы мен T_n түрлендіргіштің электр магниттік шамасының ара қатынасына тәуелді.

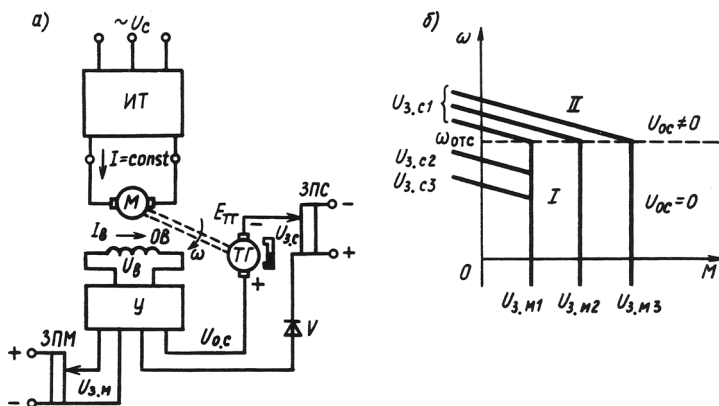
Бағыныңқылы реттеу сұлбаларында реттеуіштерді баптаудың басқа критерийі – симметриялық оптимум бойынша баптау критерийі қолданылады, ол II учаскеде абсолютті қатты статикалық сипаттамаларды алуға мүмкіндік береді, бірақ бұл жағдайда ауыспалы процестер 55%-ға дейін жететін үлкен қайта реттеумен сипатталады. Симметриялық оптимум бойынша баптауда жылдамдықты реттеуші ЖР интегралдыға пропорционалды орындалады.

Қорытындылай келе, координаталарды бағыныңқылы реттеу сұлбаларының үлкен функционалдық мүмкіндіктерінің есебінен олар тұрақты да, айнымалы тоқтың да реттелетін ЭЖ-да кең қолданыс тапқандарын тағы бір рет атап өтеміз.

«Тоқ көзі–тұрақты тоқ қозғалтқышы» жүйесі бойынша электр жетекті басқарудың тұйық жүйесі. Бұл жүйенің күштік бөлігін (11.27, а сур.) тоқ көзі TQ және TTQ құрайды, оның қозғау орамасы ҚО екі шығысы бар күшейткішке K қосылған. Бірінші кіру бойынша күшейткішке $СЖП$ (сәттің жетекші потенциометрі) потенциометрінен C_m сәттің жетекші сигналы түседі, ол механикалық сипаттаманың тік учаскесіндегі сәттің мәнін анықтайды (11.27, б-сур.).

Күшейткіштің K екінші кіруіне U_{oc} жылдамдығы бойынша сызықтық емес теріс кері байланыстың сигналы түседі, оны кері байланыстың тахогенераторы $ТГ$, вентиль V және жылдамдықтың жетекші потенциометрі

құрады. Кері байланыс тізбегі төмендегідей құрастырылады: $u_{\text{зс}}$ жылдамдығы бойынша тахогенератордың ЭҚЖ жетекші сигналдан асып кеткен жағдайда ғана вентиль V осы тізбек бойынша тоқ өткізе бастайды, ол жылдамдық ω айыру жылдамдығынан жоғары болғанда ғана мүмкін болады. $\omega < \omega_{\text{отс}}$ жылдамдығында вентиль $V_{\text{отс}}$ жабық болады және жылдамдық бойынша кері байланыс іске қосылмайды ($U_{\text{отс}} = 0$).



11.27 сурет

Жылдамдық бойынша кері байланыстың сызықтық емес сипаты механикалық сипаттамалардың екі аймағын анықтайды. $\omega < \omega^{\wedge}$ (f аймақ) $U_{oc} = 0$ болса, күшейткіштің U кіруіне мәні бойынша өзгермейтін сәтті беру сигналы U_m беріледі, оның шығысындағы кернеу u_b , қозу тоғы I_b және ол анықтайтын сәт C тұрақты болып табылады, 11.27, б сур. сипаттамалардың тік учаскелерін анықтайды.

$\omega > \omega_{\text{отс}}$ (II аймақ) болғанда, вентиль V ашылады және $i_{\text{зм}}$ сигналына белгі бойынша қарама-қарсы жылдамдық бойынша күшейткіштің U кіруінде кері байланыс сигналы пайда болады. Сонда күшейткіштің U кіруінде жиынтық сигнал

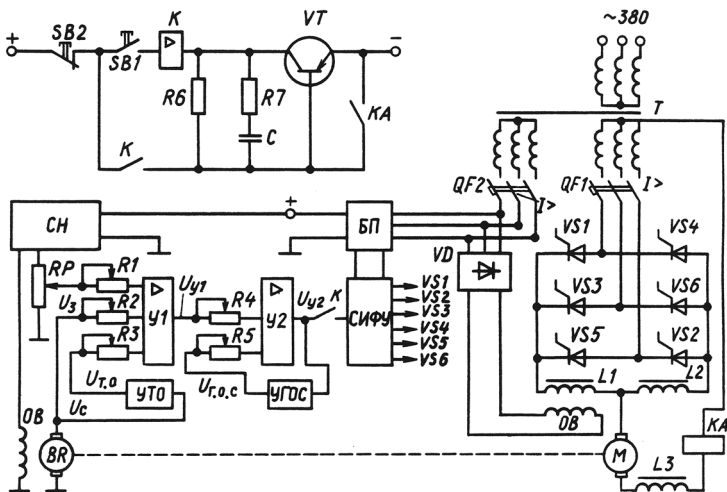
$$U_y = U_{3,м} - U_{oc} = U_{3,м} - \gamma\omega. \quad (11.14)$$

(11.14) көрініп тұрғдай, жылдамдық артқан сайын күшейткіштің U кіруіндегі u_y сигналы төмендей береді, күшейткіштің U шығуында оған пропорционалды U_b кернеуі және ТТҚ I_b қозу тоғы да төмендейді, демек, (4.3) сәйкес, оның сәті де төмендейді. Бұл ретте механикалық сипаттамалар көлбеу түзулерінің түрін иеленеді. Сонымен, ЭЖ қарастырылған жүйесі екі координатаны – жылдамдық пен сәтті реттеуді қамтамасыз етеді. U сигналының мәні сипаттамалардың I аймақта ТҚТТҚ-ның сәт деңгейін анықтайды, ал U сигналының мәні

– механикалық сипаттамалардың айыру (омырылу) жылдамдығының деңгейін анықтайды. II аймақтағы механикалық сипаттамалардың қаттылығы ЭЖ жалпы күшейту коэффициентімен анықталады.

Мысал ретінде тәуелсіз козу тұрақты ток қозғалтқыштың шынайы түйік ЭЖ-ны жүзеге асыру сұлбасын қарастырамыз.

ЭТЗР типті сериялық электр жетектің сұлбасы. 11 кВт-қа дейінгі қуатта жылдамдықты 1000-ға дейінгі диапазонда реттеуді талап ететін әртүрлі металл өңдейтін білдектердің механизмдері үшін ЭТЗР типті сериялық жиынтықтық ЭЖ қолданылады (11.28 сур.). Осы типті электр жетегі жылдамдық бойынша теріс кері байланыс бар реттеудің тұйық жүйесі түрінде орындалған, ол баптауға қарай жүктеме сәгі $0,1 M_{\text{ном}}$ –дан $M_{\text{ном}}$ –ға дейін өзгеруде 0,5... 10% шегінде жылдамдықтардың салыстырмалы айырымдарды қамтамасыз етеді. Сондай-ақ, ЭЖ-да тоқты шектеу құрылғысының ТШҚ көмегімен тоқты реттеу (шектеу) қамтамасыз етіледі. ЭЖ ауыспалы процестерінің тұрақтылығын және талап етілетін сапаларды қамтамасыз ету үшін сұлбада ТТҚ жылдамдығы және u_{y2} қорытқы басқару сигналы бойынша икемді кері байланыстар қолданылады.



11.28 сурет

ПБСТ, 2П немесе ПГТ сериялардың қозғалтқыш якорінің кіріктірілген тахогенераторы *BR* күштік бөлікті қамтитын тиристорлық түрлендіргіштен (*VS1... VS6* тиристорлары) және ИФБЖ коректенеді. Күштік бөлімнің тиристорлары *VS1... VS6* екі үшфазалық нөлдік сұлбаларға біріктірілген, олар түзету және инверторлық топтарды құрайтын тиристорлардың екі жиынтықтары бар реверсивті түрлендіргішті құрайды. Осы топтарды басқару келісілген бірлескен қағиданы қолдану арқылы жүзеге асырылады.

Түзеткіш және инверторлық топтардың арасында өтетін теңгеруші тоқтың айнаымалы шамасын азайту үшін ЭЖ-да $L1$ және $L2$ шектеуіш реакторлар қолданылады. Тізбекке жатықтаушы реактордың $L3$ якорін M қосу позволяет исключить режим үзілмелі тоқтың режиміне жол бермей, нәтижесінде ТТҚ қолдануды арттыруға мүмкіндік береді.

$VS1 \dots VS6$ тиристорларын басқару тік принципі бойынша жұмыс істейтін транзисторлық ИФБЖ-мен қамтамасыз етіледі. Оның үш каналы бар, олардың әрқайсысы бір фазаға қосылған екі тиристорға жұмыс істейді.

ЭЖ қорегі екі екінші реттік орамасы бар үшфазалық трансформатордан T жүзеге асырылады. Олардың нөлдік шығысы бар біреуіне жетектің күштік бөлімі жалғанған, ал екіншісіне – түзеткіш $ВД$ арқылы – қозу орамасы $ҚО$ және басқару сұлбасы қоректенетін қорек блогы $ҚБ$ жалғанады. Тахогенератордың қозу орамасы $ҚО$ кернеу тұрақтандырғышынан $ҚТ$ қоректенеді.

ЭЖ басқару жүйесінің құрамына аралық күшейткіш $У1$, қатты күшейткіш (эмиттерлік қайталауыш) $У2$, тоқты шектеу торабы $ТШТ$, икемді кері байланыс торабы $ИКБТ$, жетекші потенциометр RP , $SB1$ және $SB2$ басқару батырмалары және іске қосу релесі K кіреді.

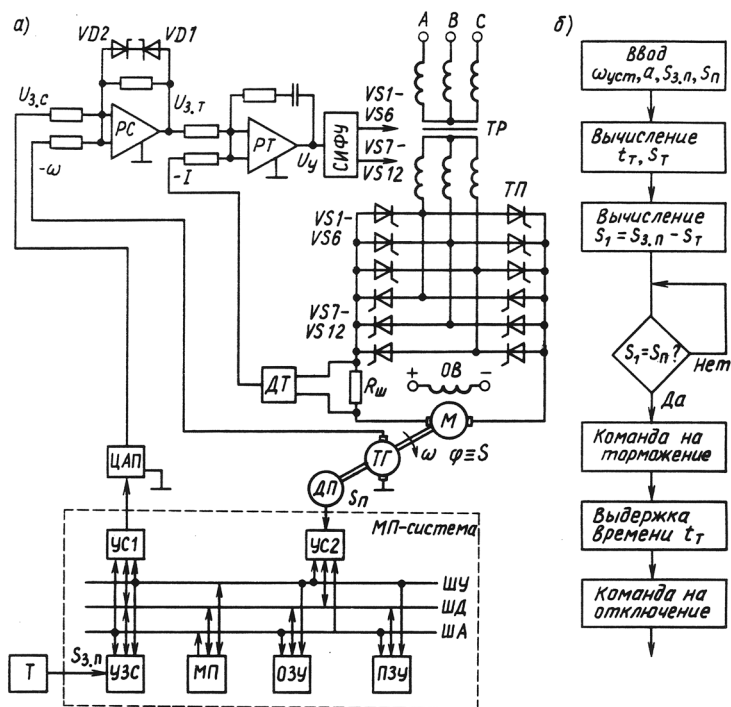
Басқару сигналы C_{61} жетекші $U_{\text{ж}}$, тахогенератор U және тоқты шектеу $и_{\text{ш}}$ сигналдарының алгебралық қосындысы ретінде қалыптастырылады, оны шығару үшін ТТҚ жылдамдығы бойынша сызықтық емес оң кері байланыс қолданылады. Якорь тоғы бөлік (отсечка) тоғынан аз болса, жылдамдықты реттеу контуры ғана жұмыс істеп тұрады. Якорь тоғы бөлік тоғынан көп болса, тоқты шектеу тізбегінің сызықтық еместігінің есебінен ТТҚ жылдамдығы бойынша сызықтық емес теріс кері байланыс өшеді де, оң кері байланыс берілген деңгейде тоқты және сәтті шектеуді қамтамасыз ете отырып, жұмыс істей бастайды.

Басқару сигналымен бірге $и_{61}$ түзетуші икемді кері байланыспен $U_{\text{к}}$ бірге қуатты күшейткіштің кіруінен $У2$ кейін және қорытқы сигналы C_{y2} түрінде күшейтілгеннен кейін іске қосу релесінің K тұйықтаушы байланысы арқылы ИФБЖ-ның кіруіне жіберіледі. Осы релені басқару батырмаларының көмегімен басқарылады: $SB1$ ТТҚ іске қосқанда және $SB2$ – оны тоқтатқанда қолданылады. ТТҚ-ны реверстеу жетекші сигналдың C полярлығын өзгерту арқылы жүзеге асырылады.

ЭТЗР типті ЭЖ-да біркатар қорғаныс, бұғаттау және сигнал берулер жүзеге асырылады. Тоқтық реле $КА$, оның катушкасының ТТҚ якорінің тізбегіне, ал байланыс – реленің K қорек тізбегіне қосылуы ТТҚ-ның максималды тоқтық қорғанысын қамтамасыз етеді. Ол іске қосылғанда реле K өшіріледі, тиристорлардан басқару сигналдары алынады және ТТҚ қорек көзінен ажыратылады.

$QF1$ және $QF2$ Автоматтық сөндіргіштер тиристорлық түрлендіргіштің күштік бөлігінің, ТТҚ қозу орамасының және басқару сұлбасының максималды тоқтық қорғанысын жүзеге асырады.

Микропроцессор қолданылатын электр жетегінің сұлбасы. Микропроцессорлық басқару қолданылатын робототехникалық құрылғы атқару органының қалпын реттеу үшін тұрақты ток қозғалтқышымен [19] ЭЖ сұлбасын қарастырамыз (11.29, а сур.). Бұл ЭЖ 3.3. сур. келтірілген диаграммаға сәйкес роботтың атқару органын жылжыту және дәл жайғастыруды қамтамасыз етуі тиіс, ол үшін онда орналастыру бойынша кері байланыс қолданылады. Сонымен қатар, тұрғыландырудың жоғары дәлдігін қамтамасыз ету үшін ЭЖ-да тоқты (сәтті) және ТТҚ жылдамдығын реттеу жүзеге асырылады.



11.27 сурет

11.29, сур. келтірілген сұлба аналогтық та, цифрлық та тораптар мен құрылғылардың қолданылуымен осындай сұлбаларды орындауға тән мысал болып табылады. Цифрлық-аналогты сұлбалар атауын иеленген сұлбалар ЭП сипаттамаларын анағұрлым жақсартады.

ЭЖ күштік бөлігі трансформатордан ТР қоректенетін үшфазалық көпірлік реверсивті тиристорлық түрлендірушіден ТП тұрады. Басқару сұлбасы координаталарды бағыныңқы реттеу қағидасы бойынша құрылған.

Тоқты реттеу аналогты пропорционалды-интегралды ток реттеуішпен TP орындалады, оның кіруіне ток датчигінен TD тоқ бойынша кері байланыс сигналы және жылдамдық реттеуіші шығуынан тоқты қою сигналы $и_{тк}$ түседі.

Аналогты пропорционалды-интегралды ток реттеуіш TP қалыптың сыртқы контурынан түсетін өзінің жетекші сигналының $U_{3\text{с}}$ және тахогенератормен $ТГ$ шығарылатын жылдамдық бойынша кері байланыс сигналының негізінде тоқты қою сигналын $U_{3т}$ қалыптастырады. $VD1$ және $VD2$ стабилитрондары ЖР шығуында сигналды шектейді, яғни қозғалтқыштың тоғы мен сәтін шектеуді қамтамасыз етеді.

Қалыпты реттеу микропроцессорлық жүйенің көмегімен жүзеге асырылады, бұл жүйе микропроцессор $МП$, жады құрылғылары $ЖСК$ және $ТСҚ$, түйістір құрылғылары $ТҚ1... ТҚ3$, цифрлық қалып датчигі $ЖД$ және цифрлы-аналогты түрлендіргіштен $ЦАТ$ тұрады. Қалыпты қою сигналы $S_{кк}$ тұйықталу сигналдары құрылғысы $ТСҚ$ арқылы микропроцессорлық жүйеге терминалдан T түседі (қойылады).

Микропроцессорлық жүйе негізінде қалыпты цифрлық реттеуіштің жұмысы екі қағиданың біреуіне сүйенуі мүмкін. Бірінші қағида реттеуіштің статикалық сипаттамасын парабола түрінде жүзеге асыруды көздейді, ол 3.3 сур. көрсетілген ЭЖ қозғалуының оңтайлы кестесін қамтамасыз етеді. Мұндай реттеуішті бағдарламалық жолмен жүзеге асыруға болады, ол үшін $ТСҚ$ -ға осы сызықтық емес сипаттаманы жазады.

$ҚР$ жұмысының екінші қағидасы ЭЖ тежелуін басталу сәтін есептеуге негізделеді, ол да 3.3 сур. көрсетілген қозғалыс ауытқымаларын алуға мүмкіндік береді. Осы әдісті егжей-тегжейлі қарастырайық.

Әдісті жүзеге асыру төмендегіге негізделеді: орнатылған жылдамдық $ю_{уст}$ және үдету $a = (M - M) / J$ белгілі болса, мұнда J – ЭЖ инерциясының сәті, берілген жылжуды $S_{3н}$ атқарудың соңында ЭЖ тежелу учаскесінде уақыт t және қашықтық S_t келесі формулалар бойынша есептеуге болады:

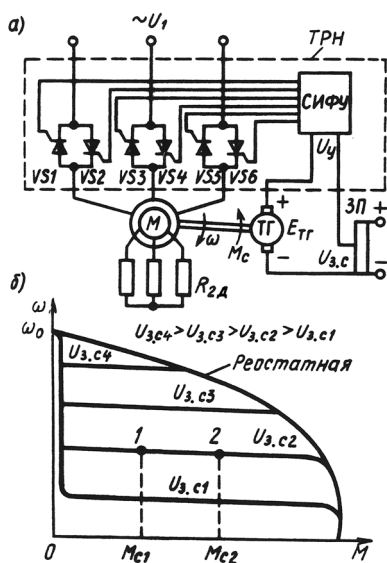
$$t_t = \omega_{уст} / a; S_t = \omega_{уст}^2 / (2a). \quad (11.14)$$

Тежелуге сигнал берілгенде микропроцессорлық жүйе жұмысының алгоритмі 11.29, б сур. келтірілген. Оны жүзеге асыру үшін микропроцессорлық жүйеге $щ_{уст}$, a , $S_{3н}$ шамалары бойынша деректер және қозғалтқыш білігі мен атқару органының ағымдағы қалпына пропорционалды қалып датчигінің сигналы S_n енгізіледі. Микропроцессорлық жүйе t және S шамаларын және $S_t = S - S$ айырмасын (11.14) бойынша есептейді. Сосын S_1 айырмасының мәні қалып датчигінің сигналымен S_n салыстырылады. S_1 мен S_n тең бола салып, микропроцессорлық жүйегеден ЭЖ тежелуге пәрмен беріледі, уақыт t ұстауды есептеу басталады және осы уақыт біткеннен кейін оны өшіруге пәрмен беріледі.

11.8. АЙНЫМАЛЫ ТОҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫМЕН ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРІН БАСҚАРУДЫҢ ТҰЙЫҚ СҰЛБАЛАРЫ

Айнымалы тоқ қозғалтқыштарымен тұйық ЭЖ бүгінгі күнге дейін сирек қолданылатын. Соңғы жылдары әртүрлі басқару құралдары, және бірінші кезекте, жартылай өткізгіштік күштік түрлендіргіштердің пайда болғалы бері, айнымалы тоқты реттелетін ЭЖ тез дами бастады.

«Кернеудің тиристорлық реттеуіші регулятор – қозғалтқыш» (КТР – АҚ) сұлбасы бойынша орындалған асинхронды ЭЖ басқарудың тұйық сызбасы. Контактілі сақиналары бар және жылдамдық бойынша кері байланыспен АҚ жылдамдығын реттеу сұлбасын қарастырамыз 11.30, *a* сур.). Бұл сұлбада желі мен АҚ статорының арасында кернеудің тиристорлық реттеуіші КТР қосылған, оның күштік бөлігін қарсы-папаллельді жалғанған үш жұп тиристорлар $VS1... VS6$ құрайды. Тиристорлардың басқарушы электродтары ИФБЖ шығыстарына жалғанған, ол басқарушы импульстерді барлық тиристорларға таратады және басқарудың кіру сигналына қарай U_y оларды жылжытуды жүзеге асырады. Жылдамдық бойынша кері байланысты жүзеге асыру үшін қозғалтқыштың білігіне тахогенератор $ТГ$ жалғанған, оның ЭҚК $E_{ТГ}$ жетекші потенциометрден ЖП түсірілетін $i_{сc}$ жылдамдығының жетекші кернеуімен



11.30 сурет

салыстырылады. Бұл кернеулер бір-біріне қарама-қарсы әрекет етеді және олардың айырмасы *ИФБЖ* шығысына түсетін басқару сигналын құрады.

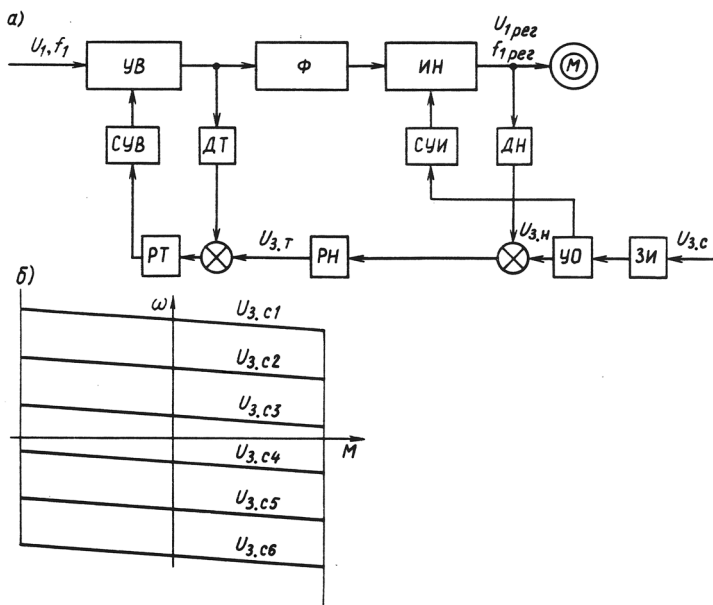
$$U_y = U_{з.с} - E_{тг} = U_{з.с} - \gamma\omega, \quad (11.15)$$

Осы сигнал ұлғайғанда тиристорларды басқару жүйесі азаяды, ал қозғалтқышқа берілетін кернеу ұлғаяды және керісінше. АҚ жылдамдығы азайғанда ротордың тізбегінде қуатты жоғалту (сырғуды жоғалту) орын алады, олар оның қосымша қыздырылуын тудырады және ЭЖ жұмысының үнемділігін төмендетеді. Қозғалтқыш төмен жылдамдықтарда жұмыс істеп тұрғанда оның роторының тізбегіне қосалқы резистор $Y_{2д}$ қосылады, оның болуы жылдамдықты реттеу диапазонын кеңейтуге мүмкіндік береді.

Қозғалтқыштың білігінде жүктеме сәтінің өзгеруі барысында және жылдамдықты қоюдың тұрақты сигналы $u_{зс2}$ ЭЖ жұмысын қарастырайық. Бастапқы қалыпта АҚ нүктеде 1 жүктеме сәтімен $M_{с1}$ жұмыс істеді (11.30, б сур. қараңыз), ал сосын ол $M_{с2}$ мәніне дейін ұлғайды деп алайық. Бұл жағдайда жылдамдық төмендей бастайды және тиісінше, E тахогенератордың ЭҚҚ да азаяды, ол (11.15) сәйкес басқару Π_y кернеуінің жоғарылауына және тиристорларды басқару бұрышының азаюына, демек, АҚ-ға жіберілетін кернеудің көбеюіне алып келеді. АҚ сәті ұлғаяды және 2 нүктеде $M_{с2}$ жүктеме сәтімен теңеледі. Сонымен, жүктеме сәтінің ұлғаюы АҚ жылдамдығының аз ғана азаюына алып келеді немесе, басқа сөзбен айтқанда, оның сипаттамалары қатты болады. Жүктеме сәті азайғанда АҚ-да кернеу автоматты түрде төмендей береді, яғни оның айналу жылдамдығы берілген деңгейде сақталады.

Потенциометрдің ЖП көмегімен $\Pi_{зс}$ жылдамдығының жетекші кернеуінің мәнін өзгерте отырып, біршама жоғары қаттылығы және АҚ-ның қажетті асқын жүктемелік қабілеті бар электр жетегінің бірқатар механикалық сипаттамаларын алуға болады.

Жиілік басқарумен АҚ тұйық ЭЖ. ТЖЭ сериялы және оның ТЖЭ2 модификациялы жетегі жиілік басқарумен айнаымалы тоқтың тұйық ЭЖ –ның мысалы бола алады. Бұл ЭЖ жиілікті және оған жіберілетін кернеудің мәнін өзгерту есебінен қозғалтқыштың жылдамдығын, тоғын және сәтін реттеуді қамтамасыз етеді. Осындай ЭЖ-ның қарапайым функционалды сұлбасы 11.31, а сур. келтірілген. Мұнда күштік түрлендіргіш ретінде тұрақты ток буынымен тиристорлық жиілікті түрлендіруші қолданылады, ол басқарылатын түзеткіш *БТ* және кернеу инверторынан *КИ*, олардың өздерінің *БТС* және *КИС* басқару сұлбаларынан тұрады. БТ және КИ арасына күштік сүзгі *С* қосылған, ол БТ-ның шығу кернеуінің сүзілуін және сұлбаның күштік бөлігіндегі реактивті энергияның қажетті



11.31 сурет

айналысын қамтамасыз етеді.

Осындай ЭЖ басқару сұлбасы координаталарды бағыныңқы реттеу қағидасы бойынша құрылады және оның екі контуры бар – ішкі (тока) және сыртқы (кернеудің). Осы координаталарды реттеу пропорционалды-интегралдық ток реттеуіштермен $ТР$ және кернеу реттеуіштермен $КР$ ток датчиктері $ТД$ мен кернеу датчиктерінің $ҚД$ сигналдары бойынша жүзеге асырылады. Жиілік номиналдық жиіліктен төмен болған жағдайда басқару сұлбасы кернеудің жиілікке қатынасын тұрақты етіп сақтайды, ал жиілік номиналдықтан жоғары болса, кернеу өзгермейді, ол күшейткіш-шектеуішпен $КШ$ -мен қамтамасыз етіледі.

Жиілікті түрлендіруші 50 Гц номиналды жиілікте жиілікті өзгертудің жұмыс диапазонын 5...80 және 200 Гц номиналды жиілікте жиілікті өзгертудің 240 Гц қамтамасыз етеді. Кернеуді реттеу диапазоны 0...380 В құрайды. ТЖЭ2 сериясы 16,5-тен 263,5 кВт-қа дейінгі қуатпен шығарылады. Осы ЭЖ-да ПЭК 96% құрайды.

Осындай ЭЖ-ның U жылдамдықтың әртүрлі жетекші сигналдары бойынша механикалық сипаттамалардың үлгілері 11.31, б сур. көрсетілген.

Осы сериялы ЭЖ энергияны желіге рекуперациялау (қайтару) арқылы тежеуді қамтамасыз ете алады. Бұл жағдайда ЭЖ-ның күштік бөлігі желіге еруші инвертормен толықтырылады, ал белгілеуде Р

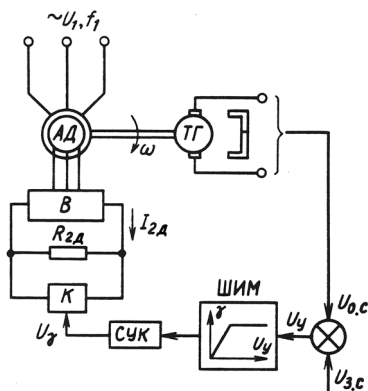
әрпі пайда болады (ТЖЭР и ТЖЭ2Р).

Тізіліп берілген элементтерден басқа ТЖЭ сериялы басқару сұлбасы онда көрсетілмеген бірқатар құрылғыларды қамтиды, бұл құрылғылар ЭЖ-ның қажетті статикалық және динамикалық сипаттамаларын алуды қамтамасыз етеді, мысалы, қарқындылықты беруші сигналын күшейткіш және ауытқуларды жою құрылғысы.

Эж жұмысының сенімділігін арттыру үшін сұлбада бірқатар қорғау мен сигнал берулер көзделген. Олардың негізгілерінің бірі – тоқ бойынша қорғау. Егер ЭЖ желіден тұтынатын тоқ $3/I_{ном}$ -ға тең тағайын шамасынан асып кетсе, онда қорғау жүйесі кернеу инвенторы тиристорларынан басқару импульстерін түсіруді және бір уақытта күштік сүзгіге С пАллельді қосылған күштік тоқ шектеуіштің арнайы торабы тиристорларын ашуды қамтамасыз етеді. Осының арқасында сүзгі конденсаторы дроссельдер арқылы разрядталады, ол өз кезегінде, КИ тиристорларын ойылудан қорғайды.

Бұдан бөлек, ТЖЭ сериялы сұлбаларда қысқы тұйықталудан, коректендіруші кернеуді $0,85 U_{ном}$ -ден төмендеуден, фазаның үзілуінен, тиристорлардың мәжбүрлі желдетуді тоқтатудан қорғау және жылы қорғанысы көзделген

Ротор тізбегіндегі резистордың көмегімен АҚ жылдамдығын импульстік реттеудің тұйық сұлбасы. Ротордың түзетілген тізбегінде кедергіні импульстік реттеу ЭЖ-ның сұлбасында (11.32 сур. қатты сипаттамаларды алу үшін қозғалтқыш жылдамдығы бойынша серіс кері байланыс қолданылады. Сұлба келесі жолмен жұмыс істейді. АҚ-ның роторлық тізбегіне басқарылмайтын түзеткіш қосылған, оның шығуына резистор жалғанған. Мысалы, 4.29, а. сур. сұлба бойынша резисторға параллельді басқарылатын кілт К (коммутатор) қосылған. Осы кілтті басқару ендік-импульстік модулятордан (ЕИМ) жүргізіледі, оның кіруіне $U_{3,c}$ тапсыру



11.32 сурет

сигналдары және жылдамдық бойынша кері байланыс сигналдары $U_{o.c}$ келіп түседі. ЕИМ блогының кіруіне қате сигналы $U_y = U_{з.с} - U_{o.c}$ түскеннен кейін, ол басқару импульстерін түрлендіре бастайды, бұл импульстер кілтті басқару сұлбасының (КБС) көмегімен кілттің К барлық тиристорлары бойынша тарап, резистордың R дүркін-дүрін іске қосылуын және тұйықталуын тудырады.

ЭЖ-ның қатты сипаттамаларын алу қағидасы жоғарыда қарастырылған жылдамдық бойынша кері байланыс әрекетінің механизміне сәйкес келеді және мағынасы келесідей. АҚ орнатылған режимде кілттің К белгілі бір толтырылуында (қуыстылық) жұмыс істейді деп алайық. Қайсыбір себептермен АҚ жүктеме сәті ұлғайды дерлік, соның нәтижесінде оның жылдамдығы төмендей бастайды. Сонда (11.15) формуласына сәйкес сигнал управления U_y басқару сигналы жоғарылай бастайды, ол кілттің К жұмысындағы толтырылуды ұлғайтуға және ротор тізбегіндегі баламалы кедергінің азаюына алып келеді $R_{2mq!} = (1 - y) R$. Бұл, өз кезегінде, ротордағы тоқтың және АД сәтінің көбеюіне, демек, жылдамдықтың төмендеуінің тоқтауына алып келеді, ол ЭЖ-ның қатты сипаттамалардың алуына сәйкес келеді (5.35 сур. қараңыз). Қозғалтқыштың тоғы мен сәтін реттеуді (шектеуді) қамтамасыз ету үшін осы сұлбаны тоқты реттеу контурымен толықтыру қажет. Бұл жағдайда механикалық сипаттамалардың тоқты және сәтті шектеудің берілген деңгейіне сәйкес келетін тік учаскесі болады.

11.9. ЖИЫНТЫҚТЫ ЖӘНЕ БІРКІТІРІЛГЕН ЭЛЕКТР ЖЕТЕКТЕРІ

Технологиялық процестерді басқару және автоматтандыру құралдарын құрастыруда тұрақты және айнымалы тоқтың жиынтықты ЭЖ (ЖЭЖ) әзірлеу және шығару ілгерінді құбылыс болып табылады. Жобалау, құрастыру және жасау кезеңдердің өзінде барлық сипаттамалары мен параметрлері бойынша келісілген, тапсырыс берушіге барлық функционалдық элементтерімен бірге (1-сур. қараңыз) жеткізілетін реттелетін ЭЖ жиынтықты болып табылады.

ЖЭЖ өнеркәсіптің көптеген салаларында – білдек жасау, металлургиялық, машина жасауда және т.б. кеңінен қолданыс табуда. Олардың тез таралуы әзірлеу мен жасауда төмен еңбек сыйымдылығымен, электрмонтаж жұмыстарына, реттейтін жұмыстарға уақыттың үнемділігімен, пайдалануда ыңғайлылығымен түсіндіріледі.

ЖЭЖ қоректеуші желінің кернеуі, қозғалтқыштар саны (бір, екі- немесе көпқозғалтқышты), күштік түрлендіргіштің түрі және

номиналды параметрлері, қозғалтқыш реверсінің болуы немесе болмауы бойынша, негізгі реттелетін координатаның түрі (жылдамдығы, қалпы, керіліс, қуаттылығы реттелетін ЭЖ), жылдамдықты реттеудің диапазоны мен бағыты бойынша (біраймақтық немесе екіаймақтық), күштік тізбек аппаратурасының құрамы (желілік түйістіргішпен немесе онсыз), тежелудің болуы немесе болмауы, коректеуші желімен байланыс әдісі (связь через трансформатор, реактор арқылы немесе оларсыз байланыс) бойынша ажыратылады.

Тұрақты тоқтың жиынтықты ЭЖ анағұрлым кең номенклатурасымен ерекшеленеді. Оның құрамына тахогенераторы және (немесе) жай-күй датчигі бар ТТҚ, козу орамаларын коректеу үшін тиристорлық түрлендіргіштер және ТТҚ якорьлары, күштік трансформатор немесе реактор, жатықтаушы реактор, коммутациялық және қорғау аппаратурасы (автоматтық сөндіргіштер, желілік түйістіргіштер, ажыратқыштар), динамикалық тежелу құрылғысы (қажет жағдайда), ЭЖ басқару сұлбасы, тахогенератор және электромагниттік тежеулердің козу орамаларының корек блоктары, жоғары вольттік енгізу шкафы (қажет жағдайда), сонымен қатар, ЭЖ басқару және жай-күйін қадағалау үшін аппараттар, аспаптар мен құрылғылардың жиынтығы.

Жұмыс машиналары мен механизмдері технологиялық параметрлерінің датчиктері, сонымен қатар, басқару пультерінде монтаждалатын басқару және сигналдық құрылғылар олардың ерекшеліктеріне байланысты жеткізу жиынтығына кірмейді.

Электртехникалық өнеркәсіп тұрақты ток ЖЭЖ-ның бірнеше сериясын шығарады.

ЭЖТЭ сериялы жиынтықтық тиристорлық электр жетектері функционалды мүмкіндіктердің кең спектріне ие. Олар реверсивті және реверсивті емес орындалуда динамикалық тежелумен де, онсыз да бір қозғалтқышты және көп қозғалтқышты нұсқаларда шығарылады. Қуаттылығы 2 000 кВт-қа дейінгі ЭЖТЭ жылдамдық, қалып, ЭҚК, қуат және керілуді реттеуді қамтамасыз етеді, ал 12 000 кВт-қа дейін арналған ЭЖТЭ тек қана жылдамдық пен қуатты реттеуді қамтамасыз етеді. Осы серияның негізінде арнайы сипаттамалары бар ЭЖ жүзеге асырылады.

Қуаттылығы 2 000 кВт-қа және 1 000 кВт-қа дейін ТЖЭ және ЖТЭ сериялары ЭЖТЭ сериясы сияқты шамалас функционалды мүмкіндіктері бар, олар тек жеке блоктарының жиынтығы мен орындалуымен ерекшеленеді. Олар жылдамдық, қалып және керілуді реттеуді талап ететін әртүрлі ЭЖ-да қолданыла алады.

Жиынтықты ЭЖ үлкен тобы білдектер, роботтар, манипуляторлар және бірқатар осыған ұқсас жұмыс машиналары мен механизмдер үшін әзірленген және кеңінен қолданылады. Олардың қатарына ЭТУ 3601, ЭТЗ, ЭТ6, ЭТРП, ЭПУ1, ЭПУ2, ПРП, ЭШИР-1 сериялар

жатқызылады. Осы ЖТЭ-да олардың жұмысының жоғары динамикалық көрсеткіштерін қамтамасыз ететін ПБСТ, ПГТ, 2П, ПБВ, ДК1 типті жоғарысәтті қозғалтқыштар қолданылады. Бұл қозғалтқыштардың кіріктірілген тахогенераторлары бар, олардың көмегімен жылдамдық бойынша кері байланыс жүзеге асырылады. Осы ЖЭЖ-дың құрамына күштік түрлендіргіш, басқару құрылғысы, автоматтық сөндіргіш, коректеуші трансформатор, жатықтаушы реактор, қорғау және сигнал беру аппараттары. Сондай-ақ, олардың кейбіреулерінің (ЭТУ 3601, ЭТЗ) білдектердің сандық бағдарламалық басқару (СББ) жүйелерімен байланыс блоктары бар.

Көрсетілген ЖЭЖ-дың көбінің бірфазалық немесе үшфазалық, көпірлік және нөлдік, реверсивті емес және реверсивті сұлбалар бойынша құрылған күштік тиристорлық түрлендіргіштері бар. ПРП және ЭШИР-1 серияларында кернеудің ендік-импульстік модуляциясы (ЕИМ) бар транзисторлық түрлендіргіш қолданылады.

Білдектік ЖЭЖ-дың көбісінің басқару сұлбалары тоқты және жылдамдықты П және ПИ реттеуіштерімен координаталарды бағынықтылығы реттеу қағидалары бойынша құрылған, ол жылдамдықты реттеудің үлкен диапазонын қамтамасыз етеді. ЖЭЖ-да білдектің басты қимылдары үшін (ЭТЗ, ЭТРП, ЭПУ1) тиристорлық түрлендіргіштердің (қоздырғыштардың) көмегімен қозғалтқыштың қозу тоғын басқару көзделеді, нәтижесінде жылдамдықты реттеу диапазонын кеңейтуге қол жеткізіледі. Білдектік ЖЭЖ-дың қуаты біріктер мен ондықтарды құрайды.

Айнымалы тоқтың жиынтықты электр жетегінің анағұрлым тар номенклатурасы бар. Мысал ретінде жоғарыда қарастырылған 19 кВА-дан 66 кВА-ға дейінгі қуатпен шығарылатын ТЖЭ және ТЖЭ2 сериялы ЭЖ атаған жөн.

СББ бар білдектерде қолданылатын «Размер 2М» сериясы айнымалы тоқтың ЖЭЖ-дың тағы бір мысалы бола алады. Бұл ЖЭЖ АҚ-ны жиілік-тоқтық басқаруды көздейді.

Біріктірілген ЭЖ. Соңғы жылдары кейбір білдектер мен арнайы механизмдер үшін бірнеше компонентті – қозғалтқышты, механикалық берілісті, координаталар датчиктерін, кей жағдайларда күштік түрлендіргішті де бірыңғай құрастырылымға біріктіретін ЭЖ әзірлене және қолданыла бастады. Кейде мехатрондық деп аталатын осындай электрмеханикалық модуль бірқатар жағдайларда ЭЖ және технологиялық жабдықтың анағұрлым техникалық-экономикалық көрсеткіштерне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

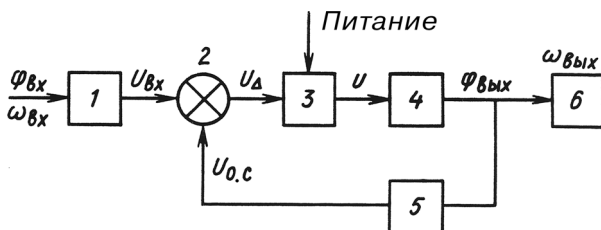
11.10. ҚАДАҒАЛАУШЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

Басқарудың өз бетімен өзгертін кіру сигналына сәйкес жұмыс машинасының атқару органының қозғалысын берілген дәлдікпен қамтамасыз ететін (жаңғыртатын) ЭЖ қадағалаушы электр жетегі деп аталады. Бұл механикалық немесе электрлік сигнал ерікті уақытша заңға сәйкес кең ауқымда өзгере алады. Ол жиі жетекші құрылғы осі

немесе білігінің жылдамдығына немесе бұрылу бұрышына сәйкес келеді. Қадағалаушы ЭЖ радиотелескоптардың антенналарында, серіктік байланыс жүйелерінде, металл өңдейтін білдектерде, роботтар мен манипуляторлардың жетектерінде, автоматтық өлшеу аспаптарында және басқа құрылғыларда қолданылады.

Қадағалаушы ЭЖ (11.33 сур.) кіру 1 және шығу 5 сигналдарының датчиктерінен, келісілмеуді өлшеуіш 2, басқару жүйесі 3 және жұмыс машинасының атқару органын 6 қозғалысқа келтіретін механикалық берілісі 4 бар электр қозғалтқыштан тұрады.

Кіру және шығу датчиктері механикалық шамаларды (біліктің жылдамдығы немесе бұрылыс бұрышы) электрлік шамаларға – кіру сигналы $U_{\text{вх}}$ және кері байланыс сигналдары $U_{\text{о.с}}$ түрлендіреді. Келісілмеуді өлшеуіш 2, осы сигналдарды алгебралық қосындылап, электр қозғалтқышын басқару жүйесіне 3 түсетін келісілмеу сигналын U_{Δ} өндіреді. Қадағалаушы ЭЖ ауытқу қағидасы бойынша



11.33 сурет

әрекет ететін тұйық құрылым болып табылады.

Басқару жүйесі 3 қозғалтқышқа түсетін келісілмеу сигналын U_{Δ} кернеуге U қажетті түрлендіруді қамтамасыз ететін реттеуіштен (күшейткіштен) және күштік түрлендіргіштен тұрады. Реттеуіш және түрлендіргіш сұлбаларын таңдау немесе түзетуші құрылғыларын енгізу есебінен кірулік әсер етуді $\omega_{\text{вх}}$ (0 немесе $\phi_{\text{вх}}$ (0 өтеуде осы кернеуді уақытта $U(t)$ өзгертудің қажетті заңы қамтамасыз етіледі.

Механикалық берілісі бар 4 электр қозғалтқышы өзгерту заңына $U(t)$ сәйкес атқару органының 6 жылжуын қамтамасыз етеді. Кейде механикалық берілісі бар қозғалтқышты атқару механизмі (сервомеханизм) деп аталады.

Қадағалаушы ЭЖ бірнеше белгілер бойынша жіктеледі: егер ол атқару органының қозғалыс жылдамдығын берілген дәлдікпен жаңғырту үшін арналған болса, ол жылдамдық, егер қалыптарды жаңғырту үшін арналған болса, позициялы деп аталады.

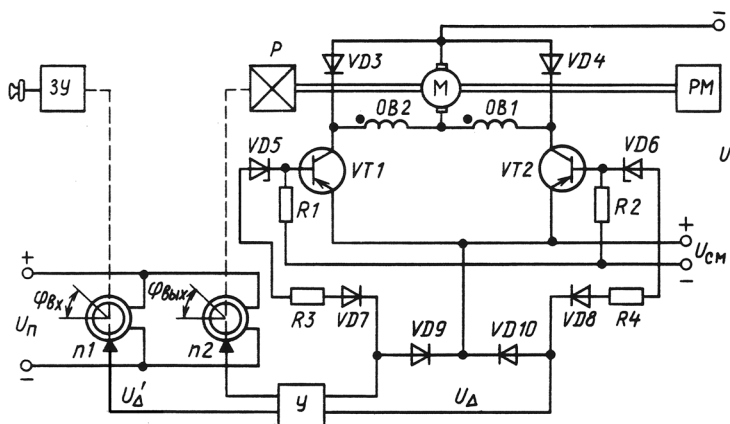
Сондай-ақ, үздіксіз және үзілмелі басқаруымен да қадағалаушы ЭЖ-ды да ажыратады; үзілмелі басқарулы

ЭЖ, өз кезегінде, релелік немесе импульстік бола алады. Үздіксіз әрекеттік қадағалаушы ЭЖ-да келісілмеу сигналына пропорционалды кернеу. Релелік әрекетті қадағалаушы ЭЖ-да кернеу келісілмеу сигналы белгілі бір мәнге жеткенде ғана қозғалтқышқа жіберіледі. Сондықтан релелік қадағалаушы ЭЖ-ның кіру сигналына қатысты белгілі бір сезімталсыз аймағы бар. Импульстық қадағалаушы ЭЖ ерекшелігі: оның басқарушылық ықпалы қозғалтқышқа кернеу импульстары түрінде беріледі, олардың амплитудасы, жиілігі немесе толтырылуы келісілмеу сигналына байланысты өзгереді. Бұл жағдайларда тиісінше, басқару сигналының амплитудалық-, жиілік- және ендік-импульстық модуляциясы туралы айтады.

Қадағалаушы ЭЖ-да айнымалы және тұрақты тоқ қозғалтқыштары, күшейткіштердің алуан түрлері (электр машиналық, магниттік, жартылай өткізгіштік, пневматикалық, гидравликалық), жылдамдық пен қалыптар датчиктері және басқа аналогты және цифрлық басқару құрылғылары қолданылады.

Қадағалаушы ЭЖ-ның бірнеше сұлбасын қарастырамыз. **Релелік әрекетті тұрақты тоқтың қадағалаушы ЭЖ.** ЭЖ-ның бұл сұлбасында (11.34 сур) бірізді қозатын М, екі қозу орамасы бар ҚО1 және ҚО2 ТТҚ қолданылады. Қозғалтқышты басқару күш транзисторларының VT1 және VT2 көмегімен жүзеге асырылады, олардың әрқайсысы ТТҚ айналу бағыттарының бірін қамтамасыз ете отырып, келісілу сигналының U_A белгілі бір полярлығында жұмыс істейді. Екі жағдайда да якорь тоғының бағыты өзгеріссіз қалады.

VD3 және VD4 разрядтық диодтар едәуір индуктивтілікке ие қозу және якорь орамаларын өшіргенде пайда болатын тоқ кернеуінің



11.34 сурет

ұлғаюын түсіру үшін қолданылады.

Қарастырылып жатқан қадағалаушы ЭЖ-да кіру және шығу шамаларының датчиктері ретінде *П1* және *П2* сақиналық потенциометрлер қолданылады, олар келісілмеудің потенциометриялық өлшеуін құрады.

П1 потенциометрінің қозғалтқышы (кіру шамасының датчигі) жетекші құрылғының *ЖҚ* шығу білігімен байланысты, ол бұл жағдайда қол жетекті редуктор болып табылады. *П2* потенциометрінің қозғалтқышы (шығу шамасының датчигі) жұмыс машинаның *ЖМ* және *ТТҚ* білігінде орналасқан редуктордың *Р* валымен байланысты. *ЖҚ* және *Р* редукторларының бірдей беріліс саны бар. *П1* және *П2* потенциометрлерінің корегі тұрақты токтың кернеуімен *U* жүзеге асырылады.

Келісілмеу сигналы U_A' *П1* және *П2* потенциометрлерінің қозғалтқыштарынан түсіріледі. Олардың бірдей бұрыштық қалпында, ол келісілмеудің нөлдік бұрышына сәйкес келеді $\text{Лф} = \varphi_{\text{вх}} - \varphi_{\text{вых}}$, U_A сигналы = 0. Бұл ретте күшейткіш шығуындағы i_d сигналы да нөлге тең, транзисторлары *VT1* және *VT2* жабық және *ТТҚ* жылжымайды.

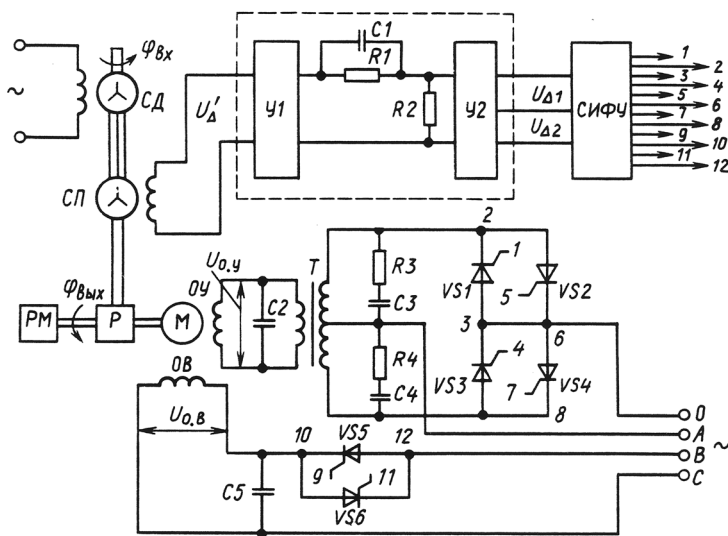
ЖҚ сабын бұраудың нәтижесінде *П1* және *П2* потенциометрлерінің қозғалтқыштарының бұрыштық қалыптарының келісілмеуі пайда болғанда, U_A және *U* сигналдары нөлден өзгеше бола бастайды. Келісілмеу бұрышының (қатенің) *Лф* белгісімен анықталатын U_A сигналының полярлығына байланысты U_A сигналы *VT1* (диод *VD10* – стабилитрон *VD5* – резистор *R3* – диод *VD7* тізбегі бойынша) немесе *VT2* транзисторына (диод *VD9* – стабилитрон *VD6* – резистор *R4* – диод *VD8* тізбегі бойынша) жіберіледі. Егер бұл сигнал *VD5* немесе *VD6* стабилитрондарының іске қосылу шегінен асып кетсе, онда тиісті транзистор ашылып, *ТТҚ*-ны *U* кернеуімен қорек көзіне қосады. Қозғалтқыш айнала бастайды, жұмыс машинаның *ЖМ* білігін және *П2* потенциометрі қозғалтқышының осін пайда болған келісілмеу жүйеде өзгере бастаған және нөлге талпынған бағытқа қарай бұрады. U_A сигналы *VD5* немесе *VD6* стабилитрондарын ашу кернеуінен аз болады, жұмыс істеп тұрған транзистор (*VT1* немесе *VT2*) жабылады және *ТТҚ*-ны дерек көзінен өшіреді.

Сонымен, ЭЖ осы сұлбада қайсыбір қателіктермен берілген орын ауыстыруды өтейді, бұл қателік *VD5*, *VD6* стабилитрондарының іске қосылу шегінің бар болуына байланысты жүйенің сезімтал еместігіне негізделген. Жүйенің сезімсіздік аймағы келісілмеу бұрышының $2...3^\circ$ шегінде минималды болуы тиіс. Сезімсіздік аймағының көбірек төмендеуі тепе-теңдік қалпының қасында ЭЖ жұмыс режимінің жағымсыз ауытқымалы режимге алып келуі мүмкін. Осындай режимнің алдын алу үшін жүйеге келісілмеу сигналының бірінші және

екінші туындылар бойынша қосымша сигналдар енгізіледі, сондай-ақ қозғалтқышты өшіргеннен кейін электрлік тежелу қолданылады,

Релелік қадағалаушы ЭЖ-ның артықшылықтары: олардың қарапайымдылығы, сенімділігі және жұмыс машиналары атқару органдарының оңтайлы қозғалыс траекторияларын алу мүмкіндігі. Осындай жүйелердің кемшіліктері: олардың ауытқуларға бейімділігі және қадағалауда белгілі бір сезімсіздіктің (дәлсіздіктің) болуы.

Айнымалы тоқты пропорционалды әрекетті қадағалаушы ЭЖ. Қадағалаушы ЭЖ-да АҚ кең қолданыс табуда, олар жұмыста сенімділігімен және төзімділігімен ерекшеленеді. Аз қуатты (1 кВт-қа



11.35 сурет

дейін) қадағалаушы ЭЖ құруда әдетте екіаймақтық қысқа тұйқталған АҚ, оның ішінде бос роторлы АҚ қолданылады (11.35-сур.).

Қозғалтқыштың М қозу орамалары ҚА және басқару орамалары БО бар, олар фаза бойынша 90° —ға бұрылған кернеулермен қоректенеді. АҚ жылдамдығын реттеу БО-да кернеудің қолданыстағы мәнін өзгерту арқылы жүзеге асырылады, ол керекті айнымалы токтың үш фазалық желісінен $VS1... VS4$ алады ҚО. Қозу орамасы В және С фазаларымен тиристорлар $VS5$ және $VS6$ арқылы байланысады. $VS1... VS6$ тиристорлары айнымалы ток кернеулерін реттеушілердің стандарты сұлбаларын құрады. Олар қарсы-параллельді сұлба бойынша жұптап қосылған, ол токты орамалар бойынша қоректеуші кернеудің екі жарты периодына токтың өтуін қамтамасыз етеді.

Жетекші ось пен ЭП валының арасындағы жетектеуші келісілмеу сельсин жұбының көмегімен өлшенеді, сельсиндік жұп сельсин-датчиктен CD және сельсин-қабылдағыштан CK тұрады. CD ротор қалпын ϕ_{bx} кіру сигналы анықтайды, ол CK ротор қалпы ϕ_{bvx} электр жетегі білігінің бұрылу бұрышына тәуелді. Статор CK орамасынан түсірілетін келісілмеу сигналы U_{Δ}' ϕ_{bx} және ϕ_{bvx} бұрыштарының айырмасына пропорционалды, ал осы кернеудің фазасы осы айырманың (қатенің) анықталады.

Келісілмеу сигналы U_{Δ}' фазаға сезімтал күшейткіштің кіруіне $U1$ беріледі. $R1$, $R2$ резисторлары және $C1$ конденсаторынан тұратын түзетуші буыннан өткен соң, келісілмеу сигналы күшейткішпен $K2$ күшейтіледі және $U_{\Delta1}$ немесе $U_{\Delta2}$ кернеулері түрінде тиристорларды басқару блогына келіп түседі.

Сұлба келесідей жұмыс істейді. Келісілмеу сигналы U_{Δ}' оның фазасына байланысты пайда болғанда күшейткіштің $K2$ шығуында $U_{\Delta1}$ немесе $U_{\Delta2}$ кернеулер пайда болады. Мысалы, $U_{\Delta1}$ кернеуі $ФБЖУ$ $VS1$, $VS2$, $VS5$, $VS6$ тиристорларына басқару импульстерді жібереді, олар ашылады және QA және BO - ны келісілмеу сигналына $U_{\Delta1}$ пропорционалды U_{oy} және U_{ov} кернеуіне жіберіледі. Қозғалтқыш M айнала бастап, CD және CK сельсиндері осьтерінің арасындағы $\Delta\phi = \phi - \phi$ келісілмеу бұрышын азайтады.

U_{Δ}' , сигналының басқа фазасында, яғни келісілмеу бұрышының $A\phi$ белгісін өзгерткенде, күшейткіштің $K2$ шығуында $U_{\Delta2}$ кернеуі пайда болады. Бұл сигнал $VS3$, $VS4$ тиристорларын қосады, және басқару орамасына BO алдыңғы жағдаймен салыстырғанда фаза бойынша 180° жылжыған U_{oy} кернеу жіберіледі. Осылармен бір уақытта $VS5$, $VS6$ тиристорлар ашылатындықтан, және OB да қорек алатындықтан, M қозғалтқышы айналады, бірақ басқа бағытта. Сонымен, U_{oy} кернеуінің фазасын өзгерту арқылы қозғалтқышының реверсін жүзеге асырады, ол келісілмеу бұрышын кез келген белгімен өтеуді қамтамасыз етеді.

$C2... C5$ конденсаторлары және резисторлары $R3$, $R4$ қозғалтқыш орамаларында кернеулердің лүпілін жатықтыру үшін қолданылады.

Тұрақты токтың цифрлық-аналогты позициялық қадағалаушы. Қадағалаудың жоғары дәлділігін ($0,001\%$ дейін) алу қажеттілігінде қазіргі ЭЖ-да координаталардың цифрлық датчиктері қолданылады, олар басқа құралдармен (бергiштер, сумматорлар, санауыштар және т.б.) қадағалаушы жүйенің өлшеу бөлігін құрады. Егер ЭЖ цифрлық-өлшеуіш бөлігі координаталарды бағыныңқы реттеу қағидасы бойынша орындалатын аналогтық бөліммен сәйкес болса, онда қадағалаудың жоғары дәлдігі қамтамасыз етіледі. Осындай қосылыстың нәтижесінде ЭЖ-ның цифрлық-аналогты сұлбалары

Цифрлы-аналогты қадағалаушы ЭЖ-да жақсы динамикалық көрсеткіштер жүйенің аналогты бөлімімен, ал қадағалаудың жоғары дәлдігі – цифрлық бөліммен қамтамасыз етіледі. Осындай ЭЖ элементтері мен құрылғылары аналогты реттеуіштердің бірегейлендірілген сериясы (АРБС) және цифрлық реттеуіштердің бірегейлендірілген сериясы негізінде жүзеге асырылады.

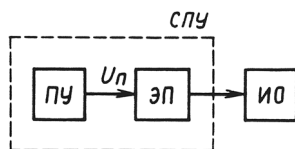
11.11. БАҒДАРЛАМАЛЫҚ БАСҚАРЫЛУЫМЕН ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

Бағдарламалық басқарылуымен электр жетегі жұмыс машинасының атқару органының белгілі бір, алдын ала берілген бағдарлама бойынша жылжуын қамтамасыз етеді. Осындай басқаруы бар ЭЖ металл өңдеу білдектерінде бөлшектерді өңдеуде жиі қолданылады. Мысалы, бөлшектердің бір тобы көпоперациялық білдекте бұрғылау, фрезерлеу, қайрау және басқа технологиялық операцияларды орындауға мүмкіндік беретін көпоперациялық білдекте өңдеуден өтуі. Бағдарламалық басқаруда бөлшекті өңдеудің алдында бағдарлама құрастырады, бұл бағдарламада құрал-аспапты ауыстыру реті, бекіткіші бар қажетті жылжулар, құралдармен жұмыс істеу режимдері және басқа технологиялық деректер белгіленген, аталған бағдарлама сосын білдектің атқару органдарының ЭЖ-да жүзеге асырылады.

СББ-ны қолдану білдектердің өнімділігін шұғыл (2...6 есе) арттыруға, бөлшекті ауыстыруда өндірісті дайындау мерзімдерін және технологиялық жабдықтарын қысқартуға, жарамсыз өнімді азайтуға, көпбілдектік қызмет көрсетуге өту, өзара алмасушылыққа мүмкіндік береді. СББ-ны қолдану майда сериялы өнімді шығаруда және өнделетін бөлшектердің номенклатурасын жиі ауыстыруда ерекше тиімді. СББ-мен ЭЖ жалпылама құрылымы (11.37 сур). Бағдарламалық құрылғыдан БҚ басқару сигналы ЭЖ-ға түседі, ол осы сигналды толығымен өтеуді қамтамасыз етіп, тиісінше, атқару *ПО* органын жылжытады. Бағдарламалық құрылғы мен ЭЖ жиынтығы бағдарламалық басқару жүйесі ББЖ деп аталады. Бұл жағдайда тұрақты және айнымалы токтың алдында қарастырылған ЭЖ барлық түрлері қолданыла алады.

Барлық бағдарламалық құрылғылар сандық емес (циклдік) және сандық болып бөлінеді.

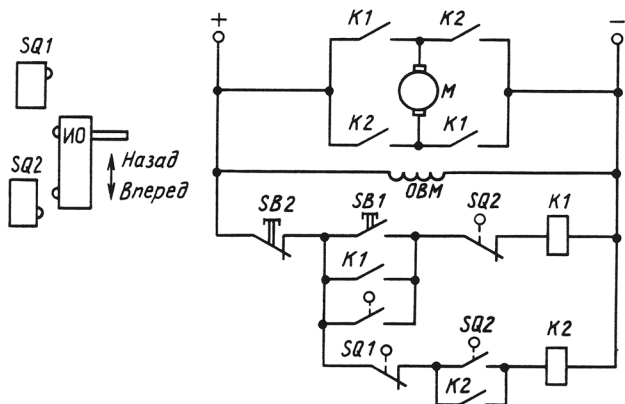
Сандық емес (циклдік) бағдарламалық құрылғылары бар электр жетектері атқару органдары қозалыстарының



11.37 сурет

қайталанатын бірдей циклдарын қамтамасыз ету үшін қолданылады. Мұндай электр жетектерінің бағдарламалық құрылғыларында релелік әрекеттің әртүрлі түйіспелі және түйіспесіз аппараттар – шеткі және жолдық ажыратқыштар, қадамдық іздеуіштер, санауыштар, бағдарламаланатын құрылғылар құрылады. Сандық емес бағдарламалық құрылғылары бар электр жетектеріне шаблондар мен копирлардың қолданылатын жүйелер жатқызылады, олар әртүрлі көшіргіш білдектерде және автоматтарда қолданыла алады. Осындай жағдайларда әдетте релелік әрекеттік қадағалаушы электр жетектері қолданылады.

11.38 сур. келтірілген сандық емес ББЖ, электр қозғалтқышы М атқару органын қозғалтады, мысалы, сүргілеу білдегінің суппорты, манипулятордың «қолы» және т.б. АО шеткі қалыптарында SQ1 және SQ2 шеткі ажыратқыштар орнатылған, олар K1 және K2 түйістіргіш және SB1 және SB2 басқару батырмаларымен қозғалтқышты басқару сұлбасын құрайды. Түйістіргішті K1 қосқанда қозғалтқыш М атқару органының «Алға» шартты бағыты бойынша, «Артқа» шартты бағыты бойынша қауіпсіздігін қамтамасыз етеді, ал түйістіргішті K2 қосқанда – «Артқа» шартты бағытын қамтамасыз етеді.



11.38 сурет

Бастапқы қалыпта атқарушы орган аралық жағдайда тұр деп алайық және ешбір шеткі ағытқыштар басылмаған. ЭЖ жұмысын бастау үшін SB1 батырмасын басу керек, нәтижесінде түйістіргіш K1 қосылады және қозғалтқыш М қоректеуші желіге қосылып, АО-ның «Алға» бағытында қозғалысын қамтамасыз етеді.

АО шеткі ағытқышқа SQ2 жақындағанда және оны басқанда түйістіргіш K1 катушкасының тізбегі үзіледі және қорек көзіне

түйістіргіш *K2* қосылады. Осы аппараттарды ажыратып-қосу қозғалтқыштың *M* якоріндегі кернеу полярлығын өзгертеді, енді он кері айнала бастап, *АО*-ның «Артқа» бағытында қозғалуын қамтамасыз етеді.

АО шеткі ағытқышқа *SQ1* жақындап және оған басқанда, сұлбаға кері ажыратып-қоу орын алады, атап айтқанда, түйістіргіш *K2* өшеді, ал түйістіргіш *K1* қосылады, одан кейін атқару органы қайтадан «Алға» бағытында қозғала бастайды. Осындай циклдік-қайтымды ілгерілеме қозғалыс *SB2* батырмасы басылғанша жалғаса беретін болды.

Келтірілген сызбаны қосымша санауышпен толықтыруға болады, ол *АО* циклдерінің белгілі бір санынан кейін оны тоқтатады.

Соңғы кезде электр жетегінің бағдарламалық басқару сұлбаларында бағдарламаланатын контроллерлер (БК) кең қолданыс табуда, олар циклдік және бірізді өндірістік және технологиялық процестерді автоматтанды үшін мамандандырылған *ЕЭМ* машина болып табылады.

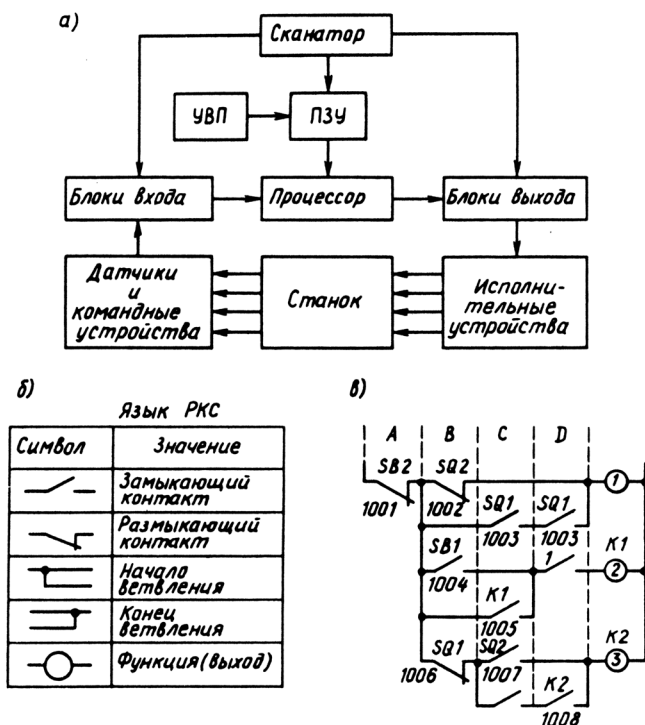
Бағдарламаланатын контроллерлер электр жетектер қозғалысын циклдік басқарудың қарапайым сұлбалары да, өнеркәсіптік жабдықты кешенді автоматтандырудың күрделі жүйелерін де жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бірнеше ондық немесе жүздік кәдімгі электр аппараттарын – реле, логикалық элементтер, санауыштарды және т.б. қолдану талап етілгенде, басқару сұлбаларын жүзеге асыруда БК қолдану экономикалық тұрғыдан өте тиімді,

БК қолданылуымен бағдарламалық басқарудың циклдік жүйесінің жұмысын қарастырамыз, бағдарламаланатын сақтау құрылғысына (БСК) бағдарламаларды енгізу құрылғысының (БКҚ) көмегімен жүйенің қызмет етуінің тәртібін анықтайтын бағдарлама ендірілді (11.39, *a* сур.). Сұлбаның жұмыс циклі үш кезеңен тұрады.

Бірінші кезеңде сканатордың (тактілік импульстердің генераторының) көмегімен пәрмендік құрылғылар мен жүйе элементтерінің – басқару батырмалары мен кілттері, шеткі және жолғы сөндіргіштер, басқа *ЕЭМ* берілетін БК-ның барлық кірулеріне циклдік және бірізді сұрау қамтамасыз етіледі. Алынатын ақпарат ТСК-ға жүктеледі.

Екінші кезеңде процессор ТСК-ға енгізілген бағдарламаға сәйкес кіру сигналдарының жай-күйін шығу сигналдарының берілген күйге түрлендіретін логикалық операцияларын орындай бастайды. Егер кіру жай-күйлері алдыңғы сканерлеу циклімен салыстырғанда, өзгермесе, процессор шығулары жай-күйлерін өзгеріссіз сақтайды, ал кері жағдайда процессор олардың жай-күйін берілген бағдарламаға сәйкес өзгертеді.

Бағдарлама учаскелерін сұрау циклдік, бірінен кейін бірін,



11.39 сурет

орналасу тәртібімен сұрау циклі толық аяқталғаннан кейін бағдарламаның басына қайта оралумен жүзеге асырылады. Бір циклді сұрау (сканерлеу кезеңі) орташа шамамен 1000 жады сөзіне.2...10 мс

Үшінші кезеңде білдек электравтоматикасының орындау құрылғыларына – атқару органдарының электр жетектері, электромагниттер және электромагниттік муфталар, реле, түйістіргіштер және т.б.-и шығу сигналдарын шығару жүзеге асырылады. Бағдарлама БК-ға әртүрлі тілдердің көмегімен, мысалы, бульдік алгебраның теңдеулері түрінде, мнемокод және реле сұлбаларын стандартты сипаттау, сонымен қатар, – PL/M және ФОРТРАН IV жоғары деңгейлі тілдердің көмегімен жазылады. Мысал ретінде Рассмотрим в качестве примера использование языка релелик-контактілі символдар (РКС) тілін қолдануды аламыз.

РКС тілінің бес негізгі логикалық компоненті (символы) (11.39, б-сур. қараңыз): аргумент (тұйықтаушы байланыс), инверсті (кері) аргумент (ажыратылатын түйіспе), параллель тізбектің тармақталуы, функция (шығу, мысалы, электр аппараты

немесе электромеханикалық). Тілдің қосымша компоненттеріне импульстерді санау (санауыш), уақыт сақтау (таймер) және есте сақтау (жады).

РКС тілінде бағдарламалаудың негізін басқарудың принципіалды релелік-контакторлы сұлбалары құрайды, бағдарламалаудың алдында басқару схемаларын келесі ережелер бойынша түрлендіру керек.

Түрлендірілген сұлбаның әрбір тізбегінің бірізді немесе параллельді қосылған контактілерінің бірдей саны болуы тиіс (мысалы, төрт), олардың әрқайсысы төрт аймақтың бірінде орналасады – *A, B, C, D*. Тізбектің бесінші позициясы функцияға (шығуға) беріледі. Егер тізбекте контактілер төрттен ақ болса, оларды қосарлайды, егер көп болса, БК сұлбасына бастапқы тізбектің логикасын бұзбайтын аралық (фиктивті) реле (жады) енгізіледі. Контактілер (кірулер) және функциялар (шығулар) нөмірленеді.

Мысал үшін 11.39-суретте осылай түрлендірілген циклдік басқару схемасы келтірілген, циклдік басқару схемасы. 11.38 сур. көрсетілген. Бұл схемада көрсетілген ережелерге сәйкес, аралық реле 1 енгізілген, ал шеткі сөндіргіштің контактісі *SQ1* қайталанған.

Осындай схеманы құрастырғаннан кейін бағдарламаны енгізу БК панелінен жүзеге асырылады (ТҚҚ блогы 11.39, а сур.), оның пернелері тілдің қайсыбір логикалық символына сәйкес келеді. Одан бөлек, панельде тізбектер мен контактілер жиынтығының декадалық ажыратып-қосқыштар, сонымен қатар, функция типін таңдау пернелері (логикалық, санақтық, уақытша немесе есте сақтау) орналасады.

Енгізілетін бағдарлама ТСҚ-ға жазылады, одан кейін БК принципіалды схемада көзделген функцияларды орындай алады. Бағдарламаны орындау тізбектер бойынша циклдік жолмен орындалады, бұл ретте әр тізбек солдан оңға қарай өңделеді.

Сандық бағдарламалық басқарылуымен (СББ) электр жетегі әмбебап БББ болып табылады. Ол негізінен қолданыс тапқан өңдеу өнеркәсібінде бұл жүйе еңбек өнімділігін едәуір және бөлшектерді өңдеу сапасын арттыруды қамтамасыз етеді.

СББ бар ЭЖ қолданғанда бұйымдарды өңдеу бойынша барлық технологиялық деректер – бұйым немесе өңдеуші құралдың жылдамдығы және ауысуы, олардың бағыты, өңдеу барысындағы операциялардың бірізділігі және басқалар – сан түрінде беріледі. Осы сандардың жиынтығы қайсыбір бағдарлама тасымалдауышқа (перфотаспа, перфокарта немесе магниттік таспа) жазылған аталған бұйымды өңдеу бағдарламасын құрады. Бұйымды өңдеудің алдында бағдарлама

ЭЖ-ның бағдарламалық құрылғысына енгізіледі, ол әрі қарай жұмысшының тікелей қатысуысыз бұйымды өңдеуді қамтамасыз етеді. Басқа бұйымды өңдеу үшін тек қана бағдарламаны ауыстырса жеткілікті, ол қосымша операцияларды (құралдарды алып келу және алып кету, бөлшекті өлшеу, жіберу және кесу жылдамдығын орнату және т.б.) жою арқылы өңдеу уақытын айиарлықтай қысқартады.

ССБ жүйелері аналогты (үздіксіз) және дискретті (импульстық) болып бөлінеді. ССБ-ның аналогты жүйесінде бұйымды өңдеу бағдарламасын жасайтын сандардың жиынтығы қайсыбір үздіксіз өзгертін аналогты физикалық шамаға түрлендіріледі (тұракты ток кернеуі, синусоидалды кернеудің фазасы немесе амплитудасы), ол ЭЖ-ға кіру басқарушы ықпал болып табылады. ССБ дискретті жүйелерінде бағдарлама түпкі нәтижесінде басқарушы импульстердің бірізділігі болып табылады, олардың әрқайсысына құралдың немесе бұйымның орын ауыстыруы сәйкес келеді. Импульстердің саны орын ауыстырудың мәнін, ал олардың жиілігі – жылдамдықты анықтайды.

ССБ жүйелері екі режимде жұмыс істейді: позициялау немесе контурлық өңдеу. ССБ-ның позициялық (координаталық) жүйелері құралды бұйымға қатысты дл орнатуды немесе олардың тура сызықты ауысуын қамтамасыз етеді. Мұндай режимдер фрезерлеу, бұрғылау немесе бірнеше саңылауды жойып өңдеу барысында қолданылады. Бұл жағдайда құрал немесе бұйым құралдың орнату нүктелерінің (позицияларының) арасында ең қысқа түзу сызықты жолмен жылжытылады. ССБ-ның контурлық (функционалдық) жүйелері құрал немесе бұйымның еркін траекториялар бойынша жылжытылуын қамтамасыз етеді, ол әртүрлі конфигурациялы бұйымдарды контурлық өңдеуде талап етіледі.

ССБ жүйелері тұйық немесе ажыратылған болуы мүмкін. Тұйық жүйелерде датчиктердің көмегімен құралдың немесе бұйымның нақы орналасуы өлшенеді және бұл ақпарат кері байланыс сигналы ретінде салыстыру құрылғысына жіберіледі, мұнда ол бағдарламалық құрылғының сигналдарымен салыстырылады. Нақты қалыптың берілген қалыптан айырмашылықтары болса, ЭЖ басқару жүйесіне қосымша басқару сигналдары жіберіледі, олар құрал немесе бұйым қалпының қажетті түзетілімін, демек, бұйымдарды өңдеудің дәлділігін қамтамасыз етеді.

ССБ ажыратылған жүйелерінде құралдың немесе бұйымның қозғалысы қадағаланбайды жне берілгенмен тікелей салыстырылмайды. Сондықтан жүйенің параметрлерін кездейсоқ өзгерту немесе қайсыбір сыртқы ауытқулар болғанда, мысалы, жетек білігіндегі кедергі сәтінің өзгеруі бағдарламаның өңдеу дәлігін

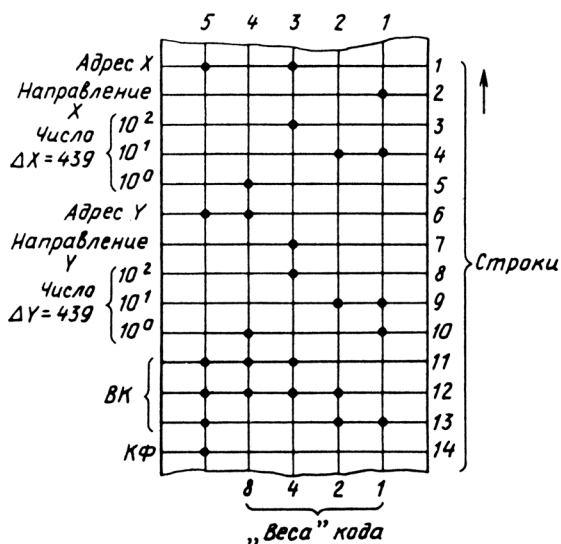
төмендетеді. Сонымен бірге, ажыратылған жүйелер тұйық жүйелермен салыстырғанда, жөндеу және пайдалануда қарапайымдырақ.

ССБ жүйесінде білдекте бұйымды өңдемес бұрын бағдарлама тасымалдауышты дайындау процесі жүреді, ол бірнеше кезеңнен тұрады.

Бұйымды өңдеу бағдарламасын құру үшін келесі технологиялық деректер бастапқы мәліметтер болып табылады: дайындаманың өлшемі, бұйымның сызбасы, дайындаманың материалы, құралдың сипаттамасы, бұйымды дайындаудың қажетті дәлдік дәрежесі, өңдеудің сипаты мен түрі.

Бағдарламаны құрудың бірінші кезеңінде арнайы сызба дайындалады, онда бұйым тікбұрышты координаталар жүйесінде ХҮ бейнеленеді (көлемді өңдеуде үшінші координата Z енгізіледі). Әрі қарай қабылданған координаталар жүйесінде құралдың (бұйымның) жылжытылуы бағдарламаланады, бұл ретте ССБ-ның позициялық жүйелері үшін екі бірізді өңделетін нүктелердің арасында, ал ССБ-ның контурлық жүйелері үшін – құрал (бұйым) орталығының талап етілетін перемещение центра инструмента (изделия) по требуемой траектория бойынша жылжуы бағдарламаланады.

Бағдарламаны дайындаудың келесі кезеңінде бұйымды өңдеудің технологиялық картасы дайындалады, онда құралдың (бұйым) барлық орын ауыстыруларының реттілігі, кесудің жылдамдығы, берілуі және тереңдігі, сонымен қатар, координаталық осьтер бойынша ауысудың мәндері көрсетіледі. Енгізу ыңғайлылығы және бағдарлама тасымалдауыштың ұзындығын қысқарту үшін технологиялық картаның барлық деректері кодталады. ССБ жүйелерінде екілік және екілік-ондық кодтар ең тараған кодтар болып табылады. 1-2-4-8 коды ең кең тараған кодтардың бірі болып есептеледі, оның қарапайым ондық разрядтары бар 10^0 , 10^1 , 10^2 және т.б., олардың әрқайсысында екілік кодта берілетін 1, 2, 4, 8 сандары ғана қолданылады («кодтың жүктері»). Мысалы, 439 саны бұл кодта былай жазылады: $439 = 4 \cdot 10^2 + (1 + 2) \cdot 10^1 + (1 + 8) \cdot 10^0$. Екілік-ондық кодтар өз бойларында ондық кодтардың сыйымдылығын және екілік кодтарға тән ақпаратты бағдарлама тасымалдаушыда ұсыну ыңғайлығын үйлестіреді. Бағдарлама бағдарлама тасымалдауыштарда жеке «фразалар» (блоктар) түрінде жазылады. Әр блок технологиялық циклдің аталған кезеңде бұйымды өңдеу бойынша барлық ақпаратты – координаталық осьтер бойынша ауысудың бағыты мен жылдамдығы, өңдеу, салқындату және т.б. режимдерді қамтиды. Бұл ақпарат жеке сөздердің көмегімен белгіленеді, олардың әрқайсысы координаталар осьтері бойынша ауысулардың мәнін немесе жылдамдығын, немесе бағытын, немесе қосалқы пәрмендерді анықтайды. Мысал үшін 11.40-сур. бесжолдық перфотаспа (алтыншы-жетекші жол-суретте көрсетілмеген) учаскесі бір фразаға сәйкес келетін бағдарламаның жазыған бөлігімен көрсетілген.



11.40 сурет

Фраза адрестен басталады, сол адрес бойынша адресден кейін жазылатын сөздер туралы ақпарат жіберіледі. Адрес бесінші жолға және тағы бір жолға ұрылған тесіктермен беріледі. Осы мысалда X координатасы үшін адрес бірінші тармақтың бесінші және үшінші жолдарда ұрылған тесіктерге, ал Y координатасы үшін – алтыншы тармақтың бесінші және төртінші жолдарында ұрылған тесіктерге сәйкес келеді. Рет бойынша келесі адреске дейінгі барлық ақпарат бір координатаға тиесілі.

Адресден кейінгі келесі сөз (екінші тармақ) жылжудың аталған координата бойынша қайсыбір шартты сандық кодта берілген бағытын анықтайды. Мысалы, мұнда оң бағыттар $+X$ и $+Y$ тиісінше бірінші және үшінші жолдарда, ал теріс бағыттар $-X$ и $-Y$ – екінші және төртінші жолдарда бір тесумен беріледі.

Ауысудың бағытын беретін жолдан кейін аталған учаскеде ΔX және ΔY ауысуларының мәндерін анықтайтын сан тұрады. Олар екілік-ондық кодта беріледі 1-2-4-8: 1 – бірінші жолда, 2 – екінші жолда, 4 – үшінші жолда, 8 – төртінші жолда. Қарастырылатын мысалда

$$\Delta X = \Delta Y = 439 = 4 \cdot 10^2 + (1 + 2) \cdot 10^1 + (1 + 8) \cdot 10^0.$$

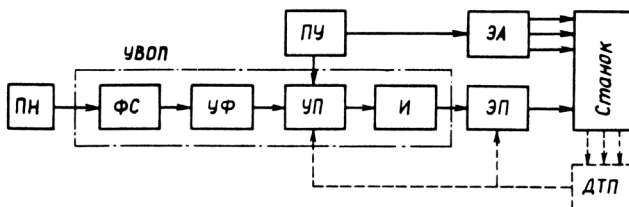
Сандық мәліметтерді қамтитын тармақтардан кейін кодталған қосалқы пәрмендері $ҚП$ бар тармақтар 11... 13 с орналастырылады, оларға бесінші жолдағы тесік пен басқа жолдардағы тесіктердің тіркестері сәйкес келеді.

Фразаның (блоқтың) соңы *ФС* басқа тесіктер болмаған жағдайда бесінші жолдағы тесікпен белгіленеді.

Әрі қарай бағдарлама тасымалдауышқа бұйымды өндеудің басқа учаскесіне сәйкес келетін келесі фраза жазылады.

ССБ жүйелерінде ені 17,5 мм бесжолдық перфотаспа және ені 24,5 мм сегізжолдық перфотаспа қолданылады. Сегізжолдық перфотаспаны қолданғанда бағдарламаны кодтау Халықаралық стандарттау бойынша ұйымның кодына сәйкес жазылады, ал бесжолдық перфотаспаны қолданғанда – БЦК-5 әріптік-сандық кодқа сәйкес (білдек жасау нормал Э68-1) белгіленеді.

Бұйымды өндеудің кодталған түріндегі бағдарламаны қамтитын бағдарлама тасымалдауыш *БТ* ССБ бар ЭЖ-ның енгізу құрылғысына орналастырылады (11.41сур.).



11.41 сурет

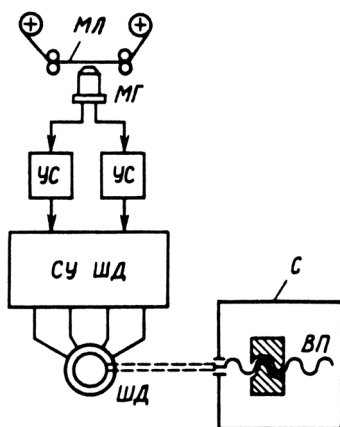
Бағдарламаны енгізу және өндеу құрылғысында БЕӨҚ фотооқығыштың *ФО* және күшейткіш-қалыптастырушының *КҚ* көмегімен бағдарлама тасымалдауыштың *БТ* кодталған апаратының кадрлық оқылуы және электр сигналдарына түрлендірілуі жүзеге асырылады. Бір оқылып жатқан кадрдан ақпарат буферлік (аралық) жадыға жазылып жатқанда, жұмыс жадысында және ССБ жүйесінің кейінгі блоктарында алдыңғы кадрлардың өндеуі жүзеге асырылып жатады. Жұмыс жадысы босаған сайын оған буферлік жадыдан ақпарат аударылады, ол білдекті басқару процесінің үздіксіздігін қамтамасыз етеді. Буферлік және жұмыс жадылары жады құрылғысына *ЖД* кіреді.

Жады құрылғысынан электр сигналдары интерполятордың (дешифратордың) *И*, кіруіне келіп түседі, ол осы кодталған сигналдарды электр импульстарының реттілігіне (унитарлық код) түрлендіреді және оларды ЭЖ кіруіне жібереді. ЭЖ импульстердің осы реттілігін жүзеге асыра отырып, білдекті, атқару органының жылжуын қамтамасыз етеді, ал олардың жүру жиілігі –жылдамдықты анықтайды. Жады құрылғысы *ЖҚ* басқару пультімен *БП* байланысты.

ССБ жүйесі әртүрлі электр механикалық және электр магниттік құрылғыларды, мысалы, электромагниттік муфталарды, білдектің әртүрлі механикалық құрылғыларын, реле және түйістіргіш катушкаларын басқаруды тиісті қамтамасыз етеді, олар сұлбада шартты түрде электр автоматика блогы ЭЛ деп белгіленген.

11.41 сур. келтірілген ССБ бар ЭЖ сұлбасы бөлшекті өңдеудің технологиялық процесі параметрлерінің датчиктерімен (ДТП блогы) және электр жиегі координаталарымен толықтырылуы мүмкін. Бұл жағдайда ССБ жүйесі тұйық болып, бөлшектерді өңдеудің жоғары сапасын қамтамасыз етеді. Одан бөлек, ССБ бар ЭЖ сұлбасы суретте көрсетілмеген бағдарламаны енгізу, оны өшіру және қорғауды, білдектің электр жабдығымен жұмыс істеуде әртүрлі бұғаттау мен сигнал беруді бірқатар блоктар мен құрылғыларды қамтиды.

Жиі бағдарламаны магниттік таспаға жазу ыңғайыл болады, ол бағдарлама жазудың үлкен тығыздығын алуға және білдектен бөлек орналасқан құрылғыларда оқу және қайта кодтау операцияларын жүргізуге мүмкіндік береді. Жазба бірнеше жолмен жазылады, олардың бір бөлігі координаталар бойынша ауысулар, басқа бөлігі – қозғалыс бағыттары, кесу режимдері, қолданылатын құралдар және т.б. ақпаратты қамтиды. Магниттік таспадағы ақпарат унитарлық код түрінде жазылады, яғни білдектің атқару органдарының олардың санына сәйкес жылуын қамтамасыз ететін басқару импульстерінің үздіксіз реттілігі ретінде жазылады.



11.42 сурет

Мысал үшін қадамдық қозғалтқышы бар ССБ жүйесінің құрылымдық сұлбасын қарастырамыз (11.42 сур.), оның көмегімен фрезерлеу білдегінің үстелі бір координата бойынша жылжиды.

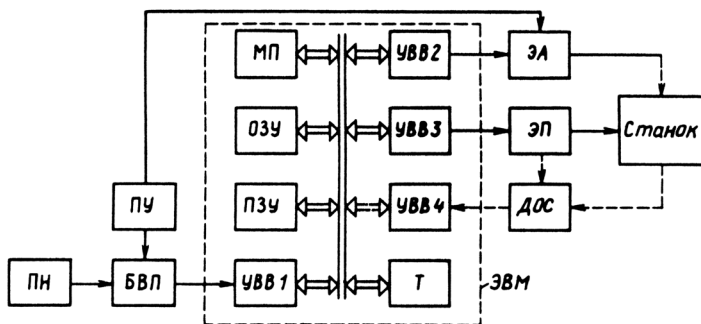
Магниттік таспаға *MT* унитарлық код ретінде жазылған үстелді жылжыту бағдарламасы магниттік бастиектің *МБ* көмегімен оқылады. Қозғалыстың талап етілетін бағытына байланысты импульстер басқару каналдарының бірі бойынша бағытталады және оны блоктарда күшейткеннен кейін қадамдық қозғалтқышты басқару жүйесінің *ҚҚБЖ* кіруіне түседі.

Қозғалтқыш пәрмендік импульстерді атқарады және механикалық бұрандалы беріліс *ББ* арқылы үстелді *Y* жылжытады. Общее число Импульстердің жалпы саны үстелді жылжытуды, ал олардың жиілігі —осы жылжытудың жылдамдығын анықтайды. Үстел басқа координата бойынша қозғалуы үшін ұқсас *ЭЖ* қолданылады.

Өздерінің техникалық мүмкіндіктері мен құрылымы ерекшеліктері бойынша ССБ жүйелері төрт топқа бөлінеді, олардың халықаралық жіктеу бойынша *HNC*, *SNC*, *CNC* және *DNC* белгілері бар.

HNC жүйесі (*Hand numerical control*) басқару пультынан бағдарламаны қолмен басқару арқылы жедел басқаруды қамтамасыз етеді. *SNC* жүйесінің (*Stored numerical control*), бағдарламаларды сақтау үшін жады құрылғысы бар, бірдей дайындамалар топтамасын өңдеуді қамтамасыз етеді, өңдеудің алдында бір рет қана оқиды. *CNC* жүйесінде (*Computer numerical control*) жұмысты бағдарламалауға және талап етілетін басқару алгоритмін шығаруға мүмкіндік беретін микроЕЭМ қолданылады. *DNC* (*Direct numerical control*) жүйесі *SNC* және *CNC* жүйелерімен ССБ-мен білдектер тобын тікелей цифрлық басқаруды жүзеге асыра алады.

Бүгінгі таңда микропроцессорлар және микроЕЭМ қолданылуымен ССБ жүйелері ерекше дамыды (11.43 сур.).



11.43 сурет

Басқарушы бағдарлама ЭЕМ-ға бағдарлама тасымалдауыштан БТ (немесе басқару пультынан) бағдарламаны енгізу блогы БЕМ және и енгізу-шығару құрылғысы ЕШҚ арқылы енгізіледі. Өрі қарай ол микроЭЕМжады құрылғысына түседі. Тұрақты сақтау құрылғысында ТСҚ бағдарламаның тұрақты бөлімдері, қайта кодтау, интерполяциялау үшін деректер және қажетті есептеулер сақталады.

Жедел сақтау құрылғысына ЖСҚ басқару бағдарламасының деректерінен басқа кері байланыс датчиктерінен КБТ технологиялық процестің барысы, қорғаныс мен бұғаттаудың жай-күйі туралы ағымдағы ақпарат, ЭЖ-ға және білдек электроавтоматикасы ЭА құрылғыларына басқарушы ықпалды анықтайтын ақпарат түседі. МикроЭЕМ-ның білдек электр жабдығымен байланысы енгізу-шығару құрылғылары арқылы жүзеге асырылады. Одан бөлек, ЭЕМ микропроцессор МП және таймерден тұрады Т.

МикроЭЕМ-ді ССБ жүйелерінде қолдану олардың функционалдық мүмкіндіктерін арттырады, мысалы, бағдарламаның көмегімен білдекті басқаруға, оператор мен білдектің арасында диалогтік режимді жүзеге асыруға, білдек пен ССБ жүйесінің жай-күйін диагностикалауға, бөлшектерді өңдеудің әмбебап (позициялық және контурлық) режимін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Одан бөлек, микроЭЕМ құралдың (бөлшектің) әртүрлі координаталар бойынша қозғалуын қамтамасыз ететін бірнеше электр жетектерін басқаруға мүмкіндік береді.

11.12. АДАПТИВТІ БАСҚАРЫЛУЫМЕН ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІ

Кейбір жұмыс машиналарының және өндірістік механизмдердің жұмысы технологиялық процестер жағдайларының кең шектерінде кездейсоқ өзгерулермен және оларға ықпал ететін ауытқу әрекеттерімен сипатталады. Осындай технологиялық процестердің аса жақсы барысын қамтамасыз ету үшін ЭЖ-ның өз жұмысының сипатын тиісті дәрежеде өзгерту мүмкіндігі болуы тиіс.

Технологиялық процестің өте жақсы өтуін жүзеге асыру мақсатымен басқару жүйелері автоматты және мақсатты өзгертін электр жетегі адаптивті немесе өздігінен бейімделетін басқаруы бар ЭЖ деп аталады. Басқа сөздермен айтқанда, адаптивті басқаруы бар ЭЖ өзгермелі ауытқулар және жұмыс жағдайында берілген сапа көрсеткіші бойынша технологиялық процестердің оңтайлы барысын қамтамасыз етеді. ЭЖ басқару жүйесі қызмет етуінің автоматтық өзгеруі адаптация, немесе өздігінен бейімделу деп аталады.

Егер адаптивті басқарылатын ЭЖ мақсатты түрде басқару жүйелерінің параметрлері өзгертілетін болса, онда жетек *өздігінен бапталады*, егер басқару жүйесінің параметрлері мен құрылымы өзгерсе – *өздігінен ұйымдастырылатын*, егер ЭЖ қызмет етуінің тәжірибесі қолданыла отырып, басқару параметрлері, құрылымы және заңы өзгерсе, - *өздігінен оқытылатын* деп аталады.

ЭЖ адаптивті басқаруды жүзеге асыру үшін адаптивті басқару құрылғысы (АБҚ) қолданылады, ол технологиялық процестердің берілген сапа көрсеткіштерін қамтамасыз ететін, мысалы, жұмыс машинасының аса жоғары өнімділігі, өңделетін бөлшектің минималды құны және т.б. басқару сигналдарын қалыптастырады.

Жалпы жағдайда АБҚ осы сапа көрсеткішін берілген деңгейде қамтамасыз етуі немесе ұстауы керек (*тұрақтандыру жүйелері*), немесе оның төтенше мәнін алу (*төтенше жүйелер*).

Тұрақтандыру жүйелері жиі технологиялық процестің моделін қолдануға негізделеді, оның көмегімен нақты және мақсатты (оңтайлы) технологиялық процесс сипаттамаларының жақындығы қамтамасыз етіледі.

Төтенше адаптивті жүйелерде басқару жүйелері параметрлері технологиялық процестің берілген сапа көрсеткішінің төтенше мәніне бапталады.

Сапа көрсеткішінің ағымдағы мәні туралы ақпаратты алу әдісі бойынша жүйелер *ізденістік және ізденіссіз* болып бөлінеді. Ізденістік жүйелерде сапа көрсеткішіне жүйеге қосымша іздеу сигналдарын енгізу есебінен қолжеткізіледі. Ізденіссіз (аналитикалық) жүйелерде ол аналитикалық тұрғыдан арнайы есептеу құрылғысының көмегімен есептеледі. Егер ізденістік сигналдар басқару жүйесінің өзімен түрлендірілетін болса, онда мұндай жүйе экстремумды автотербелістік ізденіспен төтенше жүйе деп аталады. Ізденістік сигналдарды іздеудің арнайы қосымша көзі болса, экстремумды мәжбүрлі іздеу жүйесі жүзеге асырылады.

Сапа көрсеткіші тәуелді айнымалы шамалардың саны бойынша төтенше жүйелер бірөлшемдік және көпөлшемдік болып бөлінеді, сондай-ақ, олар экстремумды табу алгоритмін іздеу әдістері бойынша жіктеледі (мысалы, Гаусс-Зайдел, градиента, шапшаң түсу).

ТРН-АҚ жүйесінде (5.5 б. қараңыз) АҚ статор тоғының минималды мәнін іздеу жүйесі ЭЖ ізденістік адаптивтік басқару жүйесінің мысалы бола алады, бұл ретте қозғалтқыш ысырабы минималды болады. Бұл жағдайда басқару объекті ретінде статор тоғы -АҚ реттелетін координатасы, басқару координатасы – қозғалтқыш қорегінің кернеуі, ауытқу ықпалы – қозғалтқыш білігіндегі жүктеме сәті.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай жағдайларда ЭЖ тұйық сұлбаларын құру қажет?
2. Тұйық ЭЖ көбінің күштік бөлігінің құрылымы қандай?
3. Тұйық ЭЖ басқарудың қандай функционалды аналогты элементтері қолданылады?
4. Операциялық күшейткіш дегеніміз не?
5. Операциялық күшейткіш қандай функционалдық түрлендірулерді және ненің есебінен жүзеге асырыла алады?
6. Тұйық ЭЖ қандай функционалдық цифрлық басқару элементтері қолданылады?
7. Ең кең тараған цифрлық тараптарды қысқаша сипаттаңыз.
8. Екілік, сезіздік және он алтылық цифрлық кодтар дегеніміз не?
9. Тұйық ЭЖ қандай координаталар датчиктері қолданылады?
10. Микропроцессор, микроЭЕМ және микропроцессорлық жүйе дегеніміз не?
11. Қандай ЭЖ жиынтықтық деп аталады?
12. Жиынтықтық ЭЖ және тура және айнымалы тоқты сериялық тұйық ЭЖмысал келтіріңіз.
13. Қандай ЭЖ қадағалаушы деп аталады?
14. Бағдарламалы басқаруымен ЭЖ қалай жұмыс істейді?
15. ССБ-мен ЭЖ жұмыс ерекшеліктері неде?
16. Қандай ЭЖ басқару адаптивті деп аталады?

ӘДЕБИЕТ ТІЗІМІ

1. Тұрақты тоқты электр жетектерін басқару жүйелерінің анализі және синтезі/ ред. *В. А. Елисеев*. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1984. – 84 б.
2. *Беляев А. В.* 0,4 кВ желілерінде аппаратуры, қорғау және кабельдерді таңдау. – Л.: Энерг. гоатомиздат, 1988. – 176 б.
3. *Вешеневский С. Н.* Электр жетектегі қозғалтқыштардың сипаттамалары. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
4. *Голован А. Т.* Электр жетектің негіздері. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 344 б.
5. Р МЕМСТ50369-92. Электр жетектері. Терминдер мен анықтамалар. Ресейдің Мемлекеттік стандарты.
6. *Ильинский Н. Ф.* Электроприводы постоянного тока с управляемым моментом. – М.: Энергоиздат, 1981. – 144 б.
7. *Ильинский Н. Ф., Козаченко В. Ф.* Электр жетектің жалпы курсы: – М.: Энерг. гоатомиздат, 1992. – 544 б.
8. *Ключев В. И.* Электр жетектің теориясы. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 б.
9. *Ковчин С. А., Сабинин Ю. А.* Электр жетектің негіздері. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. – 496 б.
10. Жиынтықтық электр жетектері: Анықтамалық / *И.Х. Евзеров, С. Горобец, Б. И. Мошкович* және басқалар; ред. *В. М. Перельмутер*. – М.: Энерго атомиздат, 1988. – 319 б.
11. *Марголин Ш. М.* Дифференциалды электр жетектер – М.: Энергия, 1975. – 168 б.
12. *Москаленко В. В.* Автоматтандырылған электр жетегі. – М.: Энерг. гоатомиздат, 1986. – 416 б.
13. *Москаленко В. В.* Электр жетегі. – М.: Высш. шк., 1991. – 430 б.
14. Автоматтандырылған электр жетегінің негіздері/ *М. Г. Чиликин, М. М. Соколов, В. М. Терехов, А. В. Шинянский*. – М.: Энергия, 1974. – 568 б.
15. Микропроцессорлық жүйелерді энергетика және радиоэлектроникада қолдану / *А. Н. Дорошенко, Ю. Н. Евланов, Л. А. Ильашенко* және басқалар.; ред. *А. Мясникова, А. А. Дерюгина*. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1986. – 100 б.
16. Автоматтандырылған электр жетегі бойынша анықтамалық / Под ред. *А. Елисеева, А. В. Шинянского*. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 б.
17. *Терехов В. М.* Автоматтандырылған электр жетектің негіздері. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 224 б.
18. Білдектер мен өнеркәсіптік роботтар үшін тұрақты магниттен қозатын синхронды қозғалтқыштардың негізіндегі транзисторлық электр жетегі / *А. Д. Поздеев, В. В. Горчаков, Н. В. Донской* и др. // Электротехника. – 1988. – № 2. – 6.10-14.
19. *Чиликин М. Г., Сандлер А. С.* Электр жетектің жалпы курсы. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 б.

20. Шёнфельд Р., Хабигер Э. Автоматтандырылған электр жетектері: Нем. тілінен ауд. / Ред. Ю. А. Борцов. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 464 б.

21. Асинхронды электр жетектегі ауыспалы процестер / М. М. Соколов, Л. П. Петров, Л. Б. Масандилов, В. А. Ладензон. – М.: Энергия, 1971. – 624 б.

22. Электр және электрондық аппараттар / Ред. Ю. К. Розанов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 752 б.

23. Динамикалық және энергетикалық көрсеткіштері жақсартылған тұрақты және айнымалы тоқты электр жетектері. – Тр. Моск. энерг. ин-т, 1982. – Шығ. 570. – 108 б.

24. Электр техникалық анықтамалық. Электр энергиясын қолдану / жалпы ред. И. Н. Орлов және т.б. – 7-ші бас. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – Т. 3. – Кіт. 2. – 616 б.

25. Электр жетегіндегі энергия сақтайтын техникалық шешімдер / Ред. А. О. Горнов. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 56 б.

26. Халық шаруашылығын электрмен жабдықтаудың энергия үнемдейтін технология / Ред. В. А. Веников. 2-кіт. Электр жетектегі энергия үнемдеу / Н. Ф. Ильинский, Ю. В. Рожанковский, А. О. Горнов. – М.: Высш. шк., 1989. – 127 б.

27. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крандық электр жетек: Анықтамалық. – М.:

МАЗМҰНЫ

Алғысөз	3
Кіріспе	5
1 тарау. Негізгі түсініктер	7
1.1. Электржетектерінің тағайындалуы мен түрлері.....	7
1.2. Электржетектің даму тарихы және оның заманауи технологиялардағы рөлі	9
2 тарау. Электр жетегінің механикасы.....	12
2.1. Электр жетек қозғалысының теңдеуі.....	12
2.2. Электр жетектің механикалық бөлігінің есептеу сұлбасы. Бірмассалы сұлба	13
2.3. Көпмассалы есептеу сұлбалары.....	18
2.4. Электр жетектің орныққан қозғалысы мен оның тұрақтылығы	20
2.5. Тұрақты динамикалық моменттегі электр жетектің орнықтаған қозғалысы	23
2.6. Қозғалтқыш пен атқарушы органның сызықтық механикалық сипаттамасы кезіндегі анықталмаған қозғалысы.....	25
2.7. Негізсіз динамикалық моменттегі электр жетектің анықталмаған қозғалысы	28
3 тарау. Электр жетектің координаттарын реттеу	32
3.1. Жылдамдықты реттеу.....	33
3.2. Электр тоғы мен уақытты реттеу	36
3.3. Орналасуды реттеу	38
3.4. Координаттарды реттеу кезінде қолданылатын электр жетектердің құрылымдары	39
4 тарау. Тұрақты тоқты қозғалтқыштардың электржетегі	41
4.1. Тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының статикалық сипаттамасы және қосу сұлбасы	42
4.2. Тәуелсіз қозатын тұрақты электр тоғы қозғалтқыштары жұмысының энергетикалық режимі	45
4.3. Тәуелсіз қозатын тұрақты электр тоғы қозғалтқыштарының жылдамдығын якорь тізбегіндегі резисторлар көмегі арқылы реттеу.....	47
4.4. Якорь тізбегіндегі реттеуші резисторларды есептеу.....	49
4.5. Іске қосу кезінде тежегіш пен реверстің, электр тоғы мен уақытын реттеу	52

4.6. Магниттік ағымның өзгеруімен тәуелсіз қозулардағы тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығын реттеу.....	55
4.7. Тәуелсіз қозатын тұрақты ток қозғалтқышындағы электржетектер координаттарын якорь кернеуін өзгерту арқылы реттеу. «қалыптастырушы- қозғалтқыш» жүйесі.....	58
4.8. «Түрлендіргіш-қозғалтқыш» ашық жүйесіндегі өтпелі процестер	65
4.9. Якорьді тұйықтау сұлбасындағы тәуелсіз қоздырғыш тұрақты токты қозғалтқышының жылдамдығын реттеу.....	74
4.10. «Ток көзі – қозғалтқыш» жүйесінде координаталарды реттеу.....	75
4.11. Тәуелсіз қоздырылатын тұрақты токты қозғалтқышымен электр жетектің жылдамдығын импульстік реттеу.....	77
4.12. Бірізді қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштың қосу сұлбасы, статистикалық сипаттамалары және жұмыс режимдері	82
4.13. Бірізді қоздырылатын тұрақты тогы қозғалтқышы бар электр жетектің координаталарын резисторлардың көмегімен реттеу.	85
4.14. Магниттік ағынды, кернеуді өзгерту және якорь резисторын тұйықтау арқылы тізбекті қоздырғышты қозғалтқыштың жылдамдығын реттеу.....	88
4.15. Бірізді қоздырғышты тұрақты ток қозғалтқышы бар электр жетегін тежеу.....	91
4.16. Аралас қоздырғышты тұрақты токты қозғалтқышы бар электр жетегінің ерекшеліктері мен сипаттамалары	93

5 тарау. Асинхронды қозғалтқышты электр жетектері95

5.1. Асинхронды қозғалтқышты қосу сұлбасы, статикалық сипаттамалары және жұмыс режимдері	96
5.2. Резисторлардың көмегімен асинхронды қозғалт-қыштың координаталарын реттеу.....	104
5.3. Реттегіш резисторларды есептеу	106
5.4. Асинхронды қозғалтқышы бар электржетектің координаттарын кернеуді өзгертумен реттеу	111
5.5. Асинхронды электржетек жұмысының үнемділігін кернеу реттегіштің көмегімен арттыру	114
5.6. Қоректендіруші кернеудің жиілігін өзгерту арқылы асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын реттеу.....	115
5.7. Полюстер жұптарының санын өзгерту арқылы асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын реттеу.....	128
5.8. Асинхронды қозғалтқышты қосудың каскадтық сұлбаларында оның жылдамдығын реттеу.....	131
5.9. Асинхронды қозғалтқышты электржетек координаттарын реттеудің импульстік тәсілі	135
5.10. Асинхронды қозғалтқышты тежеу.....	137
5.11. Асинхронды қозғалтқыштағы өтпелі процестердің ерекшеліктері мен олардың жасалуы.....	141

5.12. Бір фазалы асинхронды қозғалтқышы бар электржетек.....	145
5.13. Жазық асинхронды қозғалтқышты электржетек	149
6 тарау. Синхронды қозғалтқышты электржетектер	152
6.1. Синхронды қозғалтқыштың қосылу сұлбасы, статикалық сипаттамалары және жұмыс режимдері	153
6.2. Синхронды қозғалтқыштың іске қосылуы	154
6.3. Синхронды қозғалтқышты тежеу және оның жылдамдығын реттеу	157
6.4. Синхронды қозғалтқыш реактивті қуаттың өтемдеуіш есебінде	158
6.5. Синхронды қозғалтқышты электржетектің өтпелі процестерінің ерекшеліктері.....	160
6.6. Вентильді қозғалтқышты электржетек	160
6.7. Қадамды қозғалтқышты электр жетегі	163
6.8. Вентиль-индукторлы электр жетегі.....	171
7 тарау. Өзара байланысты электр жетегі.....	173
7.1. Қозғалтқыш валдарының механикалық қосылумен электр жетегі.....	174
7.2. Механикалық дифференциалды электр жетегі	177
7.3. Электр білікті электр жетегі.....	178
8 тарау. Электр жетегінің энергетикасы.....	183
8.1. Электр жетегінің орныққан режиміндегі қуат пен энергияны жоғалту.....	184
8.2. Электр жетегінің ауыспалы режимдерінде қуат пен энергияны жоғалту.....	188
8.3. Электр жетегінің пайдалы әсер коэффициенті.....	196
8.4. Электр жетек қуатының коэффициенті.....	196
8.5. Электр жетек құралдарымен энергияны үнемдеу.....	205
9 тарау. Қозғалтқыштар мен резисторларды таңдау және тексеру.....	209
9.1. Қуат есебі және қозғалтқышты таңдау	209
9.2. Қозғалтқыштарды қызуы бойынша тура әдіспен тексеру	214
9.3. Қозғалтқыштарды қыздыру бойынша жанама әдіспен тексеру	218
9.4. Қозғалтқыштардың күш тізбектеріндегі резисторларды қыздыруды таңдау және тексеру.....	226
10 тарау. Электр жетегін басқарудағы алшақтанған схемалар	229
10.1. Қолмен басқарылатын электр аппараттар	230
10.2. Қашықтан басқаруға арналған электр аппараттар	232
10.3. Уақыт, жылдамдық, ток және қалып датчигі	237
10.4. Электр жетегінде қолданылатын қорғаныстық, блокадалау және дабыл аппараттары және түрлері	244
10.5. Түйіспесіз логикалық элементтер	253
10.6. Электромагниттік муфталар және тежегіш құрылғылар	257
10.7. Тұрақты ток қозғалтқыштары бар электр жетектерін басқарудың типтік тораптары мен сұлбалары.....	260

10.8. Асинхронды қозғалтқышы бар электр жетектерін басқарудың типтік тораптары және сұлбалары	269
10.9. Синхронды қозғалтқыштары бар электр жетектерін басқарудың типтік тораптары мен сұлбасы	277
10.10. Коммутация, басқару және қорғау аппараттарын таңдау	279
11-тарау. Электр жетегін басқарудың тұйықталған сұлбалары.....	282
11.1. Электр жетегінің тұйықталған құрылымдарының сұлбалары	283
11.2. Электр жетегін басқарудың тұйықталған сұлбаларының техникалық құралдары	286
11.3. Электр жетектерін басқарудың аналогтық элементтері мен құрылғылары	289
11.4. Электр жетектің дискретті элементтері және басқару құралдары	297
11.5. Басқарудың тұйық сұлбаларында қолданылатын жылдамдық датчиктері және жай-күйлері	308
11.6. Электр жетегін басқарудың микропроцессорлық құралдары	313
11.7. Тұрақты ток қозғалтқыштары бар электр жетекті басқарудың тұйық сұлбалары	320
11.8. Айнымалы ток қозғалтқыштарымен электр жетектерін басқарудың тұйық сұлбалары	334
11.9. Жиынтықты және біріктірілген электр жетектері	338
11.10. Қадағалаушы электр жетегі	340
11.11. Бағдарламалық басқарылуымен электр жетегі	347
11.12. Адаптивті басқарылуымен электр жетегі	358
Әдебиет тізімі	361
Мазмұны	363

Оқу басылымы

Москаленко Владимир Валентинович

Электр жетегі

Оқулық

7-і басылым, түзетілген

Редакторы: Д. Байтұрсынұлы.

Техникалық редактор: *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерлік өңдеу: *И. В. Земскова*

Корректорлар: *А. П. Сизова, А. В. Черкасова*

№ 107100787 басылым. Баспаға 07.02.2014 жіберілді. Форматы 60 x 90/16.

Гарнитура «Таймс». Офсетті басылым. Офсетті қағаз № 1.

Шарт. баспа беті. 23,0. Тираж 1000 дана. Тапсырыс №

«Издательский центр «Академия» АҚБ. www.academia-moscow.ru 129085, Мәскеу, Мир даңғылы, 101В, 1 ғимарат.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлық-эпидемиологиялық қорытынды № РОСС RU. AE51. Н 16476 05.04.2013.

Баспаның электрондық тасымалдағыштарында басылды,

«Саратовский полиграфкомбинат» ААҚ. www.sarpk.ru

410004, Саратов қ., Чернышевский көш., 59.