

ЭЛЕКТР АППАРАТТАРЫ

«Федералдық білім беруді дамыту институты» федералдық мемлекеттік мекемесі орта кәсіптік білім беру бағдарламаларын іске асыратын білім беру мекемелерінің оқу процесінде оқу құралы ретінде пайдалану үшін ұсынған 2009 жылғы 10 ақпандағы рецензияны тіркеу нөмірі 601 «ФБДИ» ФММ

5-басылым, стереотиптік



Мәскеу
«Академия» баспа орталығы
2015

ӘОЖ621.3(075.32)
КБЖ 31.264я723 Э454

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 үдерісіне 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

Рецензенттер:

Мәскеу космостық аспаптар жасау техникумының оқу бөлімінің меңгерушісі А.А.Ковалев;

Мәскеу өнеркәсіптік-экономикалық колледжінің ОКБ МММ оқытушысы С. В. Чубуков

Электр аппараттары: орта кәсіптік білім беру мекемесінің студенттеріне арналған оқу құралы / [О.В.Девичкин, В.В.Лохнин, Р.В.Меркулов, Е.Н. Смолин] — 5-басылым, стер. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2015. — 240 б.

ISBN 978-601-333-192-8 (каз.)

ISBN 978-5-4468-2305-5 (рус.)

Электр аппараттарының жіктеуіші берілген, олардың теория және құрылым мәселелері мазмұндалған, аппараттарды қолдану салалары мен оларды одан әрі даму перспективалары көрсетілген. Электронды аппараттар мен оларда қолданылатын датчиктердің негізгі типтері келтірілген. Электронды аппараттарды әзірлеу кезінде негізгі логикалық схемалары мен оларды есептеу әдістері қарастырылған.

Оқу құралы «Электр және электр механикалық жабдықтарды техникалық пайдалану және қызмет көрсету (салалар бойынша)» мамандығына арналған ПМ.01 «Электр және электр механикалық жабдықтарға техникалық қызмет көрсетуді және жөндеуді ұйымдастыру», МДК.01.01 «Электр машиналары және аппараттар» кәсіби модуль менгеру кезінде қолданылады.

Орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

ӘОЖ 621.3(075.32)
КБЖ 31.264я723

© О. В.Девичкин, В. В.Лохнин, Р. В.,Меркулов Е. Н.Смолин, 2010

© «Академия» Білім-баспа орталығы, 2010

© Ресімдеу. «Академия» Баспа орталығы, 2010

ISBN 978-601-333-192-8 (каз.)

ISBN 978-5-4468-2305-5 (рус.)

Электр энергиясының ағындарын басқаруға, жұмыс режимдерін өзгерту, параметрлерді реттеу, электр техникалық жүйелер мен олардың құрамдас бөліктерін бақылау және қорғау үшін электр аппараттары кеңінен таралды. Әдетте, мұндай электр аппараттарының функциялары алуан түрлі жиілікпен электр тізбектерінің коммутациясы (қосу және сөндіру) арқылы жүзеге асырылады.

Электр аппараттарын жіктеудің негізгі белгілерінің бірі кернеу болып табылады. Осы белгі бойынша төмен (1 000 В дейін) және жоғары кернеулі аппараттар ерекшеленеді. Төмен кернеулі аппараттардың көпшілігін келесі түрлерге бөлуге болады:

- басқару және қорғау аппараттары;
- автоматты реттеу аппараттары;
- автоматика аппараттары;

Төмен кернеулі аппараттар әлсіз тоқты (10 А дейін) және күшті токқа коммутациялық ток шамасы бойынша жіктеледі.

Жоғары кернеулі аппараттар 1150 кВ айнымалы токқа және 750 кВ тұрақты токқа дейін кернеумен желіде жұмыс істейді. Оларды функциялары бойынша жоғары кернеулі сөндіргіштер, ток шектеуші реакторлар, ажыратқыштар және бөлгіштер деп бөлінеді.

Төмен және жоғары кернеулі электр аппараттары пайдаланудың алуан жағдайларына есептелген және белгілі бір функцияларды іске асыратын құрылымдық аяқталған техникалық құрылғылар болып табылады.

ЭЛЕКТР АППАРАТТАРЫНЫҢ МАГНИТТІ ТІЗБЕКТЕРІ

1.1. Тұрақты тоқтың магнитті тізбектері

Магнитті жүйе — бұл кеңістіктің белгілі бір орында берілген конфигурациясының және шамасының магнитті өрісін құру үшін арналған ферромагнитті денелер мен тогы бар өткізгіштердің (немесе тұрақты магниттердің) жиынтығы. Магнитті жүйенің барлық магнитті жұмсақ элементтері ағынды магнитті кедергіні азайтуға және ағын қолданылатын кеңістік орнына оны келтіруге әкелетін магнит өткізгіш түзеді. Магнитті жүйенің өрісі не тікелей өріс териясының әдістерімен (дала әдістері) не өріс теориясында негізделетін тізбектер теориясының әдістерімен есептеледі. Электр аппараттарының магнитті жүйелерінің басым көпшілігінің өрісі үш өлшемді. Дала әдістерімен үш өлшемді өрістерді есептеу әдетте есептеу жұмыстарының елеулі көлемдерімен байланысты. Алайда бұл есептеулер өте жан-жақты, тізбектер теориясының әдістерін есептеуге қарағанда тапсырмаларды дәлірек шешу мүмкіндігін береді. Сондықтан көптеген жағдайларда магнитті жүйе өлшемлерін іздеу саласы алдын ала елеулі тарылғанда, жоғары деңгейлі математикалық модельдер ретінде пайдалану мақсатқа сай және жобалауды «өңдеу» қажет.

Магнитті тізбек — бұл магнитті жүйе және оның магнитті өрісі туралы қарапайым түсінік. Мұндай түсінік кезінде электрмагнитті процестер «магнит қозғаушы күштер» (МҚК), «скалярлық магнитті потенциалдардың айырмасы» (магнитті кернеу), «магнитті ағын», «магнитті кедергі» сияқты мұндай ұғымдарды қолданып сипатталады. Бұл ұғымдар сәйкесінше «электр қозғаушы күштер» (ЭҚК), «электр кернеуі», «өткізгіштік ток» және «электр тізбегінің кедергісі» ұғымдарына ұқсас.

Электр және магнитті тізбектері арасындағы ұқсастық формалды. Мысалы, өткізгіштердің электр өткізгіштігі окшаулауыштарға қарағанда шамамен 10^{10} есе жоғары, сонда магнитті жұмсақ материалдардың магнит өткізгіштігі әдетте магнитті емес материалдарға қарағанда 10^3 — 10^6 есе көп. Электр аппараттарының магнитті жүйесінің көпшілігінің магнитті тізбектері магнитті ағынды үзбейтін, ал тек оның жолындағы магнитті кедергісін ұлғайтатын магнитті емес саңылаулардан тұрады.

Тұрақты токтың электр тізбегіндегі оқшаулаушы аралық іс жүзінде токты ажыратады. Магнит өтімділігі токқа (магнитті ағынға) тәуелді, ал токтан электрлік шекті өтімділік мүлдем тәуелді емес (өтімділікті қыздыру есебінсіз). Бұл ерекшеліктер электр тізбектерін есептеуге қарағанда аса күрделі магнитті тізбектердің есептеулерін жасайды.

Тұрақты токтың магнитті тізбектерді талдау және есептеу үшін үш заңды қолданады: Кирхгофтың бірінші және екінші заңдары және магнитті тізбектерге арналған Ом заңы.

Кирхгофтың бірінші заңы: магнитті тізбек желісіндегі Φ магнитті ағындардың алгебралық сомасы нөлге тең, яғни

$$\sum \Phi = 0. \quad (1.1)$$

Түйінге кіретін ағын бір белгімен, ал түйіннен шығатын ағын – басқасымен алынады.

Кирхгофтың бірінші заңын магнитті тізбек үшін магнитті индукция желілерінің үздіксіздік шарттарынан шығады

$$\oint B dS = 0,$$

мұндағы B — магнитті индукция; S — кейбір тұйық бетінің ауданы.

Кирхгофтың екінші заңы: тұйық контурдың кез келген еркінше аралау үшін магнитті кернеудің алгебралық сомасы осы контурда әрекет ететін МҚК алгебралық сомасына тең, яғни

$$\sum U_M = \sum F, \quad (1.2)$$

мұндағы U_M — контур учаскесінің кедергісіндегі магнитті кернеу; F — осы контурда әрекет ететін МҚК.

Егер контурды айналу бағыты магнитті кернеудің нақты немесе шартты қабылданатын (ол айқын болмағанда) оң бағытымен сәйкес келсе, онда бұл кернеу «плюс» таңбасымен қойылады; егер сәйкес келмесе — «минус» таңбасымен қойылады. Магнитті кедергіде магнитті кернеудің оң бағыты осы кедергідегі ағынның оң бағытымен сәйкес келеді. Егер МҚК бағыты айналу бағытымен сәйкес келсе, онда МҚК «плюс» таңбасымен; егер сәйкес келмесе — «минус» таңбасымен қойылады.

Егер қандай да бір шаманың есептелген мәні «плюс» таңбасымен алынса, онда алдын ала қабылданған шартты оң бағыты нақтымен сәйкес келеді; егер «минус» таңбасымен алынса, онда ол нақтыға қарама-қарсы.

Магнитті тізбекке арналған Кирхгофтың екінші заңы толық ток заңынан шығады

$$\oint H dl = \sum I,$$

мұндағы H — тұйық контурдың бойында ұзындықпен магнитті өрістің кернеулігі; $\sum I$ — осы контурды тесіп өтетін токтардың алгебралық сомасы.

Тұрақты токтың магнитті тізбегінің учаскесіне арналған Ом заңы:

$$\Phi = U / R = U \Lambda \quad (1.3)$$

мұндағы R_m — тізбек учаскесінің магнитті кедергісі; Λ — осы учаскенің магниттік өткізгіштігі.

Магнитті тізбекке арналған Ом заңы (1.2) формуласын есепке ала отырып, толық ток заңынан шығады. Тізбектер әдісімен магнитті жүйені есептеу дәлдігі елеулі дәрежеде магнитті жүйені қоршаған магнитті емес кеңістік учаскелерінің магнитті өткізгіштіктерін анықтау дәлдігіне тәуелді.

Ұштарының арасында магнитті кернеу әрекет ететін ауадағы магнитті ағынның кейбір еркін түтікшелерді қарастырамыз (1.1-сурет),

$$U_m = \Phi_{m1} - \Phi_{m2},$$

мұндағы Φ_{m1} , Φ_{m2} — түтікшенің скалярлық магнитті әлеуеттері.

(1.3) формулаға сәйкес ауданы dS және ұзындығы dl осы түтіктің элементар учаскесінің магниттік өткізгіштігі

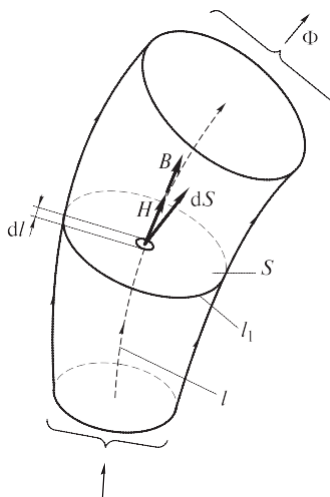
$$\Delta\Lambda = \frac{\mathbf{B} dS}{\mathbf{H} dl} \quad (1.4)$$

1.1-сурет. Магнитті ағынның еркін түтігі

Сондықтан, барлық түтіктің магниттік өткізгіштігі

$$\Lambda = \int_S \mathbf{B} dS / \int_l \mathbf{H} dl \quad (1.5)$$

мұндағы $\mathbf{B}$, $\mathbf{H}$ — магнитті өрістің кернеулік және магнитті индукциясының сәйкесінше векторлары; S — индукция бойынша Φ ағынның есептеуі жүргізілетін түтіктің ерікті қимасының ауданы; l — магнит-



1.1-сурет. Магнитті ағынның еркін түтігі

ті өрістің кернеулік айналасы есептелетін U_m тең магнитті индукция желісінің ұзындығы.

Егер ауадағы магнитті өріс векторлық магнитті әлеуетпен A анықталса, онда $\mathbf{B} = \int \mathbf{A} d\mathbf{l} = \mu \mathbf{H}$ және Стокс теоремасының өрнегін есепке ала отырып $\int_S \text{rot} \mathbf{A} dS = \int_{l_1} \mathbf{A}^0 d\mathbf{l}$

$$\Lambda = \frac{\mu \int \mathbf{A} d\mathbf{l}}{\int \text{rot} \mathbf{A} d\mathbf{l}} \quad (1.6)$$

мұндағы μ_0 — магнитті тұрақты; l_1 — қиманы шектеуші контур S .

(1.5) және (1.6) формуладан Λ анықтау үшін жалпы жағдайда сәйкес шектік тапсырмаларды шешумен байланысты векторлық сипаттамаларды білу керек. Мұндай шешім алу аналитикалық мүмкін емес, сондықтан сандық немесе басқа жуық әдістерді қолдануға тура келеді. Ауданы S және ұзындығы l магнитті өткізгіштің учаскесінде өрісті жай бөлу үшін $l B = \mu_0 H = \text{const}$. Сонда (1.6) формулаға сәйкес

$$\Lambda = \mu S / l. \quad (1.7)$$

Көлденең қиманың тұрақты ауданы S және ұзындығы l магнитті өткізгіш учаскесінің магнитті кедергісі

$$R_m = \frac{l}{\mu S} = \frac{\rho_m l}{S} \quad (1.8)$$

мұндағы μ — магнитті өткізгіш материалының салыстырмалы магнит өтімділігі; ρ_m — осы материалдың шекті магнитті кедергісі, $\rho_m = 1/\mu$.

Тізбектерді есептеу әдістерін қолдану кезінде келесі түрде түседі:

- магнит жүйесіндегі өрістің сапалы (сандық сипаттамасыз, алайда барлық кеңістігі бойынша толық) бөлінуін талдайды;

- өрістің шынайы конфигурациясын жеткілікті қарапайым түрде математикалық сипатталатын жеке учаскелерден тұратын қысқартылған конфигурацияны алмастырады; кейбір учаскелерді сақтайды; өрістің тармақты облыстары тармақсызға жиі ауыстырылады, ол үшін токтардың көлемді бөлінуі шексіз жұқа таспа немесе жіп түрінде бөлуге әкеледі;

- магнитті тізбекті құрайды;

- ауада және басқа ферромагнитті емес учаскелерде өрістің жеке учаскелерінің магнитті өткізгіштігін (немесе магнитті кедергісін) табады;

- магнит өткізгіштің магнитті кедергісінің есебімен немесе есебінсіз магнитті тізбекті есептеу жүргізеді.

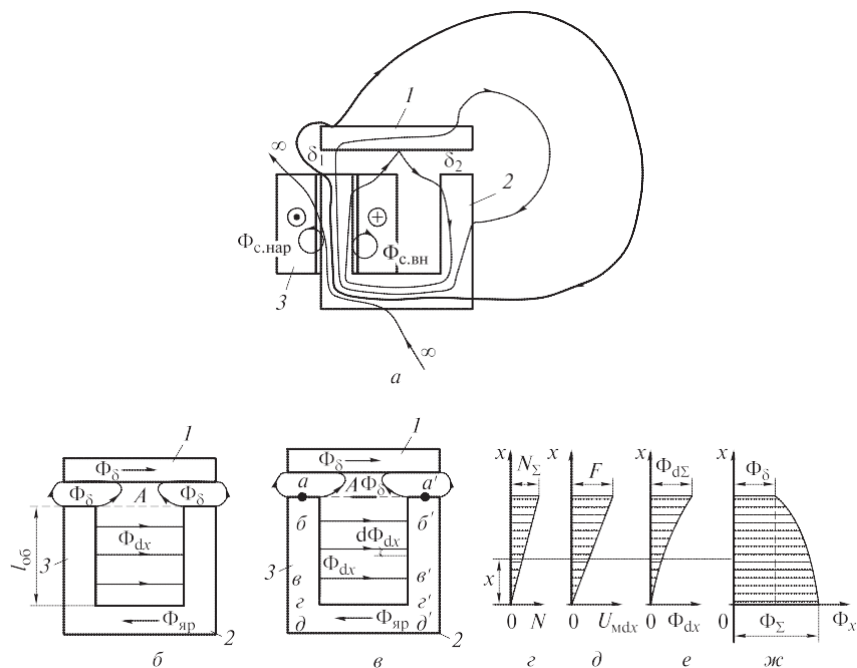
Магнитті тізбекті есептеу кезінде әдетте екі міндеттердің бірін шешеді: тікелей немесе кері. Тікелей міндеттегі белгілі магнитті жүйенің кейбір учаскесінде магнитті ағын Φ (немесе магнитті индукция B) болып табылады, ал F орамның МҚК анықтау талап етіледі. Кері тапсыр-

мада орамның МҚК берілген, ал магнитті ағынды (немесе индукцияны) анықтау талап етіледі. Тура және кері тапсырмаларда магнитті жүйенің және магнит өткізгіштің материалының барлық өлшемдері белгілі.

Басым жағдайлардың көпшілігінде тұрақты токтың магнитті өрістердің есептеу магниттелу гистерезисін есепке алмай жүргізіледі.

Мысал ретінде 1.2-суретте суреттелген тура жүрісті электр магниттің магнитті жүйесін қарастырамыз.

Оның магнит өткізгіші қозғалмалы элемент – якорьден 1 және қозғалмайтын элемент – біліктен 2 тұрады. Соңғысының екі тік бөліктері мен оларды астынан жалғайтын бір көлденең бөлігі – бұғауы болады. Якорь жұмыс саңылаулары деп аталатын екі ауа саңылауларымен біліктен ажыратылған (δ_1 және δ_2). Осы саңылаулардың өзгеруінен энергияның өзгеруі өтеді және аппараттың жұмыс істеуі қамтамасыз етіледі. Магнитті жүйедегі жұмыс саңылауларынан басқа құрылым ерекшеліктеріне және оны орындаудың технологиялық шарттарымен негізделген паразитті (магнитті емес, ауа) саңылаулары болады. Магнитті өріс



1.2-сурет. Тұрақты токтың магнитті жүйесіндегі магнитті ағындардың бөлінуі және магнитті өрісі:

a — магнитті өріс картинасы; *б* — жеңілдетілген магнитті жүйе; *в* — ағын тарату схемасы; *г-ж* — сәйкесінше орам тармақтарының санын, магнитті потенциал айырмаларын, магнитті өткізгіштегі ағындардың және шашырау ағындарының санын өзгерту эпюралары; 1 — якорь; 2 — білік; 3 — орам

біліктің сол тік бөлігін қамтитын орамда 3 өтетін токпен жасалады. Токтың бағыты орамның көлденең қимасында айқаршықпен (бізден) және нүктемен (бізге) көрсетілген.

Олармен құрылған магнитті ағындардың магнитті индукцияның тоғы және желілері оң бұрандалы жүйені түзеді. Одан әрі жұмыс саңылаулары арқылы өтетін магнитті ағынды шартты жұмыс ағыны деп, ал қалған ағындар – шашырау ағындары деп атауға болады.

1.2 а -суретте, қарастырылатын магнитті жүйенің өріс картинасы берілген. Тұтас қисықтармен бірнеше магнитті индукция сызықтары белгіленді, жартылай қалың қисықтармен өрістің тән аймақтарының біреуін екіншісінен бөлетін сепаратриса – магнитті индукциясының ерекше сызықтары белгіленген. Магнитті индукция сызықтарының бірі шексіздіктегі магнитті жүйеден кетеді (сәйкес таңбамен белгіленген) және магнитті жүйеге кері оралады.

Қарастырылатын магнитті жүйедегі және оның магнитті өрісіндегі бірқатар қысқартуларды енгіземіз (1.2-сурет, б). Орамды 3 l_c ұзындықпен біліктің сол тік бөлігінде тікелей орналасқан /об ұзындықпен шексіз жұқа таспа түрінде береміз және $l_{об} = l_c$ деп аламыз. Мұндай жеңілдету кезінде шашырау ағындары жоғалады, себебі олардың орталықтары орам затының ішінде табылуы тиіс. $\Phi_{с.вн}$ шашыраудың оның маңызды ұқсас «ішкі» ағынын санап, $\Phi_{с.нар}$ біліктің шашырауының «сыртқы» ағынын да ескермейміз (1.2-суретті, а қараңыз). Соңғы өрісті көлденең штрихты сызықтың А үстінен тегіс параллель және шектеулі аламыз (1.2, б-суретті қараңыз). Жұмыс ағыны саңылау δ_1 арқылы якорьдегі біліктен өтеді және біліктің бүйір шектерінде ғана саңылау δ_2 біліктен якорьден өтеді, сонымен бірге қос саңылаудағы осы ағынның өту салалары бірдей. Осы облыстардың магнитті өткізгіштерін есептеуді жеңілдету үшін оларды шеңбер доғасының схема жазықтығында шектейміз.

Жармадан x қашықтықта қашық шашырау ағынының элементар түтігін ерекшелейміз (1.2-сурет, в). Жалпы жағдайда осы түтік бойынша өтетін ағын,

$$d\Phi_x = U_{mdx} \lambda_{dx} dx, \quad (1.9)$$

мұндағы λ_{dx} — жармадан x қашықтықта шашыраудың шекті (l_c ұзындығының бірлігіне) және элементар түтіктегі (біліктің тік бөліктері арасында) сәйкесінше магнитті кернеу; dx — түтік ені.

Өрістің қабылданған жеңілдетілген картинасы үшін біліктің тік бөліктерінің конфигурациясының теңдігі кезінде (1.2, б-суретті қараңыз)

$$U_{mdx} = \int_0^x f dx - \Phi_{яр} R_{м.яр} - 2 \int_0^x \Phi r dx, \quad (1.10)$$

мұндағы f_x — орамның шекті МҚК (ұзындық бірлігіне); Φ — жармадағы магнитті ағын; $R_{м.яp}$ — жармадағы магнитті кедергі; Φ_x, r_{mx} — сәйкесінше біліктің тік бөліктеріндегі магнитті ағын және жармадан x қашықтықта осы бөліктердің шекті кедергісі. Шекті магнитті кедергі

$$r_{mx} = \frac{1}{\mu} = \frac{\rho_{mx}}{\sum_x} \quad (1.11)$$

мұндағы $\rho_x, \rho_{mx}, S_{lx}$ — сәйкесінше магнит өтімділігі, материалдың шекті магнитті кедергісі және жармадан x қашықтықта біліктің тік бөліктерінің көлденең қимасының ауданы.

(1.2) және (1.10) формуласын және толық ток заңын ескере отырып

$$\int_0^x \Phi r_{mx} dx = \int_0^x H dx \quad (1.12)$$

мұндағы H_x — жармадан x қашықтықта біліктің тік бөліктеріндегі өрістің кернеулігі.

(1.9) және (1.10) біліктің тік сол бөлігінен x қашықтықта оның оң бөлігіне кететін шашыраудың магнитті ағыны шығады

$$\begin{aligned} \Phi_{dx} &= \int_0^x U_{mdx} \lambda_{dx} dx = \iint_{0 \leq x \leq dx} f \lambda_{dx} dx - \\ &- \Phi_{яp} R_{м.яp} \int_0^x l_{dx} dx - 2 \iint_{0 \leq x \leq dx} \Phi r_{mx} \lambda_{dx} dx. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Егер магнитті өткізгіштің магнитті кедергісімен ескерілмесе

($\mu_x = \infty, \rho_{mx} = 0, R_{м.яp} = 0$),

$$U_{mdx} = \int_0^x f dx. \quad (1.14)$$

Оның ұзындығы бойынша орам тармақтарының біркелкі бөлінуі кезінде (1.2-сурет, z) $f_x = f = \text{const.}$ (1.14)-формуладан (1.2-сурет, ∂) шығады

$$U_{mdx} = fx. \quad (1.15)$$

Өрістің қысқартылған картинасында (1.2, δ -суретті қараңыз) біз шашыраудың магнитті ағын бөлінісінің біркелкілігіне жол береміз. Магнитті өткізгіштің магнитті кедергісін ескермеу кезінде бұл $\lambda_{dx} = \lambda_d = \text{const}$ екенін білдіреді.

Сонда (1.15) есепке ала отырып (1.9) формуладан шығады:

$$d_{dx} = f \lambda_d x dx. \quad (1.16)$$

(1.13) формуладан $l_{об} = l_d$ есепке ала отырып біріктіруден кейін аламыз

$$\Phi_{dx} = F \lambda_d x/2 = F \lambda_d x^2 / (2l_d). \quad (1.17)$$

$x = l_d$ болғанда жиынтық магнитті ағын

$$\Phi_{d\Sigma} = F \lambda_d l_d / 2. \quad (1.18)$$

x қашықтықта біліктің тік бөліктеріндегі магнитті ағын

$$\Phi_x = \Phi_\delta + (\Phi_{d\Sigma} - \Phi_{dx}) = F\Lambda_{\delta\text{ЭК}} + F\lambda_d \frac{l_d^2 - x^2}{ld}, \quad (1.19)$$

мұндағы $\Lambda_{\delta\text{ЭК}}$ — екі жүйелі жұмыс саңылауларының (δ_1 және δ_2) эквивалентті магниттік өткізгіштігі.

Жұмыс саңылауларындағы өріс облыстарының ұқсастығы туралы қабылданған жорамалдарды есепке қабылдап

$$\Lambda_{\delta\text{ЭК}} = \frac{1}{R_{\text{м.ЭК}}} = \frac{\Lambda_{\delta 1} \Lambda_{\delta 2}}{\Lambda_{\delta 1} - \Lambda_{\delta 2}} = \frac{\Lambda_{\delta}}{2},$$

мұндағы $R_{\text{м.ЭК}}$ — $\Lambda_{\delta\text{ЭК}}$ өткізгіштікке сәйкес магнитті кедергі.

x осінің бойында F_x ағынын бөлу кестесі 1.2, *ж*-суретте берілген. $x = l_d$ болғанда Φ_x ағыны Φ_δ ағынына тең, ал $x = 0$ болғанда — $\Phi_{\text{яр}}$ жармадағы ағынға тең. Қабылданған жорамалдар кезінде (атап айтқанда, $\psi = \wedge$) магнитті жүйенің жиынтық ағыны

$$\Phi_\Sigma = \Phi_{\text{яр}} = F(\Lambda_{\delta\text{ЭК}} + K_\Phi \Lambda_{d\Sigma}), \quad (1.20)$$

мұндағы K_Φ — орамның F МҚК қарастырылатын магнитті жүйесінің шашырауын магниттік өткізгіштік ағыны бойынша келтіру коэффициенті, $F, K_\Phi = 1/2$; $\Lambda_{d\Sigma}$ — тек оның геометриясымен анықталатын қарастырылатын магнитті жүйенің шашырауының жазық параллель өрістің жиынтық магниттік өткізгіштігі, $\Lambda_{d\Sigma} = \lambda_d l_d$.

Жақшада жасалған (1.20) өрнегінің бөлігі F орамның МҚК-на Φ_Σ магнитті ағын бойынша келтірілген қарастырылатын магнитті жүйенің жиынтық магнитті өткізгіштігін көрсетеді:

$$\Lambda_{\Sigma\Phi} = R_{\text{м.}\Sigma\Phi} = \Phi_\Sigma / F = \Lambda_{\delta\text{ЭК}} + K_\Phi \Lambda_{d\Sigma} \quad (1.21)$$

мұндағы $R_{\text{м.}\Sigma\Phi}$ — жиынтық магнитті өткізгішке $\Lambda_{\Sigma\Phi}$ сәйкес келетін магнитті кедергі.

$\Phi_\Sigma / \Phi_\delta = \sigma_{\Sigma\Phi}$ қатынасы ағын бойынша жиынтық коэффициент деп аталады. Қарастырылатын магнитті жүйенің жиынтық тасқын ілінісі

$$\Psi = \Psi_\delta + \int_0^{l_d} d\Psi_{dx}. \quad (1.22)$$

Өрістің қарастырылатын қысқартылған моделіндегі жұмыс ағынының Φ_δ магнитті индукциясының желілері (1.2, *б*-суретті қараңыз) орамның барлық тармақтарын қамтығандықтан ($N_\Sigma \Psi_\Sigma = N_\Sigma \Phi_\delta$), шашыраудың тасқын ілінісіне арналған дифференциалды өрнегі

$$d_{dx} = N_x d\Phi_{dx}, \quad (1.23)$$

мұндағы N_x — ағынмен $d\Phi_{dx}$ қамтылатын орам тармақтарының саны.

Тармақтарды біркелкі орау кезінде және $l_{\text{об}} = l_d$ болғанда $N\Psi = N\Phi_\delta$ аламыз. Сонда интеграциялаудан кейін (1.16) ескере отырып (1.22) формуласы негізінде аламыз

$$\Psi_\Sigma = N_x F (\Lambda_{\delta\text{ЭК}} + K_\Psi \Lambda_{d\Sigma}), \quad (1.24)$$

мұндағы K_Ψ — МКК F және орам тармақтарының жиынтық санына N_Σ қарастырылатын магнитті жүйенің магнитті өткізгіштігінің тасқын ілінісі бойынша келтіру коэффициенті, $K_\Psi = 1/3$.

Жақшада жасалған (1.24) өрнегінің бөлігі орамның F және Ψ_Σ – N_Σ тасқын ілінісі бойынша келтірілген келесі қарастырылатын магнитті жүйенің жиынтық магнитті өткізгіштігін көрсетеді:

$$\Lambda_{\Sigma\Psi} = \frac{\Psi_\Sigma}{N_\Sigma F} = \Lambda_{\delta\text{эк}} + K_\Psi \Lambda_{\Psi\Sigma}, \quad (1.25)$$

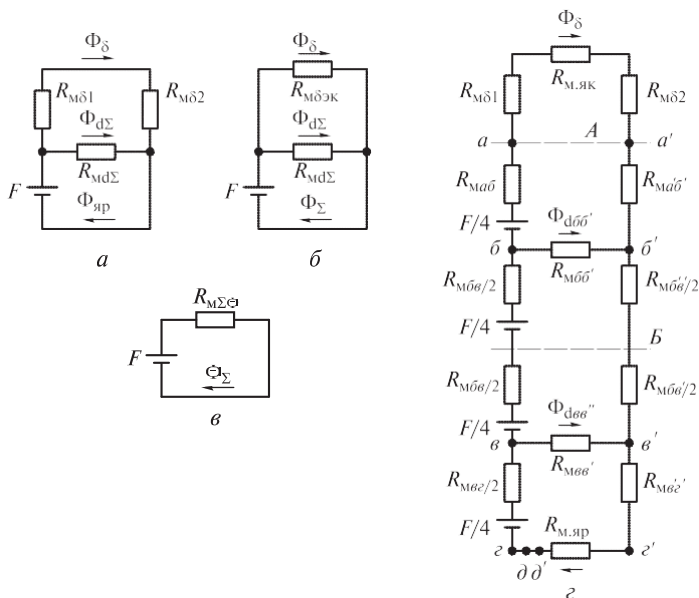
(1.21) және (1.25) формуланы салыстырудан $K_\Phi = 1/2$, ал $K_\Psi = 1/3$ есепке ала отырып шығады:

$$\Lambda_{\Sigma\Psi} < \Lambda_{\Sigma\Psi}.$$

$\Psi_\Sigma / \Psi_\delta = \sigma_{\Sigma\Psi}$ қатынасы тасқын ілінісі бойынша шашыраудың жиынтық коэффициенті деп аталады.

Алдыңғы қабылданған барлық жорамалдар кезінде қарастырылатын магнитті жүйенің L индуктивтілігі және магнитті энергиясы W_M келесі формула бойынша анықталады:

$$L = \Psi_\Sigma / I = N_\Sigma^2 (\Lambda_{\delta\text{эк}} + K_\Psi \Lambda_{\delta\Sigma F}); \quad (1.26)$$



1.3-сурет. Жүйенің магнитті тізбегінің эквивалентті схемалары
 $a - в$ — магнитті өткізгіштің магнитті кедергісін есепке алмай; $з$ — магнитті өткізгіштің магнитті кедергісін есепке алып (1.2, в - суретте келтірілген белгілеулер қолданылған)

$$W_m = \frac{\Psi I}{2} = \frac{L I^2}{2} = \frac{F_{\delta_{\text{ж}}}^2}{2} + \frac{K \Psi}{2} \frac{\Lambda}{d \Sigma r} \quad (1.27)$$

Бұл өрнектер осы жүйемен құрылатын электр магнитті күштерді есептеу үшін қолданылады.

Сонымен қатар, (1.26) өрнегі мұндай жүйе қолданылатын электр механикалық аппараттардың уақытша параметрлері мен осы магнитті жүйенің тұрақты уақытын анықтау үшін қажет.

1.3 - суретте, а магнит өткізгіштің магнитті кедергісін есепке алмай өрістің бірыңғайланған картинасы бойынша жасалған, қарастырылған магнитті тізбегінің схемасы келтірілген (1.2, в - суретті қараңыз). 1.3, б - суретте МҚК көзімен және оның қысқышындағы жиынтық магнитті кедергімен ЛмХФ қарапайым тізбекке ауысудың осы бастапқы схемасын түрлендірудің аралық кезеңі көрсетілген (1.3 - сурет, в). Магнит өткізгішінің магнитті кедергісін есепке ала отырып, магнитті жүйені талдау кезінде (1.10), (1.13) аналитикалық теңдеулерін және магнитті кернеулер мен ағындардың магнитті жүйесіндегі таралуды анықтайтын, оларға ұқсастарын шешу тіпті $f_x = \text{const}$ және $\lambda_{dx} = \text{const}$ болғанда да қол жеткізу мүмкін емес.

Бұл магнитті жүйедегі ағындардың таралуымен магнит өткізгішінің берілген материалында анықталатын магнитті өткізгіштіктің μx орналасу күрделілігімен байланысты, себебі μx магнитті индукцияға тәуелді.

Магнит өткізгішінің магнитті кедергісін ескеретін жүйенің магнитті тізбесінің эквивалентті схемасы 1.3, з - суретте келтірілген.

1.2. Айнымалы тоқтың магнитті тізбектері

Айнымалы кернеу көзіне қосылған магнитті жүйенің орамдағы токтың мәні орам сымының белсенді кедергісіне, осы кернеудің қатынасына тең емес, бұл статикалық немесе квазистатикалық жұмыс режиміндегі тұрақты токтың магнитті жүйесінде орын алады (якорьдің шексіз баяу жылжуы кезінде).

Айнымалы ток кезінде кернеу u , ток i , белсенді кедергі R және тасқын ілінісі Ψ келесі өрнекпен анықталады

$$u = iR + d\Psi_{\Sigma}/dt, \quad (1.28)$$

мұндағы iR — белсенді жасаушы кернеулер, $iR = u_R$; $d\Psi_{\Sigma}/dt$ — модуль бойынша және ЭҚК фазасы бойынша кері орам e бойынша кернеудің реактивті жасаушысы, $d\Psi_{\Sigma} = u_L = -e$.

Егер u_R мәнін ескермей, $\Psi_{\Sigma} = \Psi_m \sin(\omega t)$ санасақ және тасқын ілінісінің ең жоғары мәнінен оның әрекет ететін мәніне өтсек, онда

$$u = \omega \Psi_{\Sigma m} \cos(\omega t) = \sqrt{2} \omega \Psi_{\Sigma} \cos(\omega t) = U_m \cos(\omega t) = \sqrt{2} U \cos(\omega t) \quad V2U \cos(\omega t).$$

Сондықтан,

$$\Psi_{\Sigma m} = \sqrt{2} \Psi_{\Sigma} = U_m / \omega = U / (4,44 f). \quad (1.29)$$

Осылайша, егер кернеу берілсе, онда $U_R = 0$ жорамалы болғанда жұмыс саңылауына δ тәуелді емес тасқын ілінісі де беріледі. Орам бойынша өтетін токтың осы тасқын ілінісін қамтамасыз ететіндей мәні болуы тиіс.

Егер магнит өткізгіштің магнитті кедергісін ескермесе, онда келесідей жазуға болады:

$$I = \frac{u}{\omega N_{\Sigma}^2 \Lambda_{\Sigma \Psi}} \quad (1.30)$$

Осылайша, орамдағы ток жұмыс саңылауын δ ұлғайтумен өсетін болады, себебі бұл ретте $\Lambda_{\Sigma \Psi}$ мәні азаяды.

Әрине, бұл жерден жұмыс ағынының δ ұлғаюымен өзгеріссіз қалады деген тұжырым жасаудың қажеті жоқ. Жиынтық тасқын ілінісі Ψ_{Σ} жұмыс тасқын ілінісінен Ψ_{δ} және шашыраудың тасқын ілінісінен Ψ_d құралады. δ ұлғаюымен шашыраудың тасқын ілінісі артады, ал жұмыс тасқын ілінісі азаяды.

Сонымен қатар, егер белсенді кедергідегі R кернеудің төмендеуін ескерсек, онда келесідей жазуға болады

$$\Psi_{\Sigma} = \frac{\sqrt{u^2 - (IR)^2}}{\omega} \quad (1.31)$$

Саңылаудың δ ұлғаюымен ток артатындықтан, онда жиынтық тасқын Ψ_{Σ} ілінісі азаяды, алайда бұл азаю жұмыс тасқын ілінісінің азаюы сияқты (сонымен бірге жұмыс ағыны) тұрақты токтың осындай магнитті жүйесіне қарағанда едәуір аз. Айнымалы токтың магнитті жүйесінің тартымдық сипаттамаларының көрсетілген себебі бойынша тұрақты токтың магнитті жүйесіне қарағанда жазықтау (мысалы, жұмыс саңылауынан электр магнитті күштердің тәуелділіктері).

Ауа аралықтарының белсенді магнитті кедергісінен басқа айнымалы токтың магнитті жүйесін және магнитті өткізгіштігін есептеу кезінде гистерезистен және тарамды токтардан магнит өткізгіштегі шығындар, сондай-ақ магнитті жүйенің бастапқы орамның ағынымен өтетін қайталама электр өткізуші контурлардың (қосымша тұйық орамдардың, қысқа тұйықталған тармақтардың, басқа электр өткізуші заттардың) әрекетін ескеру қажет шығындар магнитті ағындар мен МҚК алуан түрлі фазаларын негіздейді. Электр тізбектерімен ұқсастық бойынша осы ерекшелікті ескеру үшін магнитті кедергінің кешенді мәндері қолданылады. Магнитті тасқынның, тасқын ілінісінің, МҚК мен магнитті кернеудің мәндері кешенді түрде беріледі, мысалы:

$$\Phi = \frac{U_m}{\underline{Z}_{\Sigma}} \quad (1.32)$$

Кешенді магнитті кедергі

$$\underline{Z}_M = R_M + jX_M, \quad (1.33)$$

мұндағы R_M, X_M — сәйкесінше белсенді және реактивті құрамдастар. Егер $\Phi = \Phi_m \sin(\omega t)$, онда $u = U_m \sin(\omega t + \gamma)$, мұндағы бұрыш шығын бұрышы деп аталады.

$$\gamma = \arctg(X_M / R_M) \quad (1.34)$$

(1.32) формулаға сәйкес магнитті өткізгіш учаскесінің кешенді магнитті кедергісі

$$\underline{Z}_{M.M} = \frac{U}{\Phi_m} = \frac{H l}{B_m S} \quad (1.35)$$

$$\rho_{mZ} = \frac{H}{B_m} = \frac{H}{B} \text{ белгілейміз.}$$

ρ_{mZ} шамасы магнит өткізгіш материалының кешенді шекті магнитті кедергісінен тұрады. Оған кері $\mu_a = 1 / \rho_{mZ} = B / H$ шамасы — магнит өткізгіш материалының кешенді абсолютті магнит өтімділігі.

ρ_{mZ} на белсенді ρ_{mR} және реактивті ρ_{mX} құрамдастарға ажыратамыз:

$$\rho_{mZ} = \rho_{mR} + j\rho_{mX}. \quad (1.36)$$

Сонда

$$\underline{Z}_{M.M} = \rho_{mZ} l / S = (\rho_{mR} + j\rho_{mX}) l / S. \quad (1.37)$$

Кешенді магнитті кернеудің белсенді құрамдасы $U_{M.MR} = \Phi_{M.M} R_{M.M}$, ал реактивті $U_{M.MX} = \Phi_{M.M} X_{M.M}$.

ρ_{mX} есептеу үшін тармақты токтар мен қайта магниттеу шығындарын білу қажет. Осы шығындардың мәндері материалға техникалық шарттарда, нормативтік құжаттарда келтіріледі және есептеу жолымен табылады.

ρ_{mZ} мәндері сәйкес жиіліктің айнымалы тоғында алынған қисық магниттеу бойынша анықталады. Одан кейін $\rho_{mR} = \sqrt{\rho_{mZ}^2 - \rho_{mX}^2}$ есептеледі

ρ_{mR} және ρ_{mX} материалдары үшін магнитті индукциядан қисық тәуелділіктері бойынша табуға болады [1]. Бұл ретте техникалық әде-

биеттерде кешендік шекті магнит деп көбіне $\rho_{mZ} = \frac{H_m}{B_m} = \frac{H}{B}$ қабылдан- қабылданатынын, магнитті индукцияның амплитудасына магнитті өрістің кернеулігінің әрекеттегі мәндерінің қатынасын, яғни H/B_m қабылдау керек.

Айнымалы токтың магнитті жүйесінің магнит өткізгіші негізінен қайта магниттеуге (аз коэрцитивті күштер) және тармақты токтарға

(жоғары шекті электр кедергісі) кететін аз шығындарға ие болатын кремнийлі электр техникалық болаттан орындалады. Магнит өткізгіштің тармақты токтарына шығынды азайту мақсатында қалыңдығы 0,1-ден 1,0 мм дейін бір-бірінен электрлік оқшауланған жиын түрінде шихталған пластина дайындалады. Айнымалы токтың магнитті жүйесіндегі шығынды азайту үшін басқа да материалдар, мысалы, магнитті жұмсақ ферриттер, аморфты қортипалар қолданылады.

Оған біркелкі оралған орауммен тороидальды магнит өткізгіштен тұратын қарапайым магнит жүйесін қарастырамыз (1.4-сурет, а).

Толық векторлық диаграмма және магнитті тізбектің орналасу схемасы 1.4-сурет, б, в берілген.

Орамның белсенді кедергісі R болады және кернеу мен айнымалы ток көзіне қосылған.

Кернеу векторы U екі жасаушыға ажыратылуы мүмкін: I тоғымен фаза бойынша сәйкес келетін белсенді U_R , және 90° токтан озатын реактивті U_X . Бұл ретте $U_R = IR$, $U_X = jIX$. Шығын кедергісінің мәні R_{Π} магнит өткізгішіндегі шығын қуатымен P_{Π} анықталады: $R_{\Pi} = P_{\Pi} / I^2$. Орамның эквивалентті реактивті кедергісі $X_{\text{ЭК}} = \frac{1}{\omega} \omega$, мұндағы $L_{\text{ЭК}}$ — оның эквивалентті индуктивтілігі.

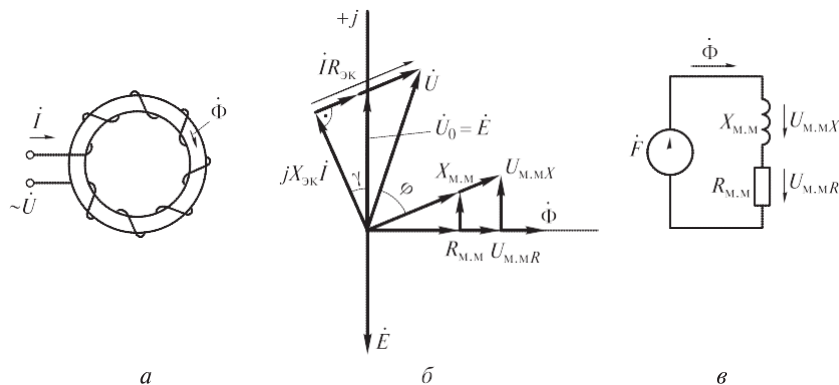
Магнит өткізгішіндегі және экрандағы шығын есебінсіз орауыштың индуктивтілік мәні келесі формула бойынша анықталады

$$L_o = w^2 R_M \quad (1.38)$$

мұндағы w — тармақтар саны.

Аталмыш жағдайда $L_o = w^2 R_{M,M}$. Орналасу схемасы бойынша $\gamma = \arctg(X_{M,M} / R_{M,M})$. Сонда

$$L_{\text{ЭК}} = L_o \cos^2 \gamma. \quad (1.39)$$



1.4-сурет. Біркелкі оралған ораммен (а) тороидальды магнит өткізгіші түрінде айнымалы токтың магнитті жүйесі, оның толық векторлық диаграммасы (б) және магнитті тізбек схемасы (в)

Шығын кедергісі

$$R_{\Pi} = \omega L_o \sin \gamma \cos \gamma. \quad (1.40)$$

Орамның эквивалентті кешендік кедергісі

$$Z = R_{\text{эк}} + jX_{\text{эк}}. \quad (1.41)$$

Орамның эквивалентті белсенді кедергісі

$$R_{\text{эк}} = R + R_{\Pi} \quad (1.42)$$

Кешенді жеткізу кернеуі

$$U = U_{R_{\text{эк}}} + U_x. \quad (1.43)$$

Жеткізу кернеуінің әрекеттегі мәні

$$U = \sqrt{U_{R_{\text{эк}}}^2 + U_x^2}, \quad (1.44)$$

мұндағы $U_{R_{\text{эк}}} = IR_{\text{эк}}$

Магнитті жүйедегі жиынтық белсенді шығындар

$$P = IU \cos \varphi = IU_{\text{эк}} = I^2 R_{\text{эк}}. \quad (1.45)$$

Ток пен кернеу арасындағы фазаның жылжу бұрышы

$$\varphi = \arctg(X_{\text{эк}} R_{\text{эк}}). \quad (1.46)$$

Пашырау ағындарын ескере отырып, айнымалы токтың магнитті жүйесін, сондай-ақ айнымалы токтың тармақталған магнитті жүйесін талдау аса күрделі және осы кітапта қарастырылмаған. Мысалы, [1] жүгінуге болады].

1.3. Тұрақты токпен магнитті жүйелер

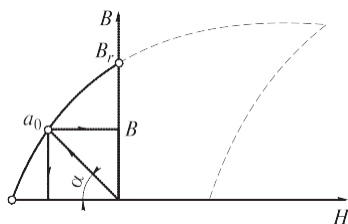
Электр аппараттарының магнитті тізбектерінде тұрақты магниттер кеңінен қолдау табады. Оларды арнайы қорытпадан немесе магнитті өріс көзі болатын қорланған магнитті энергияның есебінен болашақта магниттелуге қабілетті алуан түрлі материалдардың бөлшектерін біріктіру жолымен дайындалады. Көрсетілген қасиеттерге ие материалдар магниттік қатты деп аталады.

Тұрақты магнит материалының маңызды сипаттамасы B және H осьтерінің екінші квадранттарында орналасқан осы материалдың $B = f(H)$ гистерезисінің шекті ілмегінің бөлігін көрсететін қисық магнитсіздендіру болып табылады (1.5-сурет).

Қисық магниттеудің басқа алуан түрлілігі де болады: $B_m = f(H)$, мұндағы B_m — M материалдың магниттелу индукциясы, $B_m = \mu_0 M$

Егер сипаттамаларының бірі (B немесе B_m) белгілі болса, онда басқасын төмендегі өрнек негізінде құруға болады

$$B = \mu_0 (H + M) = \mu_0 H + B_m. \quad (1.47)$$



1.5-сурет. Қысық магнитсіздендіру

Қысық магниттеудің маңызды параметрлері калдық магнитті индукция B_r және коэрцитивті күш H_c болып табылады.

Тұрақты магнитті қолдану үшін оның ауа саңылауы бар магнит жүйесінде болуы қажет. Осы саңылаудаға ағынның өтуіне шығындалатын тұрақты магниттің құраушы МҚК еркін МҚК деп аталады (магнитті жүйе тұйықталған, тұрақты магниттегі барлық МҚК B_r тен) тұрақты магниттің барлық МҚК тұрақты магнит бойынша ағынды өткізуге шығындалады (магнит өткізгіштегі магнитті кернеудің қысымын елемейміз):

$$F = H_c I_{\text{п.м}}, \quad (1.48)$$

мұндағы $I_{\text{п.м}}$ — тұрақты магнит ұзындығы.

Магнитті жүйеде ауа саңылауының болуы кезінде

$$F = F_{\text{п.м}} + F_{\delta}$$

мұндағы $F_{\text{п.м}}$, F_{δ} — тұрақты магниттегі және саңылаудағы ағынды өткізуге сәйкесінше шығындалатын магниттің F жиынтық МҚК үлесі.

Саңылауды енгізу тұрақты магнитке өрістің H магниттелетін кернеулігі түрінде көретін магниттеуші әрекет көрсетеді. Бұл ретте тұрақты магниттегі индукция B_r -дан B ($B = f(H)$) қысық магниттеудегі a_0 нүктесі - 1.5 - суретті қараңыз) дейін азаяды.

Егер шашырауды ескермесек, онда ауа саңылауындағы δ ағын Φ_{δ} тұрақты магниттегі ағынға $\Phi_{\text{п.м}}$ тең:

$$\Phi_{\delta} = F_{\delta} \Lambda_{\delta} = H_{\text{п.м}} \Lambda_{\delta} = \text{п.м} = BS_{\text{п.м}} \quad (1.49)$$

мұндағы Λ_{δ} — саңылаудың магниттік өткізгіштігі; $S_{\text{п.м}}$ — тұрақты магниттің көлденең қимасының ауданы.

1.5-суреттен (1.48) формуланы ескере отырып шығады

$$\frac{B}{H} = \frac{\lambda \delta I_{\text{п.м}}}{S_{\text{п.м}} K} = \text{tg} \alpha \quad (1.50)$$

мұндағы K_m — m_B / m_H масштабтарының қатынасымен анықталатын коэффициент.

Осылайша, тұрақты магниттің қысық магниттелуін, оның өлшемін $I_{\text{п.м}}$, $S_{\text{п.м}}$ алып және Λ_{δ} біліп, (1.50) өрнекті пайдаланып, саңылаудағы ағынды есептеу керек. Бұл үшін бұрышпен координата басынан түзуді

диаграммада өткізу қажет (1.5-суретті қараңыз)

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\Lambda I}{S_{\text{п.м}} K_M^*}\right) \quad (1.51)$$

Бұл түзу өткізгіштік сызығы деп аталады.

Қисық магниттелумен өткізгіштік сызығын қиып өту нүктесі $B = f(H)$ тұрақты магниттегі B және H мәндерін анықтайды.

(1.49) формуланың көмегімен табылған индукция B бойынша тұрақты магниттегі және саңылаудағы (шашырауды ескере отырып) ағындар табылады. (1.51) формулада шашырауды есепке алу кезінде Λ_0 өткізгіштікті емес, тұрақты магнитпен барлық магнит жүйесінің жиынтық өткізгіштігін қою қажет. Сонда B индукцияның алынатын мәні тұрақты магниттің бейтарап қимасындағы индукцияға сәйкес келеді (полюстер арасында ортасынан). Бұл қимада $\Phi_{\text{п.м}} = BS_{\text{п.м}}$, ал ауа саңылауындағы ағын

$$\Phi_{\delta} = \frac{\Phi_{\text{п.м}}}{\sigma_{\Sigma\Psi}} = \frac{BS_{\text{п.м}}}{\sigma_{\Sigma\Psi}}, \quad (1.52)$$

мұндағы $\sigma_{\Sigma\Psi}$ — ағын бойынша магнитті жүйенің шашырауының жиынтық коэффициенті.

Тұрақты магнитпен магнитті жүйені жобалау кезінде олармен берілетін еркін (сыртқы) магнитті энергияның ең жоғары мәнін алуға әкелетін тұрақты магнит материалын барынша пайдалануға ұмтылады.

Ауа саңылауында шоғырланған магнитті энергия

$$W_M = \frac{\Phi F}{2} = \frac{\delta \cdot \delta}{2}. \quad (1.53)$$

$\Phi_{\delta} = \Phi_{\text{п.м}} = BS_{\text{п.м}}$ (шашырау есебінсіз) деп қабылдап, коллинеарлыққа және магниттің барлық көлемі $V_{\text{п.м}}$ бойынша B және H шамаларының тұрақтылығына жол беріп және $F_{\delta} = H_{\text{п.м}}$ деп ескере отырып аламыз

$$W_M = \frac{BHI}{2} = \frac{S_{\text{п.м}} BHV}{2} = \frac{BH^2 V_{\text{п.м}}}{2} \quad (1.54)$$

Тұрақты магнит материалы оның көлемінің бірлігіне жатқызылған магнитті энергиямен, яғни шекті энергия мәнімен сипатталады

$$w_M = BH/2. \quad (1.55)$$

Қисық магниттелуді $B = f(H)$ қолданып, қисық шекті энергияны құруға болады (1.6-сурет). Бұл қисықтың максимумы $w_{\text{max}} = f(H)$ болады.

$H_c = \infty$ болғанда, екінші квадрант шегінде қисық $B = f(H)$ B_r және H_c нүктелері арқылы өтетін түзу болып табылады. Сондықтан, w_M шекті мәні келесі формула бойынша анықталады

$$w_m = \frac{\left(\frac{B_r}{2}\right) \left(\frac{H_c}{2}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{B_r}{2}\right) \left(\frac{B_r}{2\mu_0}\right)}{2} = \frac{B^2}{8\mu_0} \quad (1.56)$$

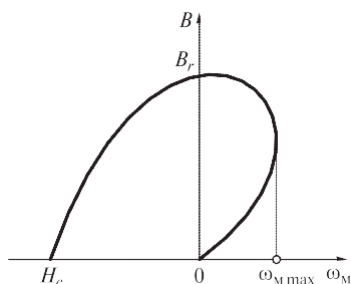
Магнитті жүйенің жұмыс процесінде жұмыс саңылауы өзгереді, бұл жүйенің магнитті өткізгіштігінің өзгеруіне әкеледі. Алдын ала магниттелген арнайы қондырғыдағы тұрақты магнит одан жойылғаннан кейін бұрышқа α_0 , индукция B_0 мен кернеулікке H_0 сәйкес келетін қисық магниттеуде $B = f(H)$ (1.7 - сурет) жұмыс нүктесі α_0 болсын делік. Магнит жүйесінің магнит өткізгішімен тұрақты магнитті қосу кезінде жүйенің магниттік өткізгіштігі ұлғаяды, тұрақты магниттегі үлкен индукциясы мен жаңа бұрышы α_1 сәйкес келеді. Алайда тұрақты магниттегі индукцияның ұлғаюы қисық магниттеу бойынша емес, қисық қайтару деп аталатын кейбір басқа қисық a_0bc бойынша өтеді. Егер магнит өткізгішті жоятын болсақ, онда индукция шамамен қисық cda_0 бойынша өзгереді. Қисық a_0bc және cda_0 магниттеу және магнитсіздендірудің жеке циклдерінің қисығы болып табылады. Жеке цикл ілмегінің ені әдетте үлкен емес, сондықтан ілмекті тура қайтару деп аталатын түзумен a_0c алмастырады. Келесі қатынас

$$\rho_h = \Delta B / \Delta H = K_m \operatorname{tg} \gamma \quad (1.57)$$

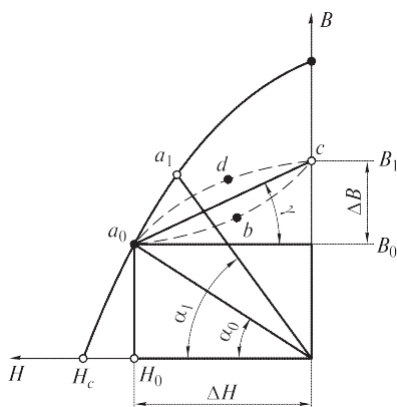
Қайтару коэффициенті деп аталады.

Қайтару коэффициенттерінің шекті мәні

$$\rho_{\text{пред}} = K_m \mu_0 \quad (1.58)$$



1.6 -сурет. Қисық магниттеу және тұрақты магнитті шекті энергиясы (сәйкесінше ордината осінен солға және оңға)



1.7 -сурет. Тұрақты магнит материалын қайтару сызықтары

Тұрақты магниттер магнитті өріс көздерінің поляризациялаушы және басқарушы екі түрі болатындығымен поляризацияланбайтыннан ерекшеленетін поляризациялаушы магнитті жүйелерде кең қолданылады.

Көптеген жағдайларда поляризациялаушы өріс көзі тұрақты магниттер болып табылады. Басқарушы өріс басқарушы орамның МКК құрылады. Поляризацияланған магнитті жүйенің негізгі ерекше ерекшелігі тек мәнінен емес, сонымен бірге басқару орамдағы ток бағыттарынан оның әрекеттерінің тәуелділігі болып табылады. Магнитті жүйенің (якорьдің) қозғалмалы бөлігінде осы орамда токтың болмауы кезінде поляризациялаушы өріспен құрылатын электр магнитті күштер әрекет етеді.

Тұрақты магнитті қолдану ток көзінің болуына немесе болмауына қарамастан якорьдің белгіленген жағдайын алуға мүмкіндік береді және жұмыс істемейтін кезеңде энергияны тұтынуды жояды. Поляризациялаушы өрістің болуы поляризацияланған магнитті жүйенің негізінде электр аппараттарының жоғары сезімталдығын және тез әрекетін анықтайды. Бұл осы аппараттардың іске қосылуы кезінде магнитті өріс қайтадан толығымен құрылмайтынымен, ал тек магнитті ағындардың қайта таралуы өтетінімен байланысты.

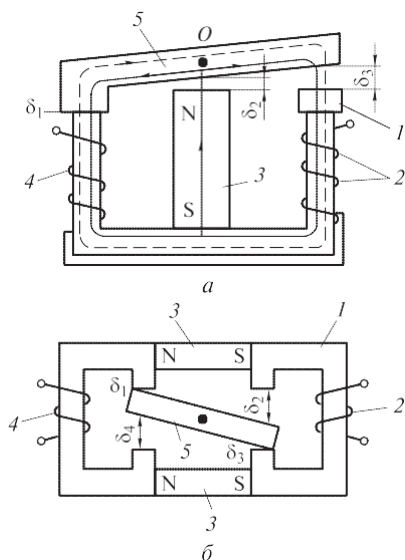
Поляризацияланған магнитті жүйелер тез әрекет ететін сезімталдығы жоғары реленің, пропорционалды бұрыштық немесе сызықтық ауысудағы электр сигналының электр магнитті түрлендіргіштерінің, тез әрекет ететін автоматты сөндіргіштердің, блоктаушы құрылғылардың және т.б. негізі болып табылады.

Полярланған магнитті жүйенің үлкен алуан түрлілігі болады. Олар жүйелі, дифференциалды және көпірлі магнитті тізбектері бар жүйелерге бөлінеді. Осы топтардың әрқайсысының көптеген өзге түрлері болады. Қазіргі уақытта дифференциалданған және көпірлі магнитті тізбектері бар магнитті жүйелер кең таралды. Мысалдар 1.8-суретте келтірілген.

1.8, а - суретте көрсетілген дифференциалды магнитті жүйенің әрекет ету принциптерін қарастырамыз. Ол жүйелі қосылған басқарудың (2 және 4) екі орамы орналасқан магнит өткізгіштен 1 тұрады және магнит өткізгішке сәйкес поляризациялаушы магнитті ағынды $\Phi_{п.м}$ тұрақты магнитке қатты бекітілген (тұтас сызықпен белгіленген). Якорь 5 мойынтіректегі О осіне бұрылады (1.8, а - суретте көрсетілмеген). ФПМ ағыны ауа саңылауы δ_2 арқылы якорьге өтеді және одан кейін δ_1 және δ_3 саңылауларында сәйкесінше өтетін ағынға ($\Phi_{п.м\delta 1}$ және $\Phi_{п.м\delta 3}$) тармақталады. Орамда және көлденең күйде токтың болмауы кезінде δ_1 және δ_3 саңылауларында оған әрекет электр магнитті күштердің якорьлері бірдей. Якорь бұл ретте тұрақсыз күйде табылады; якорьдің шамалы бұрылысы кезінде (мысалы, сағат тіліне қарсы, яғни δ_1 саңы-

1.8-сурет. Дифференциалды (а) және көпірлі (б) поляризацияланған магнитті жүйенің мысалдары:

1 — магнит өткізгіш; 2, 4 — орамдар; 3 — тұрақты магнит; 5 — якорь



лауын азайту және δ_3 саңылауын ұлғаю жағында) электр магнитті күш δ_1 саңылауында ұлғаяды, ал δ_3 саңылауында азаяды. Нәтижесінде якорь 1.8, а-суретте бейнеленген күйге өтеді.

1.8, а-суретте көрсетілген полярлықпен орамды қосқаннан кейін δ_1 және δ_3 саңылаулары арқылы жүйелі өтетін басқарушы магнитті ағын Φ_y құрылады (штрихты сызықпен белгіленген). Бұл ретте δ_1 саңылауында $\Phi_{п.м\delta_1}$ және $\Phi_{п.м.у}$ ағындарының азаюы, ал δ_3 саңылауында — олардың қосылуы өтеді. Орамның белгілі бір МКК кезінде δ_3 саңылауындағы электр күші δ_1 саңылауындағы электр магнитті күштен артық болса (басқа күштер болмаған жағдайда) якорь сағат тілімен бұрылады және басқа шекткі күйді алады. Ол осы күйде орамнан кернеуді шешкеннен кейін де қалады. Егер орам бойынша басқа полярлық тоғын жіберсе, якорь қарама-қарсы бағытқа лақтырылады.

Дифференциалды схемаларда якорь осі немесе серіппелі аспа себебі электр магниттерінің әсері болып табылатын елеулі күштерге ұшырайды. Бірінші жағдайда мойынтіректегі якорьді жылжыту кезінде аппараттың сезімталдығына теріс әсер ететін үйкелістің елеулі күштері туындайды. Екінші жағдайда сондай күштер тек серіппелердің иілісін ғана емес, сонымен бірге оның созылуын тудырады, бұл жоғары уақытша кедергісі бар материалдардың серіппелері үшін ажыратуды қолдану қажеттілігіне әкеледі. 1.8, б - суретте көрсетілген көпірлі схемалар осы кемшіліктерге ие емес.

Дифференциалды схеманың тағы бір кемшілігі якорьдегі поляризациялаушы және басқарушы ағындардың толық бөліну мүмкінсіздігі болып табылады. Бұл якорьдің көлденең қимасының ауданын, сонымен

бірге аппараттың тез әрекетін төмендететін оның массасын және сыртқы механикалық әсерлерге оның тұрақтылығын ұлғайту қажеттілігін тудырады.

Көпірлі ағындардың схемаларында (1.8, *б* - суретті қараңыз) ағындардың (басқарушы немесе поляризациялаушы) бірі якорь бойында, ал басқасы – кесе-көлденең бағытталған.

Екі жұмыс саңылауы ғана (1.8, *а* - суреттегі δ_1 және δ_3) болатын дифференциалды схемалардан айырмашылығы көпірлі схемалар кемінде төрт осындай саңылауларымен сипатталады (1.8, *б* - суреттегі δ_1, δ_4). Бірқатар жағдайларда бұл екі саңылауы бар схемалармен салыстырғанда бағыттаушы ағынға шамамен екі емес магнитті кедергіні азайту мүмкіндігін береді, себебі көпірлі схемадағы басқарушы ағындардың жолындағы саңылаулардың магнитті кедергісі жүп-жұбымен параллель (δ_1 және δ_4 ; δ_2 және δ_3)

Бақылау сұрақтары

1. Магнитті тізбек дегеніміз не?
2. Электр және магнитті тізбек арасындағы ұқсастық неде?
3. Магнитті тізбектерді есептеу кезінде тура және кері тапсырмаларды шешу нені көрсетеді?
4. Магнитті тізбекті жылжытудың эквивалентті схемасы дегеніміз не?
5. Тұрақты МҚК және айнымалы МҚК кезінде магнитті тізбектердің айырмашылығы неден тұрады?
6. Айнымалы МҚК-дан магнитті тізбектің магнит өткізгішіндегі шығынды қалай азайтуға болады?
7. Магнитті тізбек жұмысына сыртқы саңылауды енгізу қалай әсер етеді?
8. Материалды қисық магнитсіздендіру неден тұрады?
9. Магнитті энергия қалай анықталады?
10. Поляризацияланған магнитті жүйенің қандай схемалары электр аппараттарында қолданылады?

2-ТАРАУ

ЭЛЕКТР ТҮЙІСПЕЛЕРІ ЖӘНЕ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІНІҢ КОММУТАЦИЯСЫ

2.1. Электр түйіспелері туралы жалпы мәліметтер

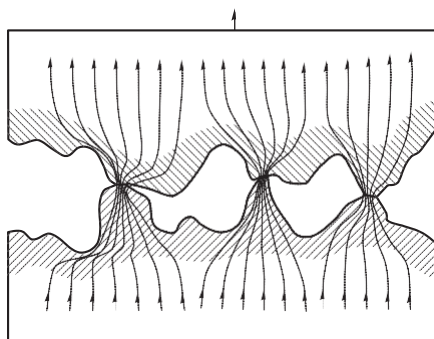
Электр тізбегіндегі екі ток өткізуші элементтердің қосылысы электр контактісі деп аталады. Жанасушы өткізгіштер деп түйіспе-детальдер немесе жай түйіспелер аталады. Түйіспе қосылысының сенімділігіне электр аппаратының өзінің және олармен басқарылатын тізбегінің қалыпты жұмысы тәуелді болады. Бұл сенімділік әдеуір дәрежеде бір түйіспеден екіншісіндегі токтың өту аймағында үлкен электр кедергісіне қатысты – *ауыспалы кедергімен* анықталады. Түйіспенің жанасу беттері қаншалықты мұқият өңделсе де электр тоғы бір контактіден жеке нүктелердегі басқасына өтеді, бұл беттері бір-бініне жанасады, себебі мүлдем тегіс бетті оны өңдеудің қандай әдісі болмасын алуға болмайды.

Осы құбылыстың үлгілік картинасы 2.1-суретте берілген. Дөңестің басқа шыңындағы бір контактіні басу арқасында деформацияланады және түйіспелердің нақты жанасу аландары түзіледі.

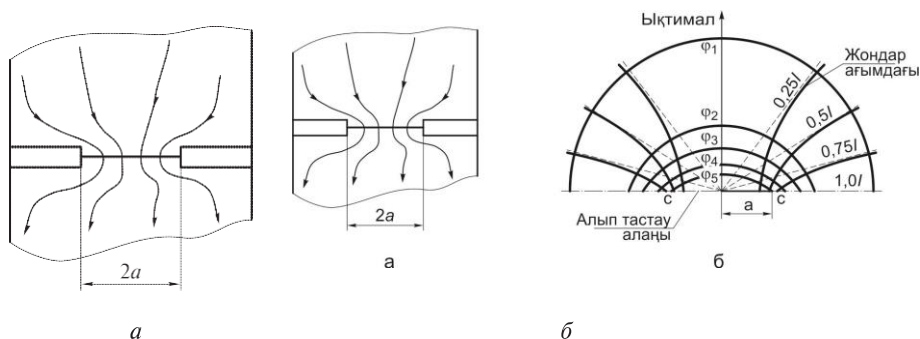
Екі цилиндрлік түйіспелердің бүйірлерімен жанасуы кезінде бір түйіспеден екіншісіне токтың өту процесін қарастырамыз.

Түйіспелердің а радиусымен шеңбер пішінінде тек бір жанасу ауданы болады деп санайық (2.2 - сурет, а). Пластикалық деформация кезінде радиустың мәнін келесі өрнектен табуға болады

$$\pi a^2 = F/\sigma, \quad (2.1)$$



2.1-сурет. Электр түйіспесінде токтың өтуінің үлгілік картинасы



2.2-сурет. Бір нүктелі түйіспеде токтың жайылуының идеалдандырылған картинасы:

a — токтың бір жерге жиналу облысы; *б* — ток өрісінің ϕ потенциалдарының картинасы

мұндағы F — түйіспелердің басу күші; σ — түйіспе материалын майыстырудың уақытша кедергісі.

Ток желісінің жанасу ауданында бір жерге жиналуы нәтижесінде ток жолы өзгереді. Іс жүзінде ток өтетін өткізгіш қимасы аз болады, бұл кедергінің ұлғаюын тудырады. Бір жерге жиналу облысындағы токтың жайылу картинасы жартылай шексіз ортадағы a радиусымен тегіс дисктен токтың жайылу картинасына ұқсас.

Жазылу облыстарының өлшемдері түйіспе заттарының өлшемдері бойынша аз болғандықтан, нақты түйіспелерді жартылай шексіз заттармен алмастыруға болады. Жанасудың бір дөңгелек ауданы болатын екі жартылай шексіз денесі үшін электр потенциалдары ϕ мен ток өрістерінің картинасы 2.2, б-суретте берілген.

Эквивалентті беттері айнарудың жартылай эллипсоидтары, ток сызықтары – ортақ фокусы бар гиперболы болып табылады. Мұндай түйіспелерде токтың өтуінің идеалдандырылған картинасы үшін кедергі келесі өрнекпен анықталады

$$R_{\text{н}} = \rho / (2a), \quad (2.2)$$

мұндағы r — түйіспе материалдарының шекті электрлік кедергісі.

(2.2) формуласы егер түйіспе затының кесе-көлденең өлшемдері жанасу алаңының диаметрінен кемінде 13 есе артса, 5 % дейін қателікпен дұрыс болады. Көптеген тәжірибелік жағдайларда көрсетілген шарт сақталады, себебі жанасу аудандарының өлшемдері әдетте миллиметр үлесінен артпайды.

(2.1) формуласы бойынша аудан радиусын a тауып және оның өрнегін (2.2)-формулаға қойып, аламыз:

$$R = \frac{\rho \sqrt{\pi} \sigma}{\sqrt[2]{F}} = k / F^{1/2} \quad (2.3)$$

Осылайша, шекті кедергіге ρ және материалды жапырудың уақытша кедергісінен квадрат түбірге тура пропорционал, сондай-ақ F түйіспелерін басу күштерінен квадрат түбірге пропорционал бір жерге жиналумен негізделген кедергі.

Егер түйіспелі дөңестердің серпімді деформасы орын алса, онда $R_{\text{н}}$ кедергісінің формуласы ұқсас, алайда F дәреже көрсеткіші $1/3$ тең.

Жоғары кернеулі аппараттарда қолданылатын түйіспелердің $R_{\text{н}}$ формуласы эксперименттік деректерді математикалық өңдеу негізінде алынған.

Бір нүктелі түйіспе негізінен аз токтар кезінде ғана қолданылады. Үлкен токтар кезінде көп нүктелі түйіспе қолданылады. Ток параллель қосылған бірнеше түйіспелі аралық өтетіндіктен, өтпелі кедергі тура солай басу кезінде бір нүктелі контактімен салыстырғанда азаяды. Алайда шын мәнісінде әрбір түйіспелі нүктеде басу азаяды. Түйіспелі нүктелер саны аса күрделі заң бойынша басу күшінің өсуімен ұлғаяды. Мұндай түйіспенің өтпелі кедергісі келесі теңдеумен сипатталады

$$R_{\text{н}} = k/F^m. \quad (2.4)$$

m көрсеткіші 0,7-ден 1,0 дейін өзгереді. $R_{\text{н}}$ кедергісі түйіспе беттерін өңдеу сапасына тәуелді. Ажарлауға ұшырайтын беттерінде өте тегіс дөңестер үлкен көлденең қималы. Мұндай дөңестердің жапырылуы тек үлкен күшпен басу кезінде ғана мүмкін. Сондықтан ажарлаушы түйіспелердің кедергісі өте дәрекі өңделген түйіспелерге қарағанда жоғары.

Өлі күнге дейін біз ток желілерінің жайылу құбылысымен ғана туындайтын өтпелі кедергілерді қарастырдық. Сондай-ақ олардың тұйықталуына дейін түйіспелер орналасатын газ молекулаларымен жабылғанын ескеру қажет. Бұл молекулалар түйіспе материалымен химиялық реакцияға өте жиі түседі, нәтижесінде материал бетінде өте жоғары шекті кедергісі бар қабықшалар туындауы мүмкін ($104 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Егер тұйықталатын тізбек кернеуі аз болса немесе түйіспелерге басу жеткіліксіз болса, онда түйіспелер мүлдем ток өткізбейтін болады.

Түйіспелердің жаңадан тазартылған беті ауамен жанасқанда, қабықша түзу процесі басталады, нәтижесінде өтпелі кедергі ондаған мың есе өсуі мүмкін.

Сондықтан аз токтағы (аз басылған) түйіспелер тотығуға төзімді асыл металдардан (алтын, платина және басқалары) дайындалады.

Қатты ағынды түйіспелерде тотық қабықшалары не үлкен басу күшінің арқасында не басқасына қатысты бір түйіспенің жылжуынан өздігінен тазалау есебінен бұзылады. Ток желілерін бір орында жиналу

облысы арқылы токтың өту кезінде түйіспе қыздырылады. Бір орынға жиналу облысындағы температураның артуы $\Delta\tau_k$ келесі формула бойынша болжамды табылуы мүмкін

$$\Delta\tau_k = U_k^2 / 8\lambda\rho, \quad (2.5)$$

мұндағы U_k — өтпелі кедергіде кернеудің төмендеуі, $U_k = IR_n$; λ — түйіспе материалының шекті жылу өткізгіштігі.

Ең үлкен температура жанасу ауданында болады. жою шамасы бойынша онда температура тез төмендейді. Бір орынға жиналу облысының ұзындығы үлкен емес және (5 - 6)а құрайды.

Бір орынға жиналу облысында бөлінетін жылу ($I^2 R_n / 2$) түйіспе заты бойынша таралады және түйіспенің бүйір беті арқылы қоршаған ортада беріледі. Бұл ретте келесі формула бойынша есептелетін температураның қосымша ауытқуы $\Delta\tau$ туындайды

$$\Delta\tau = \frac{1}{2} I^2 R_n \frac{1}{\sqrt{\lambda\kappa_\tau pS}},$$

мұндағы κ_τ — зат бетінен шекті жылу беру коэффициенті; p , S — сәйкесінше түйіспе заты қимасының периметрі және ауданы.

Токтан өту кезінде түйіспе затының өзі қызады. Қарапайым жағдайда қоршаған орта температурасынан Θ_0 түйіспе бетінің температурасының өтуі тт жылу ағынының қуатына арналған Ньютон формуласынан $Q = \kappa_\tau S \Delta\tau$ анықталады. Жанасу ауданының температурасы

$$\theta_k = \theta_0 + \tau_c + \Delta\tau_k + \Delta\tau = \theta_0 + \frac{I^2 \rho}{\kappa_\tau pS} + \frac{1}{2} I^2 R_n + \frac{1}{\sqrt{\lambda\kappa_\tau pS}} \frac{(IR_n)^2}{8\lambda\rho} \quad (2.6)$$

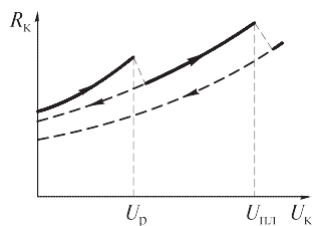
Бір жерге жиналу кедергісінің температурасының өсуімен материалдың шекті кедергісінің өсуінен өзгереді. Теориялық жолмен келесі арақатынас алынды

$$R(\theta) = R(0) \left(1 + \frac{2}{3} \alpha \Delta\tau_k\right), \quad (2.7)$$

мұндағы $R(0)$ — түйіспе затының температурасы кезінде бір жерге жиналу кедергісі $\theta_0 + \tau_c$; α — кедергінің температуралық коэффициенті.

Түйіспе арқылы токтың ұлғаюы кезінде кернеудің төмендеуі $U_k = IR_n$ ұлғаяды. (2.5) теңдеуіне сәйкес бұл ретте түйіспе нүктесінің температурасының артуы $\Delta\tau_k$ өседі, бұл, өз кезегінде кедергінің R_n ұлғаюуына әкеледі [(2.7)-формуласын қараңыз]. Кернеуден ик кедергінің R_n тәуелділігі $R = U$ - түйіспе сипаттамасы аталады. Ол 2.3 - суретте көрсетілген.

(2.7) формуланың шығару кезінде ма-



2.3-сурет. $R = U$ - түйіспе сипаттамасы

териалдың беріктігінің өзгеруі ескерілмейді, сондықтан формула материалдың жұмсару температурасынан аспайтын температура кезінде жақсы нәтиже береді. Жанасу ауданы жұмсарту температурасы кезінде ұлғаяды, ал өтпелі кедергі өзгеріссіз басу кезінде шұғыл өзгереді.

Бұл жағдай $U_k = U_p$ болғанда орын алады, мұндағы U_p — материалдың кристалдану немесе жұмсару кернеуі. Егер температура өсуін жалғастырса, онда жанасу нүктесінің балкуына қол жеткізуі мүмкін, бұл балқу кернеуіне $U_{пл}$ сәйкес келеді. Дұрыс есептелген түйіспеде температура материалдың жұмсару температурасына жетпеуі тиіс.

2.2. Түйіспелердің жұмыс режимдері

Тұйық электр тізбегін құру үшін әдетте бірнеше түйіспелерді пайдалану қажет. Қозғалмайтын түйіспелер болған кезде жұмыс процесіндегі электр тізбектерінің ток өткізуші элементтер бір-біріне қатысты жылжымайды, өзара тығыз және сенімді жалғасады. Қозғалмалы түйіспелер жағдайында жұмыс процесінде тізбектердің элементтері өзара (тізбектердің қосылуы) қосылады, талап етілетін уақыт ішінде тығыз және сенімді бекітілген болып қалады (тізбек бойынша токтың өтуі), осыдан кейін жетек көмегімен ажыратылады (тізбектің сөндірілуі).

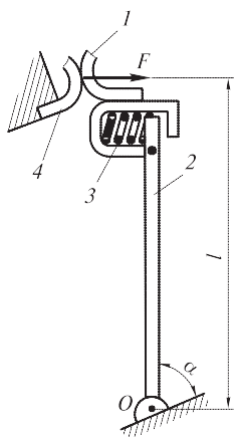
Тізбектің қосылуы. Түйіспелерді қосу кезінде келесі процестер орын алады:

- түйіспелердің дірілі;
- жинақ түйіспелер арасында разрядтың түзілу нәтижесіндегі эрозия.

2.4-суретті пайдаланып, діріл мәнін қарастырамыз. Қозғалмалы түйіспе 1 түйіспелі серіппе 3 арқылы түйіспелі тұтқышпен байланысты. Қозғалмайтын түйіспе 4 тіректе қатты бекітілген. Контакттордың электро-магниті тұтқышқа 2 әсер етеді. Түйіспелердің жанасу сәтінде соққы туындайды, нәтижесінде түйіспелердің жапырылу деформациясы және түйіспенің 1 оңға шегінуі өтеді. Түйіспелер арасында саңылау түзіледі және доға жанады. Түйіспенің 1 оңға қозғалысы соққы кезінде алынған энергия 1 серіппенің 3 сығылу энергиясына өткенде токтатылады.

Осыдан кейін түйіспе 1 серіппелердің 3 әрекетімен солға жылжи бастайды. Түйіспенің жаңа соққысы және жаңа шегінуі өтеді.

Қысқа тұйықталуы болатын тізбекті қосу кезінде түйіспелер дірілі жанасу нүктесіндегі шегінуші күштердің туындауына байланысты күшейеді. Олардың жанасу сәтінде түйіспелердің балкуы болмауы үшін алдын ала тарту күшімен түйіспелі серіппелер шегінудің электрдинамикалық күштерін өтеуі және өтпелі кедергіде кернеудің төмендеуі жана-



2.4-сурет. Қосу процесінде түйістіргіштердің ток өткізгіш тізбегі:
1, 4 — қозғалмалы және қозғалмайтын түйіспелер; 2 — тұтқыш; 3 — серіппе

су нүктесінің балқуына әкелетін мұндай қысуды құруы қажет [(2.5) формуланы қараңыз].

Қысқа тұйықтаудың үлкен токтарына есептелген аппараттарда бүйір түйіспелердегі электр динамикалық күштер түйіспелі серіппелер мұндай мыңдаған ньютондарға күшті өршітуі тиіс болатындай үлкен болуы тиіс.

Мұндай жағдайларда шегінудің ең аз электродинамикалық күшін беретін түйіспелердің басқа құрылымына өту қажет екені белгілі.

Түйіспелі жүйелерде екі типті электродинамикалық күштер болады. біріншісі кез келген түйіспелі жүйелерде туындайды және түйіспелі құбылыстардың мәнімен, яғни түйіспелі аудандағы ток желілерінің бір жерге жиналуымен негізделеді. Ғалым-электрмеханик Д.Двайтпен алғаш анықталған бұл күштер оның атын алады және РД деп белгіленеді. Екінші типті күштер түйіспелі жүйенің ток контурының элементтерінің өзара әрекетімен негізделген және көбіне контурлық деп аталады. Двайт күштері үнемі бір түйіспені екіншісінен итереді. Бұл ретте түйіспелер осінің бойында оссимметриялық түйіспелі жүйедегі r радиусымен бір түйіспеде келесі күш әрекет етеді

$$P_d = \mu_0 I^2 \ln(r/a) / 4\pi.$$

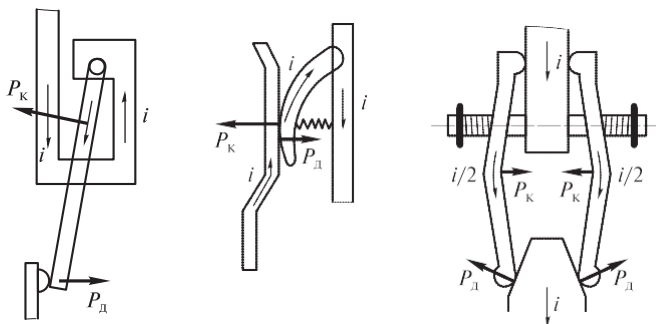
Электродинамикалық түйіспелі күштердің компенсаторларында (2.5-сурет) контур күштері P_k Двайт күштерінің әрекетін өтейтіндей бағытталған.

Тез әрекет ететін автоматты сөндіргіштерде контурлық электр динамикалық күштер қозғалмалы түйіспені шегіндіруді жеделдету үшін қолданылады, бұл электр доғасының кедергісін тізбекке тез енгізуге әкеледі.

Тізбекті қосу процесінде қозғалмалы түйіспенің қозғалмайтын түйіспеге жылжу шамасы бойынша түйіспелер арасында электр өрісінің кернеулігі өседі және белгілі бір қашықтық кезінде аралықтың бұзылуы өтеді.

Төмен кернеулі аппараттарда бұзылулар түйіспелер арасындағы өте аз қашықтық кезінде туындайды (миллиметрдің жүздеген үлестері).

Доғалы пішінге разряд өтпейді, себебі қозғалмалы түйіспе қозғалады және аралықты жойып, разряд процестері тоқтайды. Алайда бұзылу кезінде туындайтын электрондар анодты бастырмалатады және оның тозуын тудырады. Анод металы катодта жұқа ине түрінде салынады.



2.5-сурет. Түйіспелердегі электродинамикалық күштердің компенсаторларының типтері

Материалдарды бір түйіспеден екінші түйіспеге ауыстыру нәтижесінде түйіспелердің тозуы, яғни материал құрамының өзгеруінсіз қоршаған ортадағы булану **физикалық тозу** немесе **эрозия** деп аталады. Тұйықталу кезінде эрозия үлкен емес, алайда түйіспелер арасында аз қашықтықта және аз басу кезінде ол олардың бірігуіне әкелуі мүмкін.

Жоғары кернеу аппараттарында түйіспелердің жақындау уақытында бұзылу үлкен қашықтық болғанда өтеді. Туындаған доға салыстырмалы ұзақ өтеді; бұл ретте қысқа тұйықталу болатын тізбектерді қосу кезінде түйіспелердің пісірімделуі мүмкін. Жүйелі қосылған түйіспелі қосылыстардың (ажырауларды) үлкен санын қолдану есебінен ажырауға келетін кернеу азаяды, бұл $5 \cdot 10^{-3}$ с дейін алдын ала бұзылудың уақытын төмендету мүмкіндігін береді. Көрсетілген мән май сөндіргіштері үшін қауіпсіз танылған.

Токты қосулы күйінде өткізілуі. Бұл режимде екі жағдайды ерекшелеуге керек: 1) түйіспелер арқылы ұзақ номиналды ток өтеді; 2) түйіспелер арқылы қысқа тұйықталу тоғы өтеді. Түйіспелердің сенімді жұмысы үшін $R_{\text{н}}$ кедергіде кернеудің төмендеуі номиналды ток /н кезінде төмендегідей болуы үшін қажет

$$I_{\text{н}} R \leq U_{\text{к.доп}} = (0,5 \dots 0,8) U_{\text{пл}}, \quad (2.8)$$

мұндағы $U_{\text{пл}}$ — жанасу нүктесінің балкуы кезінде кернеудің төмендеуі.

Аз токтарға түйіспелерді есептеу үшін (2.8) формуласы қолданылады. Берілген ток $I_{\text{н}}$ және кернеудің ұйғарынды мәні $U_{\text{к.доп}}$ бойынша өтпелі кедергі $R_{\text{н}}$ анықталады, осыдан кейін (2.3) формуласының көмегімен түйіспелі басудың қажетті күшін табады.

Түйіспелер арқылы қысқа тұйықтау кезінде $I_{\text{н}}$ 10-20 есе артатын токтар өтеді. Қыздырудың аз тұрақты уақытына байланысты түйіспелі ауданның температурасы іс жүзінде лезде көтеріледі және балку температурасына жетуі мүмкін. Қысқа тұйықталу кезінде балқушы токтың аналитикалық есебі қиындатылған, себебі қолданыстағы формулалар

жоғары температура кезінде материалдың жұмсаруын ескермейді. Сондықтан түйіспелердің тәжірибелік есептеулері кезінде пісірілетін ток пен басу күшін тікелей байланыстыратын тәжірибелі деректерді пайдалану ұсынылады.

Түйіспелердің электр динамикалық төзімділігін есептеу кезінде эксперименттік формула жақсы нәтиже береді

$$I \leq k_{\epsilon} \sqrt{F}, \quad (2.9)$$

мұндағы I — электрдинамикалық төзімділік тоғы (әдетте соққы тоғының амплитудалық мәні алынады); k_{ϵ} — мәндері сәйкес әдебиетте келтірілетін коэффициент, мысалы [2]; F — басу күші.

Тізбекті сөндіру. Түйіспелерді тұйықтау кезінде басу күші азаяды, өтпелі кедергі өседі, сондықтан жанасу тоғының температурасы ұлғаяды. Түйіспелердің ажырау сәтінде ол балку температурасына жетеді және түйіспелер арасында сұйық металдан мостик туындайды. Түйіспелердің одан әрі ажырау кезінде мостик ажырайды және сөндірілетін тізбек параметрлеріне байланысты доғалы не жалынсыз разряд туындайды.

Доға разрядының туындау кезінде катод және анод таңбасының температурасы материалдардың балку температурасына әкеледі. Түйіспелердің жоғары температурасы олардың қарқынды тотығуына, қоршаған кеңістікте түйіспе материалдарының тозандануына, материалдың бір электродтан екіншісіне ауысуына және пленканың түзілуіне әкеледі. Мұның барлығы түйіспелердің тозуына әкеледі. Тотығумен, электродта қабықшаның түзілуімен, түйіспе материалдарының ортамен химиялық қосылыстарымен байланысты тозу **химиялық тозу** немесе **коррозия** деп аталады. Материалды бір электродтан екінші электродқа ауыстыру тұрақты ток кезінде өте зиян, себебі ауыстыру бағыты өзгермейді, бұл түйіспелердің қатардан тез шығуына әкеледі. Материалдың анодтан катодқа ауысуы оң эрозия деп аталады, ал кері жағына ауысуы — теріс эрозия деп аталады. Эрозия өлшемі түйіспе массасының немесе көлемінің шығыны болып табылады. Түйіспелі беттерінің тозу формасы мен эрозия бағыты разряд түріне және ток шамасына тәуелді. 1-ден 600 А дейін токта аппараттарда түйіспелердің эрозиясымен күресудің негізгі құралдары болып табылады:

- доға сөндіруші құрылғыларды қолдану есебінен доғаны жану ұзақтығын қысқарту;

- сөндіру кезінде дірілдің жойылуы;

- ыстыққа төзімді түйіспе материалдарын қолдану.

Ампер үлестерінен бірнеше амперге дейін токтарды басқаратын түйіспелер үшін эрозияны азайтудың схемалық әдістері қолданылады.

2.3. Түйіспе материалдар

Түйіспе материалына келесі талаптар қойылады:

- жоғары электрлік өткізгіштік және жылу өткізгіштігі;
- ауадағы және басқа газдағы коррозияға қарсы төзімділік;
- жоғары шекті кедергімен пленка түзуге қарсы төзімділігі; қажетті

басу күшін азайту үшін аз қаттылық (сол уақытта жиі сөндіру және қосу кезінде механикалық тозуды азайту үшін жоғары қаттылығы болуы керек);

- аз эрозия;
- жоғары жылуға төзімділік (балқу температурасы);
- электр доғасын түзу кезінде туындайтын тоқтың және кернеудің

үлкен мәндері;

- өңдеудің қарапайымдылығы, төмен құны.

Кейбір түйіспелі материалдардың қасиеттерін қарастырамыз.

Мыс. Мыстан жасалған түйіспелердің оң қасиеттері: жоғары электрлік өткізгіштік және жылу өткізгіштік, жеткілікті қаттылығы, дайындау технологиясының қарапайымдылығы, төмен құны. Кемшіліктерге балқудың төмен температурасын жатқызуға болады. Сонымен қатар, ауада жұмыс кезінде мыстан жасалған түйіспелер жеткілікті үлкен басу күштерін талап ететін жоғары кедергісі болатын берік тотықтардың қабатымен жабылады. Мысты тотығудан қорғау үшін түйіспе беттері қалыңдығы 20 - 30 мкм күміс қабатымен электролитті тәсілмен жабылады. Мыс тегіс және дөңгелеу шиналарды, жоғары кернеулі аппарат түйіспелерін, түйістіргіштерді, автоматты сөндіргіштерді және басқаларын дайындау үшін пайдаланады. Мыстың төмен жылуға төзімділігінің салдарынан қуатты доғаның түзілуімен тізбекті сөндіретін және бір сағатқа қосудың көп саны болатын аппараттарда оны қолданудың қажет жоқ.

Күміс. Күмістен түйіспелердің оң қасиеттері: жоғары электрлік және жылу өткізгіштігі, күміс тотығы қабықшасының шамалы механикалық беріктігі, нәтижесінде қабықша түйіспелі нүктені қыздыру кезінде тез бұзылады. Күмістен жасалған түйіспе төзімді, шамалы механикалық беріктігінің арқасында ол үшін аз басу жеткілікті. Төзімділік, аз өтпелі кедергі күмістен жасалған түйіспелердің тән сипаты болып табылады.

Сол уақытта күмістің аз термотөзімділігі мен жеткіліксіз қаттылығы қуатты доғаның түзілуімен аппараттарда, сондай-ақ жиі қосу және сөндіру кезінде жұмыс істейтін күміс түйіспелерін пайдалануға кедергі келтіреді.

Күміс 20 А дейін ток кезінде түйістіргіштерде және реледе қолданылады. Үлкен токтағы аппараттарда (10 кА дейін) одан доғасыз жұмыс істейтін негізгі түйіспелерді дайындайды.

Алюминий. Бұл материалдың жеткілікті жоғары электрлік өткіз-

гіштігі және жылу өткізгіштігі болады. Ток өткізгіштің аз тығыздығы арқасында мыс өткізгіші сияқты осындай токқа есептелген алюминийден жасалған дөңгелек қима бөлігінің шамамен 4 %-ға аз массасы болады. Бұл аппарат массасын төмендетуге мүмкіндік береді.

Алюминийден жасалған түйіспелердің кемшіліктері: жоғары механикалық беріктігі және жоғары кедергісі бар қабықшаның белсенді ортада және ауада түзілуі, төмен жылуға төзімділік (алюминийдің балку температурасы мыс пен күміске қарағанда аз), аз механикалық беріктігі. Сонымен қатар, мыспен алюминийдің түйіспесі кезінде қатты электрохимиялық коррозияға ұшырайтын жұп түзіледі. Осыған орай мысты алюминиймен қосу кезінде электрхимиялық жолмен мыстың жұқа қабатымен жабу керек не екі металды күміспен жабу керек.

Алюминий және оның қорытпалары (дюраль, силумин) негізінен аппараттардың құрылымдық детальдерін және шинаны дайындау үшін қолданылады.

Вольфрам. Вольфрамнан жасалған түйіспелердің оң қасиеттері жоғары жылуға төзімділік, эрозияға, пісірімдеуге қарсы үлкен беріктік болып табылады. Вольфрамды түйіспелердің жоғары қаттылығы оларды жиі қосылулармен және сөндірулермен жұмыс істейтін аппараттарда қолдануға мүмкіндік береді.

Вольфрамнан жасалған түйіспелердің кемшіліктеріне жоғары шекті кедергі, аз жылу өткізгіштік, берік оксидті және сульфидті қабықшалардың түзілуі жатады. Жоғары механикалық беріктікке және қабықшаның түзілуіне байланысты вольфрамды түйіспелер үлкен қысуды талап етеді.

Үлкен емес қысумен аз токтағы реледе алтын, платина, палладий және басқа коррозияға қарсы материалдар қолданылады.

Металқыш материалдар. Қарастырылған металдардың қасиеттерін талдау олардың бірде біреуінің ажыраушы түйіспе материалына қойылатын барлық талаптарды толығымен қанағаттандырмайтынын көрсетеді.

Түйіспелі материалдың негізгі қасиеттері – жоғары өткізгіштік және жылуға төзімділік – күміс пен вольфрам, мыс пен вольфрам қорытпаларының есебінен алынбайды, себебі көрсетілген қорытпа металдары түзілмейді. Түйіспелер үшін қажетті қасиеттерге ие материалдар ұнтақты металлургия (металқыш) әдісімен алынады. Металқыш түйіспелерді дайындау кезінде металдардың физикалық қасиеттері сақталады. Жылуға төзімділік керамикаға вольфрам, молибден сияқты металдарды береді. Екінші компонент ретінде түйіспенің төмен өтпелі кедергісін алу үшін мыс немесе күміс қолданылады.

Түйіспе материалында вольфрам неғұрлым көп болса, соғұрлым олардың жылуға төзімділігі, механикалық беріктігі, пісірімдеуге кедергісі жоғары болады. алайда түйіспелердің кедергісі неғұрлым артық

болса, олардың өткізгіштігі аз болады. Әдетте вольфрамның құрамы 50 % жоғары металқыш қысқа тұйықталудың үлкен токтарын сөндіретін ауыр жүктелген аппараттар үшін қолданылады.

Төмен кернеулі аппараттарда күміс пен кадмий оксидінен жасалған металқыш аса кең таралды (CdO). Осы материалдың айрықша ерекшелігі кадмий және оттегі жұбында CdO диссоциациясы болып табылады. Бөлінетін газ доғаның ионсыздануына ықпал ететін түйіспе беті бойынша тез ауысады.

Күмістен және 10 % мыс оксидінен тұратын металқыш жақсы тозуға төзімділігіне ие.

Күміс-никельді түйіспелер жақсы өңделеді, электрлік тозуға қарсы жоғары беріктікке ие, пайдалану кезінде төмен және тұрақты өтпелі кедергіні қамтамасыз етеді.

Күміс-графитті және мыс-графитті түйіспелер пісірімдеуге қарсы жоғары төзімділік арқасында доға сөндіруші ретінде қолданылады.

2.4. Түйіспелер конструкциясы

Кез келген электр аппаратының түйіспелі жүйесі оны тағайындауға байланысты орындалады. Құрылымы бойынша қатаң, ажырамайтын және үзілісті түйіспелер деп ерекшеленеді.

Қатаң түйіспелер. Мұндай түйіспелер ток өткізгіш детальдердің қозғалмайтын қосылыстарына арналған (шиналы қосылыстар, кабель қосылыстары, тізбекке аппараттарды жалғау). Екі түйіспені пайдалану процесінде не болттармен не ыстық немесе суық пісіру көмегімен байланысты.

Құрастырар алдында шинаның мыс шиналарын болтты қосылысы кезінде тотықтае мұқият тазартады, техникалық вазелинмен майлайды. Құрастырғаннан кейін жалпы барлық түйіспе, әсіресе жіктері ылғалға төзімді лакпен немесе бояумен боялған. Түйіспелерді мұндай дайындау өтпелі кедергіні азайтады және уақыт өте оны тұрақты етеді. Жанасатын беттері қалайымен жабу (қалайылау) бастапқы кедергіні біршама арттырады, алайда қалайының иілімділігі арқасынша жапыру ауданының саны ұлғаяды. Түйіспе тығыздық, ал түйіспенің кедергісі – өте тұрақты алынады.

Жауапты детальдер үшін, әсіресе үлкен номиналды ток кезінде беттерін күмістеу ұсынылады. Ауадағы алюминий қатты коррозияға ұшырайды, нәтижесінде жанасатын беттерін тазарту вазелиннің қабатымен өтеді.

Тазартудан кейін кір вазелин таза вазелинмен ауыстырылады және болттар көмегімен түйіспелер қосылады. Болтты қосылыстар өздерін

әсіресе алюминий қосылыстары кезіндесенімді ұстайды, сондықтан, қазіргі уақытта алюминий түйіспелері суық немесе жылумен пісіру көмегімен қосылады.

Қозғалмалы элементтердің ажырамайтын түйіспелі қосылыстары. Мұндай қосылыстар қозғалмалы түйіспеден қозғалмайтын түйіспеге беру немесе қозғалмалы түйіспенің әрекетімен шағын жылжуы болу үшін қолданылады. Көрсетілген типтің ең жай қосылысы икемді байланыс болып табылады. Қажетті иілімділікті алу үшін байланыс қалыңдығы 0,1 мм аспайтын мыс таспадан немесе диаметрі 0,1 мм мыс талшықтарынан тұратын көп талшықты өрілген өткізгіштен дайындалады. Жұмыс кезінде икемді байланыс шұғыл майысуға ұшырамауы тиіс, болмаған жағдайда ол тез бұзылады. Қозғалмалы түйіспелердің үлкен жүрісі кезінде икемді байланыс ұзындығы елеулі алынады. Сондықтан мұндай түйіспелі қосылыс тек 0,25 мм аспайтын қозғалмалы элементті ауыстыру кезінде ғана қолданылады.

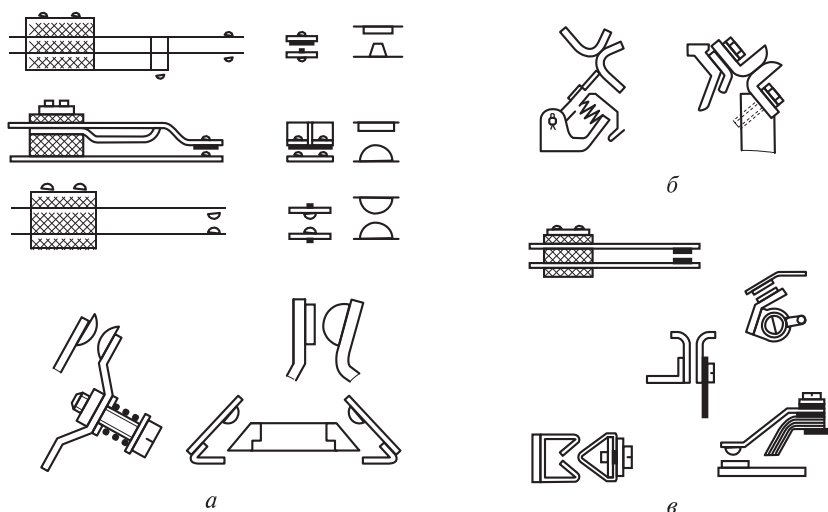
Үлкен жүріс және үлкен номиналды ток кезінде қозғалмалы және роликті токалғыштар қолданылады. Қозғалмалы токалғыштың кемшілігі жетек механизмінен елеулі күштерді талап ететін үлкен үйкеліс күші болып табылады. Үйкелістің ең аз күшін роликті түйіспе береді. Жылжуы шамалы күштерді талап ететін роликті түйіспе жоғары кернеулі заманауи аппаратурада кең қолданысын тапты.

Үзілісті түйіспелер. Аппараттардың түйіспелі жүйесі, әдетте ең алуан түрлі пішіні болатын қозғалмалы және қозғалмайтын түйіспелерден тұрады. Жанасатын беттерінің шамасына қарай түйіспелер нүктелі (2.6-сурет, а), сызықтық (2.6-сурет, б) және жазықтықты (2.6-сурет, в) деп бөлінеді.

Жұмыс процесінде көптеген аппараттардың түйіспелері доға түзетін ең аз токқа 10 қарағанда үлкен токпен тізбекті ажыратады. Туындаған электр доғасы түйіспелердің тез тозуына ықпал етеді. Қозғалмайтын және қозғалмалы түйіспелер арасында сөндіру кезінде түзілетін доғаны сенімді сөндіру үшін белгілі бір қашықтық құру қажет. Толығымен сөндірулі жағдайда табылатын қозғалмайтын және қозғалмалы түйіспелер арасындағы қашықтық түйіспелердің *айырығы деп аталады*.

Ажырамалы түйіспелердің құрылымы номиналды токпен, жұмыс істеу режимімен және аппаратты тағайындаумен анықталады. Түйіспелерді бекіту құрылымынан түйіспелі жанасу нүктесінің саны және түйіспенің тұрақтылығы тәуелді.

Бетінде еркін орнату мүмкіндігі болатын түйіспе жанасу нүктесінің ең жоғары санына ие. Мұндай түйіспе өздігінен *орнатылатын деп аталады*. Оның мысалы 2.7-суретте келтірілген. Қозғалмайтын түйіспе 1 және қозғалмалы көпірлі түйіспе 3 жанасу орнында күмістен немесе металқыштан орындалған шар тәрізді не цилиндрлік дәнекерлерге ие. Түйіспелерді басу серіппемен 4 жасалады. Түйіспелердің жанасуынан



2.6-сурет. Нүктелі (а), сызықтық (б) және жазықтықтық (в) электр түйіспелі қосылыстар

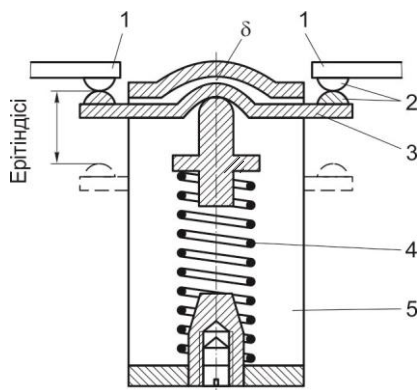
кейін аппарат жетегімен байланысты қысқыш 5 түйіспенің 5 тығыздалуына (құлауына) тең шамада жоғары өз қозғалысын жалғастырады.

Түйіспенің құлауы (тығыздалуы) егер қозғалмайтын түйіспені алып тастасак, қозғалмалы түйіспе орналасатын қашықтық аталады.

2.7-суретте көрсетілген түйіспелерде тотық қабықшасы сүртілмейді, сондықтан мұндай жағдайларда түйіспелі материал ретінде мысты пайдалану ұсынылмайды.

2.8-суретте мыс түйіспесімен түйістіргіште кең қолданылатын домалатумен саусақты жүйе көрсетілген. Түйіспелі тұтқыш 4 электр магнит якорімен байланысты. Аппаратты қосу кезінде ортасы O_1 радиус доғасы O_2O_1 бойынша ауысады (I-жағдай). 1 және 2 түйіспелердің жанасуы а нүктесінде өтеді (II-жағдай). Ортасын O_1 одан әрі жылжыту кезінде жанасуға b нүктесі келеді (III-жағдай). Түйіспе 2 бойынша түйіспе 1 домалату шамалы жылжумен өтеді, нәтижесінде түйіспедегі тотық қабықшасы кетеді. Түйіспелерді қосу кезінде жанасу бетінде бұдырлықтың болуынан доғаның түзілуімен алдында сөндірілген тізбекте түйіспелердің қосымша дірілі пайда болады, сондықтан домалату шамалы болуы тиіс.

Доғаны сөндіру кезінде түйіспелері қосулы жағдайда жанасатын b — b нүктелерінің балқуынан құтқаратын a — a нүктелері арасында туындайды. Осылайша, түйіспелерді екі бөлікке бөлуге болады: бір жағынан доғаны сөндіру, екінші жағынан – токтың ұзақ өтуі өтеді. 2.8-суретте көрсетілген түйіспелер үшін құлауды тікелей бақылау 5 қиындатылған-



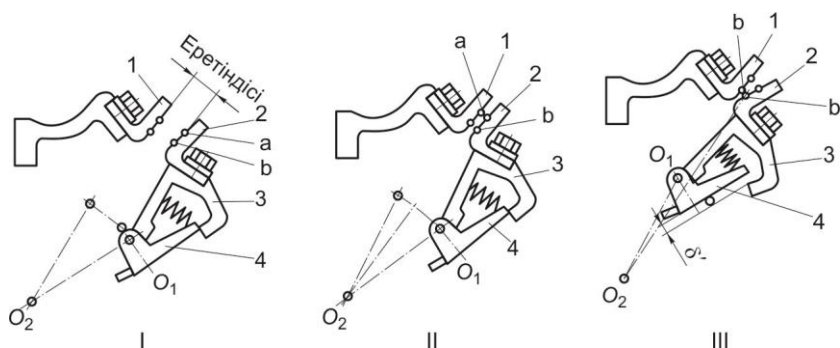
2.7-сурет. Өздігінен орнатылатын қозғалмалы түйіспемен түйіспелі талшық:

1 — қозғалмайтын түйіспе; 2 — дәнекерленген жалатпалар; 3 — қозғалмалы түйіспе; 4 — серіппе; 5 — қысқаш; δ — түйіспенің ашылып қалуы

дықтан, оның шамасы туралы тұтқыш 4 пен түйіспелі қысқаш 3 арасында түзілетін саңылау бойынша талқылайды.

Олардың қажетті басылуын қамтамасыз ететін түйіспелердің құлауы барлық дерлік түйіспелі электр аппараттарында болады. Пайдалану процесінде түйіспелердің тозуы және жанып кетуі салдарынан құлай азаяды, бұл басу күшінің азаюына және түйіспелердің өтпелі кедергісінің өсуіне әкеледі. Сондықтан пайдалануда түйіспелердің құлауы дайындаушы зауытпен талап етілетін шектерде міндетті түрде табылуы және бақылануы тиіс.

Бұл әсіресе түйіспелердің тозуы қарқынды жиі қосу және сөндіру (түйістіргіштер) режимінде жұмыс істейтін аппараттарға жатады. Құлаудың ұйғарынды азаюы дайындаушы зауытпен көрсетіледі. Әдетте, ол бастапқы мәннің 50 % құрайды. Бүйір көпірлі түйіспеде (2.7-суретті қараңыз) құлау әдетте 3-5 мм құрайды, қуатты сөндіргіштерде ол 8.10 мм дейін артады.



2.8-сурет. Қозғалмалы түйіспені домалатумен түйіспелі талшық:
1, 2 — түйіспелер; 3 — түйіспелі қапсырма; 4 — тұтқыш; a, b — түйіспелердің
жанау нүктелері

Жоғары вольтты май сөндіргіштерінде ашалық жүйе кеңінен қолданылады. Қозғалмалы түйіспе дөңгелек қима білігі түрінде, қозғалмайтын – ламельден тұратын аша түрінде орындалады. Мұндай жүйенің төмен өтпелі кедергісі болады және ламельге түйіспелі қысымды шұғыл төмендетуге мүмкіндік береді. Бүйір түйіспеден ашалы түйіспеге өту кезінде пісіру жағдайында ламельге басу күші $1/n^2$ есе азаяды, мұндағы n — ламельдер саны.

Үлкен номиналды токтар кезінде (2 000 А астамы) екі сатылы түйіспелі жүйе қолданылады (2.9-сурет). Мұндай жүйелі аппараттың негізгі 1, 1' және доға сөндіргіші 2, 2' түйіспелері болады. Негізгі түйіспелердің заты мыстан орындалады, ал олардың жанасу беттері – қалыңдығы 20 мкм дейін электр құю тәсілімен жағылған қабат түрінде күмістен немесе дәнекерленген күміс пластинкалардан орындалады. Доға сөндіруші түйіспелердің заты мыстан, доға сөндіруші түйіспелердің ұштықтары – жылуға төзімді материалдан (вольфрамнан немесе мысқышынан) дайындалады.

Негізгі түйіспелердің кедергісі доға сөндірушілерге қарағанда едәуір аз болғандықтан, ұзақ токтың 75.85 %-ы негізгі түйіспелер арқылы өтеді. Сөндіру кезінде алдымен негізгі түйіспелер ажырайды және барлық ток доға сөндіргішке лақтырылады.

Түйіспелер 2, 2' бас түйіспелер арасындағы қашықтық доға сөндіргіш түйіспеде доғаны сөндіру процесінде туындайтын ең үлкен кернеуді ұстайтындай жеткілікті болған сәтте таралады. Бас түйіспелердегі үлкен токтарды сөндіру кезінде доға туындайды. Істің мәнісі, оларды ажыратқаннан кейін барлық ток доға сөндіргіш жүйе арқылы өте бастайды және бас түйіспелерде кернеу пайда бола бастайды.

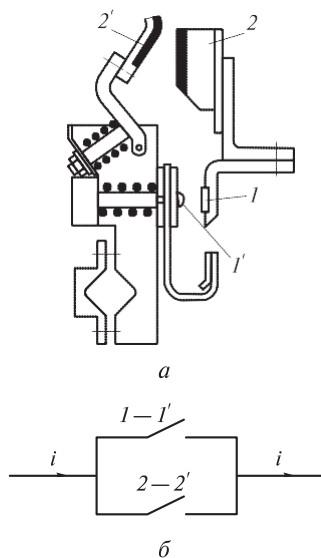
Доға сөндіргіш жүйенің R_2 кедергісі және L_2 индуктивтілігі болсын делік, ал осы жүйенің тізбегіндегі токтың өсу жылдамдығы di_2/dt . Бас түйіспелерде пайда болатын кернеу $U_r = I_2 R_2 + L_2 di_2/dt$ бас түйіспелер арасында аралықтың бұзылуы үшін жеткілікті болуы мүмкін. Бас түйіспелердің жануын азайту үшін индуктивтілікті азайтуға тырысу қажет

$$L = L_2 + L_1 - 2M,$$

2.9-сурет. Екі сатылы жүйенің құрылымы

(а) және электр схемасы (б):

1, 1' — негізгі түйіспелер; 2, 2' — доға сөндіргіш түйіспелер



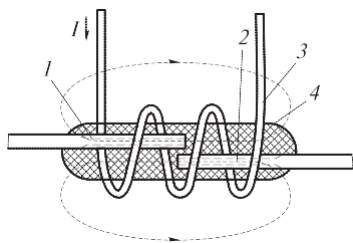
мұндағы L_1 — бас контурдың индуктивтілігі; M — бас және доға сөндіруші контурлардың өзара индуктивтілігі.

Екі сатылы түйіспелі жүйені қосу кезінде алдымен доға сөндіргіш түйіспелер тұйықталады, ал одан кейін бас түйіспелердің күміс беттерінің балкуы мен доғаның болмауын қамтамасыз етеді. Мұндай құрылымдық шешімдердің қолайсыз үлкендігіне қарамастан, жоғары кернеулі сөндіргіштерде және автоматтарда тек өте үлкен ток кезінде қолданылады. Барлық қалған жағдайларда сәйкес материалды іріктеуге және бір түйіспелі жүйені айналып өтуге тырысады.

Автоматиканың дамуы түйіспелерден жоғары сенімділікті және үлкен тез әрекетті талап етеді. Осы талаптар бітеу түйіспелер – геркондарды қанағаттандырады (2.10-сурет). Темірникельді қорытпадан орындалған герконның түйіспелері 1 және 2 сутегі немесе гелий қоспасы бар азот толтырылған шыны баллон 4 ішінде орналасқан. Токтың орауыш 3 арқылы өтуі кезінде түйіспелер 1 және 2 магнитті өріс әрекетімен тұйықталады. Орамдағы токты сөндіргеннен кейін түйіспелер серпімді пластина әрекетімен тұйықталады.

Түйіспелерді басқару тұрақты магнит көмегімен жасалады, мұндай магнитті жақындастыру кезінде түйіспелердің қабысуы, жою кезінде – ажырауы өтеді. Бұл геркондағы жолдық сөндіргіштерді орындауға мүмкіндік береді. Геркондар тек тұйықтаушы емес, сонымен бірге ажыратушы болады, сондай-ақ қайта қосылушы түйіспелер ағысы бар релені тез құруға мүмкіндік береді. Соңғы жағдайда магнитті қатты материалдан жасалған магнитті өткізгіш түйіспеге 1 жанасады және басқарушы орамы болады. Сигнал беру кезінде магнит өткізгіш магниттеледі және түйіспелер ажыратылады. Түйіспелер арқылы сигналды шешкеннен кейін түйіспелерге тұйық күйде қалуға мүмкіндік беретін қалдық магнитті ағын өтеді. Оларды ажырату үшін кері полярлық импульсын беру және магнитті өткізгішті магниттеу керек.

Геркон бетінің сенімді түйіспесін алу үшін алтын, родий немесе күмістің жұқа қабатымен жабылады. Түйіспелерді орнату алдында жоғары температура дейін қыздырылады, нәтижесінде олар зиянды тотықтар мен ластанудан босатылады. Түйіспелер қоршаған ортадан окшауланғаны және инертті газ атмосферасында олардың сенімділігін окшаулауы тиіс, $(2 \cdot 108)$ - $(2 \cdot 109)$ коммутация жасаушылар ауадағы



2.10-сурет. Герметикалық түйіспе (геркон):

1, 2 — түйіспелер; 3 — орам; 4 — шыны баллон; I — орам тоғы

қарапайым түйіспелерге қарағанда кемінде екі шамаға жоғары. Өзінің артықшылықтарының арқасында геркондар 10 кВ дейін жоғары кернеу аппараттарында қолданылады. Геркондардың кемшіліктері қабысу кезінде түйіспелердің дірілі, жеткіліксіз соққыға төзімділігі болып табылады. Дірілдің ұзақтығы көптеген жағдайларға тәуелді және 0,3.1,0 мс шегінде ауытқиды.

2.5. Коммутациялық аппараттардағы электр доғасының түзілуі

Тоғы бар тізбекті ажырату және тұйықтау үшін арналған коммутациялық электр аппараттарында бірқатар жағымсыз құбылыстарға әкелетін (газдың иондалуы, токтың кешігуі және басқалары) өтпелі процестер орын алады. Осы құбылыстар нәтижесінде жалынсыз разряд түрінде не доға түрінде әрекет ете алса, газдағы разряд болады.

Коммутация процестерін талдау және есептеу кезінде коммутацияның келесі жалпы заңдарын ескеру қажет:

- индуктивті электр тізбектерінің коммутациясы кезінде тізбек тоғының және магнитті ағынның тербелісімен өзгере алмайды ($di/dt \neq \infty$ және $d\Psi/dt \neq \infty$);

- сыйымдылықты тізбектердің коммутациясы кезінде кернеу мен электр разрядының тербелісі өзгермейді ($dU/dt \neq \infty$, $dQ/dt \neq \infty$).

Доға разряды тек үлкен ток кезінде ғана туындайды. Мысалы, металлдар үшін мұндай ток шамамен 0,5 А құрайды. Электр аппараттарындағы доғаның орталық бөлігінің температурасы 6 000.18 000 К қол жеткізеді, катодтағы ток тығыздығы өте үлкен — 100.1 000 А/мм². Катодтағы кернеудің төмендеуі барлығы 10.20 В құрайды және іс жүзінде токқа тәуелді болмайды.

Доға разрядта үш тән облысты ерекшелеуге болады: катод маңы, доға бағанасының маңайы және анод маңы. Осы аймақтардың әрқайсында иондану және ионсыздандыру онда әрекет ететін жағдайларға байланысты әр түрлі өтеді. Себебі осы үш аймақ арқылы өтетін нәтижелі ток бірдей, олардың әрқайсында зарядтардың қажетті санының туындауын қамтамасыз ететін процестер өтеді.

Катод маңы облысы аса шамалы кеңістікті алады. Оның ұзындығы – әдетте 10-6 м артық емес. Катодтағы электр өрісінің орта кернеулігі 10 В/м жетеді. Катод облысындағы токтың негізгі тасымалдаушылары катодтан шығатын электрондар болып табылады. Катод маңында оң иондармен жасалатын оң көлемді заряд орналасқан. Оң көлемді заряд пен катод арасында катодтан шыққан электрондар қозғалатын электр өрісі туындайды. Электр өрісінің күштері электрондарға әсер етеді және

олардың жылдамдықтарын ұлғайтады. Бейтарап бөлшекпен мұндай электронның соқтығысуы кезінде иондану өтуі мүмкін. Бейтарап атомды иондау үшін электрон белгілі бір энергияға ие болу тиіс.

Иондану үшін жеткілікті $W = U_e e$ (мұндағы e — электронның электр зарядының абсолютті мәні) энергиясын алу үшін электронға салу қажет кернеу U_i (айдаушы кернеу) иондалу потенциалы деп аталады. Газдар үшін бұл әлеует 24,58 В –дан (гелий) 13,8 В (сутегі) ауытқиды. Металл буларының едәуір аз **иондану потенциалы** болады (мысалы, мыс булары үшін ол 7,7 В тең). Оң иондар, электрондар сияқты электр өрісімен айдалады, алайда олармен алынатын жылдамдықтың үлкен массасына байланысты шамалы ғана. Бейтарап бөлшек туралы оң иондар соққысы кезінде электрон соққысына қарағанда энергия аз бөлінеді, сондықтан соққымен иондану негізінен электрондар есебінен өтеді.

Катод маңы аймағындағы аз ұзақтыққа байланысты соққымен иондану үшін жеткілікті жылдамдық алмайды. Көбіне соққыдан кейін атом қозушы күйге өтеді (атом электроны ядродан қашық орбитаға өтеді). Қозғаушы атомның иондануы үшін ең аз энергия талап етіледі. Нәтижесінде, ионданудың қажетті потенциалы азаяды. Мұндай иондану сатылы деп аталады. Сатылы иондану кезінде атом бойынша электрондардың көп есе соққысы қажет, яғни әрбір оң ионның түзілуі үшін ондаған электрондар талап етіледі. Сондықтан катод маңындағы ток оң иондардың болуына қарамастан электронды сипат алады. түзілетін электрондар катод маңында теріс көлемді заряд жасамайды, себебі олардың жылдамдығы ауыр оң иондардың жылдамдығынан едәуір артық. Оң иондар катод кернеуімен құрылатын өрісте тарқатылады және катодты бастырмалатады. Осының арқасында катод температурасы көтеріледі және электрод материалының булану температурасына жетеді. Жоғары температура кезінде күшті дәрежеде электрод температурасына тәуелді катодтың термоэлектронды эмиссия пайда болады. зерттеулер автоэлектронды эмиссия есебінен алынатыны туралы айтады.

Иондардың негізгі көзі термиялық иондалу болып табылады. Үлкен температура кезінде бөлшек жылдамдығы бейтарап атомдағы соққы оның иондалуына әкелетін шамаға дейін өседі. Бөлшек массасы аз болған сайын оның қозғалыс жылдамдығы артық.

Доғада өтетін процестерді талдау газ қысымы артық болған сайын, иондану дәрежесі соғұрлым төмен болатынын көрсетеді. Осыған орай көптеген доға сөндіргіш құрылғыларда доғаны сөндіруге ықпал ететін газдың жоғары қысымы жасалады. Атап өткеніміздей, иондануға температура өте қатты ықпал етеді. Сатылы ионданудан екі атомды газдардың үлкен саны үшін иондардың түзілу процесі 3 000-4 000 К температура кезінде басталады. Осыған орай доға сөндіруші құрылғыларда доға бағанасындағы электродтардың металл буларына түсуіне кедергі келтіретін шараларды қабылдау қажет. Мұндай шараларға сақтанды-

рғыштардың балқығыш ендімесінің қималарын азайту, электродтардың температурасын төмендететін электродтар бойынша доғаның жылжуы, сонымен бірге олардың булануы және басқалары жатады.

Иондану дәрежесі температурамен анықталатындықтан, барлық дерлік доға сөндіруші құрылғыларда доғадан не қозғалмалы ауамен немесе газбен (ауа, май сөндіргіштері) салқындату есебінен не доға сөндіргіш камераның қабырғаларына жылу берілісі есебінен жылу бөлуге ұмтылады.

Ионданумен қатар доғалы бағанада қайта әрекет ету есебінен ионсыздандыру процестері өтеді. **Қайта әрекет ету** – бұл қарама-қарсы таңба зарядтарымен иондардың қосылу нәтижесінде бөлшектердің бейтараптануы. Көлем бірлігінде заряд неғұрлым жоғары болса, қайта әрекет ету соғұрлым күшті болатыны анық. Доғада зарядтардың қайта әрекет ету дәрежесі газ, қысым және температура түріне тәуелді. Температураның төмендеу кезінде қайта әрекет ету дәрежесі қатты өседі.

Бағанада ионсыздандыру диффузия есебінен де өтеді. Доға бағанасындағы зарядталған бөлшектердің саны бөлшектің жылу қозғалыстары салдарынан азаяды, доға бағанасының кедергісі ұлғаяды.

Газ диффузиясының теориясынан бөлшектердің кему жылдамдығы олардың санына пропорционал екені белгілі:

$$\left| \frac{dn}{dt} \right|_d = 2Dn/r^2, \quad (2.10)$$

мұндағы $\left| \frac{dn}{dt} \right|_d$ — диффузия есебінен бөлшектердің кему жылдамдығының абсолютті мәні; D — диффузия коэффициенті; n — бір таңбаның зарядталған бөлшектерінің саны; r — доға радиусы.

Диффузия коэффициенті $D = \lambda v/3$, мұндағы λ — ионның еркі жүрісінің ұзындығы; v — ион қозғалысының орта жылдамдығы. (2.10) өрнегін талдау зарядталған бөлшектердің санының кему жылдамдығы доға радиусының азаюымен өсетінін көрсетеді, сондықтан доға сөндіруші құрылғыларда тар саңылау принципі кеңінен қолданылады (доға жоғары жылу өткізгіштігімен доғары – тірек қабырғаларымен құрылған саңылауында жанады). Доғадағы иондалған процестердің нәтижелерін жиынтықтап жазуға болады:

$$\frac{dn}{dt} = \left| \frac{dn}{dt} \right|_r - \left| \frac{dn}{dt} \right|_p - \left| \frac{dn}{dt} \right|_d, \quad (2.11)$$

мұндағы $\left| \frac{dn}{dt} \right|_p$, $\left| \frac{dn}{dt} \right|_r$ — сәйкесінше қысым айырмасы мен термиялық иондану есебінен зарядтар санының өзгеруінің абсолютті мәндері.

Кедергісі осы ток кезінде өзгеріссіз тұрақты жанатын доға үшін $dn/dt = 0$, яғни динамикалық баланс орын алады: иондалған бөлшектердің өсу жылдамдығы олардың жоғалу жылдамдығына тең. Доғаны сөндіру жағдайында $dn/dt < 0$ болатыны белгілі. Иондану кезінде түзілетін зарядтар саны ионсыздандыру кезінде жоғалатын зарядтар санынан аз. Үлкен токқа өту кезінде алдымен $dn/dt > 0$, одан кейін токтың осы мәніне сәйкес келетін динамикалық баланс ($dn/dt = 0$) белгіленеді.

Елеулі дәрежеде иондану және ионсыздану процестері доғалық аралық температурасымен анықталады. Соңғысы доғада бөлінетін жылу мен доғадан апарылатын жылу мөлшеріне тәуелді.

Доғаның салқындауы сәуле шығару, жылу өткізгіштік және конвекция процестерінің нәтижесінде өтеді.

Сәуле шығару есебінен ауада жанатын ашық доға жағдайында доғада бөлінетін энергияның 15-30 % беріледі. Егер доға жабық доға сөндіргіш құрылғыда жанса, сәуле шығарумен берілетін жылу үлесі аз болады.

Газдың жылу өткізгіштігі есебінен жылуды бұру газ температурасына тәуелді. Сонымен, сутегінің молекуласының 4000 К температура кезінде атомға молекуласының диссоциирленеді. Бұл ретте доғадан жылудың үлкен саны бұрылады. Сырттай бұл процесс жылу өткізгіштіктің шұғыл ұлғаюы сияқты көрінеді. Газдың жылу өткізгіштігі оның мәніне қатты тәуелді. Мысалы, сутегінің орта жылу өткізгіштігі ауаға қарағанда 17 есе артық. Өзге тең жағдайлар кезінде өзінің жоғары жылу өткізгіштігінің арқасында сутегі доға бағанасының тез салқындауына ықпал етеді. Сутегі атмосферасындағы сөндірілген ток ауада сөндірілетін тура сондай қысымға қарағанда 7,5 есе артық.

Трансформаторлық майда доғаның жануы кезінде негізгі бөлігін сутегі құрайтын газдар бөліп, соңғысы ыдырайды. Осы газдың атмосферасында тиімді доға сөндіру өтеді. Кейбір аппараттарда доға магнитті өрістің әрекетімен ауада үлкен жылдамдықпен ауысады, бұл конвекция есебінен доғаның салқындауына әкеледі. Жылу өткізгіштігімен қатыр жылу берілісінің бұл түрі доға үшін басым болып табылады.

Доға бағанасынан электрондар ағыны оң электрод – анодқа ұмтылады. Доғалы разряд кезінде анод электрондарды бейтараптандыратын оң иондарды таратады. Сондықтан анод маңында кернеудің анод маңындағы төмендеуі мен электр өрісі кернеулігінің артуын негіздейтін теріс көлемді заряд құрылады. Анод кернеудің шамалары анод, электрод металы температурасына, токқа тәуелді және 5.10 В құрайды.

Электрондар теріс көлемді зарядпен және анодпен түзілетін өрісте таратылады. Электрондармен алынған энергия анодқа беріледі. Электрондардың үлкен энергиясының арқасында әдетте катод температурасынан жоғары өте жоғары температураға дейін қыздырылады. Электрондардың қуатты ағыны теріс көлемді зарядты құруға қатысатын электрондар анодтан кетеді. Зерттеулер анодтың жоғары температурасы мен анод маңындағы аймақ доғалық разрядтың болу шартына және туындауына елеулі ықпал етпейтінін көрсетті. Анодтың міндеті доғалық бағанадан электронды ағынның қабылдауына әкеледі.

Қатты ағынды доға үшін анод кернеуі оларды ескермейтіндей аз болады.

Доғада кернеудің U , электрлік өрістің $E = dU/dx$ және көлемді зарядтың $\sigma = d^2U/dx^2$ бөлінуі 2.11-суретте берілген. Катодта кернеудің

2.11 сурет. Электр доғасында кернеуді U (а), электр өрісінің кернеулігін E (б) және көлемді зарядтардың σ (в) таралуы

төмендеуі 10 - 20 В құрайды. Ол доға жанатын катод материалына және газ қасиеттеріне тәуелді. Кернеудің катод маңындағы төмендеуі потенциалы едәуір төмен катод металының буларын катод маңындағы кеңістікте болуы есебінен газдың иондалу потенциалы біршама аз.

Доғалық бағана облысында оң және теріс көлемді зарядтар бір-бірінен теңдестіріледі және қорытқы заряд нөлге тең. Доғадағы кернеудің градиенті тұрақты болып қалады.

Ауада еркін жанатын доға үшін ол

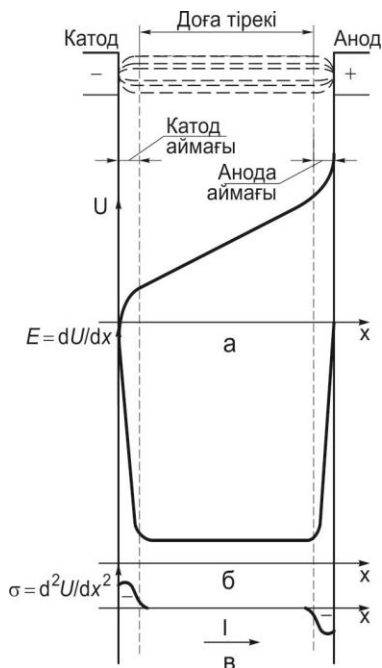
$(2-3) \cdot 10^3$ В/м. Доға сөндіргіш құрылғыларда градиент $(2-3) \cdot 10^4$ В/м жетіп, қатты өседі.

Үлкен ток кезінде анодты кернеу азаяды, онда катод маңындағы кернеу сияқты тұрақты болып қалады.

Кейбір төмен кернеулі аппараттарда доға ұзындығы үлкен емес. Доға бағанасындағы кернеудің төмендеуі катодта және анодта кернеудің төмендеуі сомасымен салыстырғанда аз. Мұндай доғалар **қысқа** деп аталады. Қысқа доғада сөндіру шарттары елеулі дәрежеде электродтарда өтетін процестермен анықталады.

Бұл ретте доғадан электродтардың жылу бұруы үлкен рөл ойнайды.

Жоғары кернеулі аппараттарда доға бағанасында кернеудің құлауы кернеудің электрод маңындағы құлауына қарағанда едәуір артық. Мұндай доғалар ұзын деп аталады. Олардың тіршілік ету шарттары доғаның бағанасында процестермен анықталады. **Ұзын** доғаны қарастыру кезінде электродта кернеудің құлауын елемеге болады.



2.6. Тұрақты ток доғасы

Доғаның маңызды сипаттамасы ондағы ток шамасынан кернеу тәуелділігі болып табылады. Бұл сипаттама **вольт-амперлік** деп аталады. Токтың i өсуімен доға температурасы ұлғаяды, термиялық иондалу

күшейеді, разрядтағы иондалған бөлшектер саны өседі және доғаның электрлік кедергісі гд төмендейді. Доғадағы кернеу $U_a = Igd$. Токты ұлғайту кезінде доға кедергісі доғада кернеу тізбектегі токтың өсуіне қарамастан төмендейтіндей шұғыл азаяды. Белгіленген режимдегі токтың әрбір мәніне зарядталған бөлшектердің санынан өзінің динамикалық балансы сәйкес келеді. Токтың үлкен мәні кезінде туындаған зарядтардың саны ұлғаяды. Алайда бұл ретте жоғалатын зарядтар саны өседі, сондықтан токтың жаңа мәндері кезінде зарядталған бөлшектер санын өзгертудің нәтижелі жылдамдығы нөлге тең.

Токтың бір мәнінен екінші мәніне өту кезінде доғаның жылу күйі тез арада өзгермейді. Доғалық аралық жылу энергиясына ие болады. Егер ток уақыт өте баяу өзгерсе, онда разрядтың жылу инерциясы әсер етпейді. Токтың әрбір мәніне доға кедергісінің немесе ондағы кернеудің бір мағыналы мәні сәйкес келеді.

Оның баяу өзгерісі кезінде токтан доғадағы кернеудің тәуелділігі доғаның **статикалық вольт-амперлік сипаттамасы деп аталады**. Доғаның статикалық сипаттамасы электродтар (доға ұзындығы), электрод материалы және доға жанатын орта параметрі арасындағы қашықтыққа тәуелді. Доғадағы кернеуді U_d кернеудің электрод маңындағы төмендеу U_j және доға бағанасындағы кернеудің төмендеуінің сомасы ретінде қарастыруға болады:

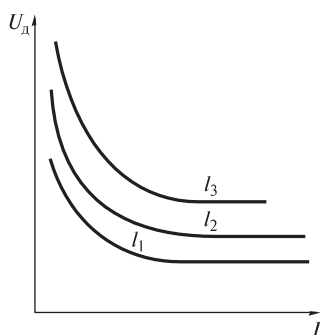
$$U_d = U_j + El, \quad (2.12)$$

мұндағы E — доға бағанасындағы электр өрісінің кернеулігі; l — доға ұзындығы.

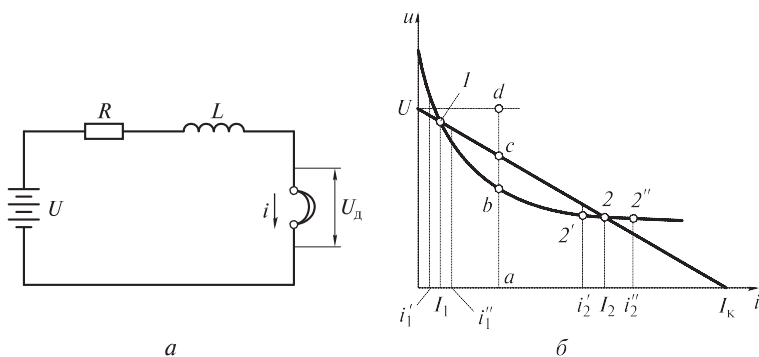
E шамасы доға жанатын шарттарға және токқа тәуелді. Доғаның статикалық вольт-амперлік сипаттамалары 2.12-суретте көрсетілген. Доға ұзындығы артық болған сайын, оның статикалық вольт-амперлік сипаттамасы жоғары табылады. Доға жанатын орта қысымының өсуімен кернеу E ұлғаяды және вольт-амперлік сипаттама-сы көтеріледі.

Доғаны салқындату осы сипаттамаға едәуір әсер етеді. Доғаның салқындауы қарқынды болған сайын, одан қуат көп бөлінеді. Бұл ретте доғамен бөлінетін қуат өсуі тиіс. Берілген токта бұл доғадағы кернеудің ұлғаюы есебінен мүмкін. Осылайша, салқындаудың өсуімен вольт-амперлік сипаттама көтеріледі. Осы арқылы аппараттардың доға сөндіруші құрылғыларын кең қолданады.

Схемасы өзгеріссіз ұзындығы болатын



2.12-сурет. Оның алуан түрлі ұзындығы кезінде доғаның вольт-амперлік сипаттамалары ($l_3 > l_2 > l_1$)



2.13-сурет. Доғамен электр тізбегіндегі кернеу балансы:

a — тізбек схемасы; *б* — доғаның вольт-амперлік сипаттамасы және түзу $U - iR$

доға болғанда 2.13, *a*-суретте келтірілген тізбектегі кернеу балансын қарастырамыз. Оны келесі түрде жазуға болады:

$$U = iR + L di/dt + U_d. \quad (2.13)$$

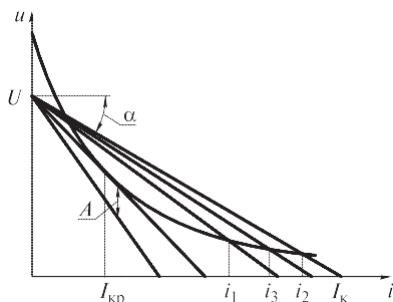
Стационарлық режимде тізбектегі ток өзгермейтіндей болатыны белгілі, яғни $di/dt = 0$. 2.13, *б*-суретте доғаның вольт-амперлік сипаттамасымен бірге көлбеу түзу $U - iR$ салынған.

Схема масштабында *ab* кесіндінің *i* тоғы болғанда доғадағы кернеуге, *cd* кесіндісі — *R* резисторындағы кернеудің төмендеуіне, тең, *cd* кесіндісі $L di/dt$ шамасына сәйкес келеді. 1 және 2 нүктелерінде $L di/dt = 0$. Осы нүктелерде стационарлық режим ықтимал.

Осы нүктесінің маңындағы кернеудің тепе-теңдігін толығырақ қарастырамыз. Егер қандайда бір себептер бойынша қуат көзінің кернеуі U' мәніне дейін төмендесе, онда тепе-теңдік күйіндегі нүкте 2 2'-ге өтеді; бұл ретте ток шамасы $U' - iR$ түзумен вольт-амперлік сипаттаманың қиылысымен анықталатын i_2' мәнге дейін азаяды (2.13, *б*-суретте көрсетілмеген). Енді қуат көзінің кернеуі бұрынғы мәніне U дейін қалпына келтіріледі делік, i_2' ток кезінде шама $U - iR > U_d$, сондықтан $L di/dt > 0$. Осылайша, орауыштағы i_2 ток кезінде индуктивтілік тоқты ұлғайтатын $L di/dt$ оң кернеу туындайды (туынды уақыт келе өспелі шамада оң). Процесс $L di/dt$ кернеу нөлге тең болғанша, яғни біз 2 нүктесіне түскенше жалғасатын болады. Егер қандайда бір себептермен, мысалы қуат көзі кернеуінің өсуіне байланысты ток $i_2'' > I_2$ тең болса, осыдан кейін қуат көзінің кернеуі ескі мәніне U оралады, онда индуктивтілік орауышында $L di/dt < 0$ кернеуі туындайды. Бұл ретте ток i_2'' ток i_2 тең болғанша азаяды. Нүкте 2 тұрақты тепе-теңдік нүктесі болып табылады: одан шыққан кезде осы нүктеге сәйкес келетін күйдегі тізбек оралатын процестер туындайды.

Енді нүкте 1 маңындағы токтың өзгеру процесін қарастырамыз.

2.14-сурет. Түрлі кедергілер R кезінде (түрлі α бұрыштарында) және доғаның болуы кезінде (A кесіндісі $DU = Ldi/dt < 0$ сәйкес келеді) тізбектегі ток



Тізбектегі ток $i_1' < I_1$ тең болсын делік. Бұл жағдайда индуктивтілік орауышында $Ldi/dt < 0$ кернеуі туындайтыны және тізбектегі ток доға сөнгенше кемитіні белгілі. Егер тізбектегі ток $i_1' > I_1$ тең болса, $Ldi/dt > 0$ кернеуі туындайды. Ток i_2 мәніне дейін өседі. Осылайша, нүкте 1 тұрақсыз тепе-теңдік нүктесі болып табылады: одан шыққан кезде тізбектегі ток не I_2 , не нөлге тең болады (доға сөнеді).

Электр аппараттарын құру кезінде доға барынша қысқа уақытта сөнетіндей барлық шараларды қабылдайды. Токтың барлық мәндерінде доғаны сөндіру үшін кернеу Ldi/dt нөлден аз болуы тиіс. Осы шарттарды орындау үшін, төмендегі болуы тиіс

$$U_d > U - IR. \quad (2.14)$$

Бұл не вольт-амперлік сипаттаманы көтеру есебінен не тізбектегі кедергіні ұлғайту есебінен болуы мүмкін.

Доғаның вольт-амперлік сипаттамасы доғаның ұзындығын ұлғайту, қарқынды салқындату, доға жанатын орта қысымын арттыру жолымен көтерілуі мүмкін. Тұйық түйіспе кезінде доға болмайды және тізбектегі ток $I_k = U/R$. Түйіспелердің ажырауы кезінде олардың арасында I_2 тоғы бар доға туындайды. Егер доға ұзындығы және қуат көзі өзгеріссіз болса, онда тізбек кедергісін ұлғайту кезінде ондағы ток i_2 мәнінен i_{kp} мәніне дейін азаятын болады (2.14-сурет). Кедергінің одан әрі өсуі кезінде $U_d > U - iR$ теңсіздігі сақталады, яғни доғаны сөндіру үшін жағдай жасалады. Егер тізбек тоғының I_k өзгеріссіз мәні кезінде қуат көзінің кернеуін U арттыру немесе кернеудің U өзгеріссіз мәні кезінде тізбек тоғын I_k ұлғайтса, онда түзу $U - IR$ жоғарыдан өтетін болады.

Сонда доғаны сөндіру шарттарын сақтау үшін (2.14) доғаның вольт-амперлік сипаттамасын көтеру қажет. Осылайша, сөндірілетін токтың және қуат көзі кернеуінің өсуімен сөндіру шарттары қиындайылады.

2.14-суретті талдау кедергінің R өзгеру есебінен кемінде I_{kp} ток кезінде статистикалық сипаттаманы шешуге болатынын көрсетті. Аз токтар кезінде осы тәуелділікті шешу үшін жеткізу кернеуін ұлғайту қажет. Доғаның жану t_d ұзындығын анықтаймыз. $\Delta U = |Ldi/dt|$ деп белгілейміз. Біріктіруді жасап, аламыз

$$t_{\text{д}} = L \int_{\text{ж}}^0 \frac{di}{\Delta U},$$

Осылайша, ΔU артық болған сайын, өте қалаулы болып табылатын доғаның жану ұзындығы аз болады. Алайда ΔU ұлғаюы доғаны сөндіру сәтінде түйіспедегі кернеудің өсуіне әкеледі.

$i = 0$ сәтінде түйіспедегі кернеу доғаны сөндіру кернеуі деп аталады. $i = 0$ болғанда (2.13) теңдеуі келесі түрді қабылдайды

$$U = L di/dt + U_{\text{гаш}}. \quad (2.15)$$

Бұл жерден

$$U_{\text{гаш}} = U - L di/dt. \quad (2.16)$$

Алайда $L di/dt < 0$ болғандықтан, онда былай жазуға болады

$$U_{\text{гаш}} = U + |L di/dt|.$$

Осылайша, доғаны сөндіру сәтінде түйіспедегі кернеу индуктивтілік орауышындағы кернеу модулі плюс жеткізу кернеуіне тең. Қуат көзінің кернеуіне қатысты түйіспелерде кернеудің **ұлғаюы ток** кернеуінің ұлғаюы деп аталады. Индуктивтілік және токтың құлау жылдамдығы неғұрлым көп болған сайын, соғұрлым ток кернеуінің ұлғаюы артық болады.

Токтың төмендеу жылдамдығы di/dt оның ионсыздандыру жылдамдығына тәуелді. Сондықтан секундтың жүзінші үлесінде тұрақты токтың тізбегін сөндіретін тез әрекет ететін аппараттарда үлкен ток кернеуінің ұлғаюы туындауы мүмкін.

Токтың төмендеу жылдамдығына тізбектің индуктивтілігі ықпал етеді. Оның шамасы неғұрлым артық болса, соғұрлым өзге тең жағдайлар кезінде токтың төмендеу жылдамдығы аз болады. Ток кернеуінің ұлғаюы токтың күшею коэффициентімен сипатталады:

$$k = U_{\text{гаш}}/U = 1 + |L di/dt|/U. \quad (2.17)$$

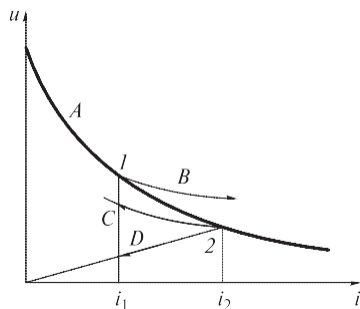
Түйіспеде туындайтын кернеу қуат көзінің кернеуін ондаған есе арттыра алады. Бұл ретте оқшаулау аппараттың өзі және олармен сөндірілетін тізбек сияқты қауіпті токтың күшеюіне ұшырайды. Доғаның жану ұзақтығын азайту үшін барлық токтарда $L di/dt$ мәндері үлкен болғаны жөн. Сол уақытта токтың күшеюінің доға сөндіруші құрылғысында нөлге жуық токтар кезінде үлкен ток және кіші ток болғанда $L di/dt$ үлкен мәндерінің болуына ұмтылады. Егер тізбектегі ток баяу өзгерсе, онда i_1 тоғына r_1 кедергі сәйкес келеді, ал үлкен токқа i_2 аз кедергі r_2 сәйкес келеді (доға – қисықтың A статистикалық сипаттамасын 2.15-суреттен қараңыз). Электр қондырғыларында ток жеткілікті тез ауысады. Доға бағанасының жылу инерциясының салдарынан доға кедергісінің өзгеруі токтың өзгеруінен артта қалады. Оның тез өзгеруі кезінде токтан доғадағы кернеудің тәуелділігі доғаның **динамикалық вольт-амперлік сипаттамасы деп аталады**. Токтың өсуі кезінде динамикалық

сипаттама статистикалықтан жоғары жүреді (2.15-суреттегі В қисығы), себебі токтың тез өсуі кезінде доға кедергісі токтың өсуіне қарағанда баяу түседі. Токтың азаюы кезінде динамикалық сипаттама төмен жүреді (2.15-суреттегі С қисығы), себебі бұл режимде доға кедергісі токтың баяу өзгеруіне қарағанда аз.

Динамикалық сипаттама доғадағы токтың өзгеру жылдамдығымен елеулі дәрежеде анықталады. Егер тізбекке доғаның тұрақты жылу уақытымен салыстырғанда шексіз аз уақыт ішінде өте үлкен кедергіні енгізсе, онда нөлге дейін токтың төмендеу уақытында доға кедергісі тұрақты болып қалады. Бұл жағдайда динамикалық сипаттама координата басындағы (түзу D) 2 нүктеден жүретін түзу сызықтан тұрады, яғни доға өзін металл өткізгіш ретінде ұстайды, себебі доғадағы кернеу токқа пропорционал.

Шынайы аппаратта түйіспелердің ажырауынан кейін олардың арасындағы қашықтық өзгереді, яғни доғаның өзгермелі ұзындығы болады. Доғаның ұзындығын ұлғайту шамасы бойынша ток сыни мәнге I қол жеткізгенше түзумен $U - iR$ тез өзгермелі статистикалық сипаттамалардың қиылысу нүктелеріне сәйкес келетін мәндерді қабылдайды. Доға ұзындығын одан әрі ұлғайту кезінде оны сөндіру шарттары басталады. Статикалық сипаттамасы $U - iR$ түзуге қатысты доғаның ұзындығы доғаның *сыни ұзындығы деп аталады*. Осы ұзындыққа қол жеткізгеннен кейін ток нөлге дейін тез азаяды, доға сөнеді. Үлкен индуктивтілікпен тізбектегі токтың төмендеуі баяулайды, доғаның вольт-амперлік сипаттамасы түйіспелердің ажырауынан кейін бірден $U - iR$ түзуден жоғары көтеріледі. Доғаны сөндіру сәтінде үлкен токтың күшеюі болуы мүмкін.

Тәжірибе нәтижелері доға сөндіруші құрылғылары бар барлық аппараттар үшін қуат көзінен доғаға түсетін энергия доға энергиясының барлық 3-5 % құрайды. Қалған бөлігі (97-95 %) сөндірілетін контурдың электромагнитті энергиясына келеді. Доғада бөлінетін энергия ішінара



2.15-сурет. Статистикалық және динамикалық вольт-амперлік сипаттамалар

разряд температурасына кетеді, ішінара қоршаған кеңістікке беріледі. Доғаны сөндіру үшін разряд температурасы азаюы қажет, яғни доғаның энергетикалық балансы теріс болуы үшін: доғаға әкелінетін энергия мөлшері одан бұрылатын жылу мөлшерінен аз болуы тиіс.

Үлкен индуктивтілікпен тізбекті сөндіру кезінде доғада ерекшеленетін контурдың электромагнитті энергиясын салқындату есебінен одан бұру қажет. Тізбектің индуктивтілігі мен сөндірілетін ток неғұрлым артық болса, соғұрлым тізбекті сөндіру қиын.

2.7. Магнитті өрістегі электр доғасы

Электр доғасы токтың газ тәрізді өткізгіші болып табылады. Бұл өткізгіште металл өткізгіш сияқты өрістің индукциясына және доғадағы токқа пропорционал күшті жасап магнитті өріс әрекет етеді. Магнитті өріс доғаға әрекет ете отырып, оның ұзындығын ұлғайтады және доға элементтерінің кеңістікте орналастырады. Доға элементтерінің көлденең жылжуы доға бағанасындағы кернеудің градиентіне әкелетін интенси́вті салқындау құрады.

Газ ортасында доғаның үлкен жылдамдықпен қозғалысы кезінде жеке параллель талшыққа доғаның қабаттасуы туындайды. Доға неғұрлым ұзын болған сайын, оның қабатталуы соғұрлым күшті өтеді.

Доға өте қозғалмалы өткізгіш болып табылады. Ток өткізгіш бөлікке әсер ететін күштер контурдың электромагнитті энергиясын ұлғайтуға ұмтылатыны белгілі. Энергия индуктивтілікке пропорционал болғандықтан, онда доға жеке өрістің әрекетімен тармақты, ілмекті түзуге ұмтылады, себебі бұл ретте тізбектің индуктивтілігі артады. Доғаның көрсетілген қабілеті күшті көрінсе, соғұрлым оның ұзындығына артық.

Ауада қозғалатын доға доға диаметріне, электродтар арасындағы қашықтыққа, газ тығыздығына және қозғалыс жылдамдығына байланысты ауаның аэродинамикалық кедергісін жеңіп шығады. Тәжірибе барлық жағдайда тіркелкі магнитті өрісте доға тұрақты жылдамдықпен қозғалатынын көрсетеді. Сондықтан, электродинамикалық күштер аэродинамикалық кедергінің күшімен теңдестіріледі. Тиімді салқындауды құру үшін доға магнитті өріс көмегімен жоғары жылу өткізгіштікке ие ыстыққа төзімді материалдан жасалған қабырғалары арасында тар саңылауға (доға диаметрі саңылау енінен артық) тартылатындай жасалады. Саңылау қабырғаларына жылу берілісін ұлғайтуға байланысты доға бағанасындағы кернеу градиенті электродтар арасында еркін жылжитын доғаға қарағанда едәуір жоғары. Бұл сөндіру үшін қажетті доға ұзындығы мен сөндіру уақытын қысқартуға мүмкіндігін береді.

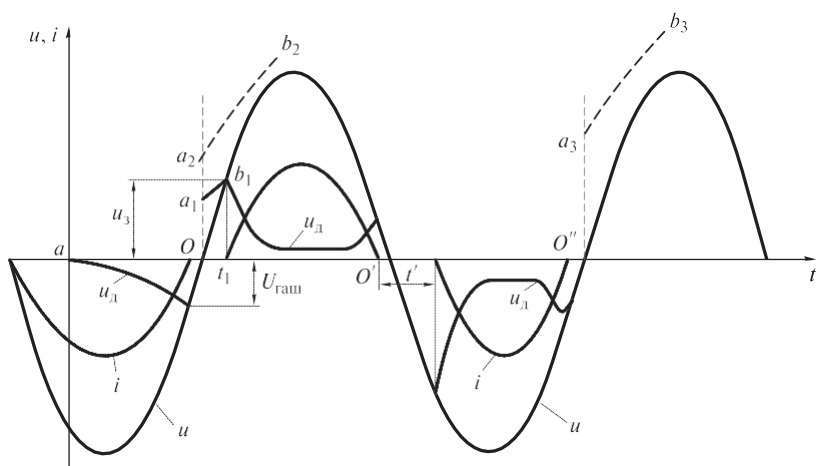
2.8. Белсенді тізбекті сөндіру кезінде айнымалы ток доғасын жағу және сөндіру процестері

$\cos\varphi \approx 1$ тізбекті қарастырамыз. Аппарат түйіспелері t уақыт осінде a нүктесіне сәйкес келетін сәтте ажырады делік (2.16-сурет). Түйіспелер арасында доға жанады. Кезеңнің жартысының соңында i токтың азаюынан және доға сөндіргіш құрылғының әсерінен доға аралығының кедергілері мен ид доғадағы кернеудің көтерілуі байқалады. i токтың нөлге келуі кезінде (t осіндегі O нүкте) доғаға аз қуат келеді, оның температурасы азаяды, бұл бір жағынан термиялық ионданудың баяулауына әкеледі, ал екінші жағынан ионсыздануға ықпал етеді. Мұның барлығы доғаны сөндіруге әкеледі.

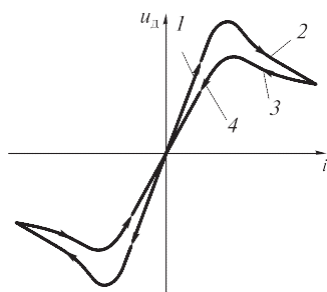
Доға сөнетін кернеу *кернеу, немесе шек, сөндіру* $U_{\text{гаш}}$ деп аталады. Жартылай кезеңнің соңына кернеудің шұғыл көтерілуі тізбектегі токтың нөл арқылы өзінің табиғи өтуіне дейін үзілуіне әкеледі. Доғаны сөндіргеннен кейін доға аралығы тез арада окшаулаушыға айналмайды, себебі температура нөлге дейін төмендемейді. Доғаны сөндіру процесінде доға аралығы облысындағы зарядталған бөлшектер саны азаяды, доғаны сөндіргеннен кейін аралық кедергісі күрт өседі.

Бұл ретте аралықтың электрлік беріктігі, яғни оның электрлік бұзылуы өтетін кернеу өседі. Кернеу нөл арқылы өткеннен кейін қуат көзінің кернеуі таңбаны өзгертеді және синусоидтар заңы бойынша өсе бастайды.

Аралықтың электрлік беріктігі нөлден емес, a_1 нүктесіне сәйкес келетін мәндермен өседі (аралықтың бастапқы беріктігі). Бастапқы берік-



2.16-сурет. Айнымалы токтың белсенді тізбегін сөндіру процесін сипаттайтын қисықтар



2.17-сурет. Айнымалы ток кезінде доғаның вольт-амперлік сипаттамасы

тік және беріктіктің одан әрі өсуі доға сөндіретін құрылғының қасиеттеріне тәуелді: ол неғұрлым тиімді әрекет етсе, соғұрлым бастапқы беріктігі артық және соғұрлым электрлік беріктіктің өсуі ірі.

Аралықтың электрлік беріктігін қалпына келтіруге $a_1 b_1$ қисығы сәйкес келетін жағдайды қарастырамыз. t_1 сәтінде аралықтағы кернеу қисығы беріктік қисығын қиып өтеді. Осы нүктеде доға қайтадан жаңады. **Кернеу U_3 тұтану кернеуі** деп аталады. Синусоидтың жартылай толқындарының бірінші жартысындағы ток өсетіндіктен, доғадағы кернеу азаяды.

Ең жоғары мәндегі токтан өткеннен кейін доғадағы кернеу өседі, себебі ток азаяды. Осылайша доғадағы кернеу ершік тәрізді пішін алады. Күшті термиялық иондануға байланысты үлкен токтар кезінде доғаның жануының барлық жартылай кезеңінде кернеу өзгермейді. Тек жартылай кезеңнің басында және соңында тұтану және сөндіру шектері пайда болады.

О' нүктесінде доға қайтадан сөнөді және алдында сипатталғанға ұқсас процестер өтеді. Токтың нөлге келу сәтінде (O' нүктесінде)

доғаның токсыз үзіліс соңында t_1 температурамен салыстырғанда өте жоғары температурасы болады. Сондықтан доғаны сөндіру шегі тұтандыру шегінен үнемі аз.

Уақыт өсіне O' нүктесі сәйкес келетін сәтте түйіспелердің ажырау салдарынан доға ұзындығы өседі, бұл ретте доға сөндіруші құрылғының әсерінен қарқындылық ұлғаяды (жылудың өте тиімді бұрылуы). Нәтижесінде аралықтың бастапқы беріктігі және доғаның осы сөндіру интервалында оның өсу құламалығы алдыңғыға қарағанда артық, сондықтан токсыз үзіліс $t_1' > t_1$.

Алайда соңғы сөндіру сәтінде O' де доға қайтадан жаңады. Доғаның өспелі ұзындығына байланысты түйіспелердің ажырау салдарынан доғадағы кернеу осы жартылай кезеңде алдыңғыға қарағанда жоғары. Соңғы сөну O'' нүктесінде өтеді.

Аралықтың электрлік беріктігінің өсуіне $a_2 b_2$ қисығы сәйкес келетін жағдайда, доғаны сөндіру нөл арқылы токтың бірінші өтуі кезінде өтеді.

Тіпті 50 Гц жиілік кезінде доғадағы ток жеткілікті тез өзгертіндіктен, біз динамикалық вольт-амперлік сипаттамамен айналысамыз (2.17-сурет). 1 және 2 учаскелер жартылай кезеңнің бірінші жартысына, 3 және 4 — екінші жартысына жатады.

Бақылау сұрақтары

1. Электр түйіспелері дегеніміз не?
2. Түйіспелердің деформациясы электрлік өтпелі кедергіге қалай әсер етеді?
3. Электр аппараттарында түйіспелердің қандай типтері қолданылады?
4. Түйіспе температурасы неге тәуелді және олардың жұмысына қалай әсер етеді?
5. Электр түйіспелерінің жұмыс режимін және олардың сипаттамаларын атаңыз.
6. Электр аппараттарында түйіспелердің тозуы немен негізделген?
7. Электр түйіспелерін дайындау үшін қандай материалдар қолданылады және неліктен?
8. Коммутациялық аппараттардағы электр доғасының түзілуі немен негізделеді?
9. Түйіспелердің жұмысына электр доғасы қалай әсер етеді?
10. Доғаны сөндіру кернеуі қандай кернеу деп аталады және ол қалай анықталады?
11. Түйіспелер жұмысына электр доғасының зиянды ықпалын төмендету тәсілдерін атаңыз.

2.17-сурет. Айнымалы ток кезінде доғаның вольт-амперлік сипаттамасы

ЭЛЕКТР АППАРАТТАРЫНДАҒЫ ЖЫЛУ ПРОЦЕСТЕРІ

3.1. Электрлік және магнитті тізбектердегі шығындар

Электр аппараттарында жұмыс істеу кезінде олармен тұтынылатын энергияның бөлігі жылу түрінде таралып, пайдасыз шығындалады. Шығындалған энергияны сипаттайтын қуат қуат шығындары немесе жай *шығындар* деп аталады.

Электр аппараттарындағы шығындар негізгі және қосымша болып бөлінеді. Негізгі шығындар аппаратурада өтетін электрмагнитті және механикалық процестердің нәтижесінде туындайды, ал қосымша шығындар шашырау, қыздыру және т.б, құбылыстармен негізделеді. Негізгі шығындар электрлік, механикалық және магнитті (соңғысы болаттағы шығындар деп айтылады) деп бөлінеді.

Механикалық шығындар $P_{\text{мех}}$ қозғалмалы бөліктердегі шығыннан және электр аппараттарының вентиляциясымен байланысты вентиляциялық шығындардан тұрады. Бірқатар жағдайларда электр аппаратурасы ауамен емес, ал тұтқыр ортамен салқындатылады және сәйкес шығындар да вентиляциялық шығындарға жатады.

Вентиляция шығындары $P_{\text{вент}}$ аппараттың құрылымына және вентиляция түріне тәуелді. Егер вентиляция аппаратқа кіріктірілме емес, ал жеке тұрған вентилятормен жүзеге асырылса, онда вентиляция шығындары вентилятор жетегімен тұтынылатын қуаттан тұрады.

Кіріктірілме орталықтан тепкіш вентиляторы бар өздігінен желдетілетін аппараттарда ваттағы (Вт) вентиляция шығындары кейде эмпирилік формула бойынша жуықтап есептелінеді

$$P_{\text{вент}} = 1,75 Q v^2, \quad (3.1)$$

мұндағы Q — аппарат арқылы айдалатын ауа мөлшері, $\text{м}^3/\text{с}$; v — олардың сыртқы диаметрі бойынша вентиляциялық қанаттарының сызықтық жылдамдығы, $\text{м}/\text{с}$.

Q — да v -ге пропорционал болғандықтан, онда (3.1) — өрнегінен шығындар $P_{\text{вент}}$ үшінші дәрежелі айналу жиілігіне пропорционал екені шығады.

Магнитті шығындар $P_{\text{мг}}$ белсенді болатты магниттеуден туындайтын гистерезистегі шығындардан және тармақты токтағы шығындардан

тұрады. Осы шығындарды есептеу үшін білік әрқайсысында магнитті индукция тұрақты бөліктерге бөлінеді.

Магнитті шығындарға да негізгі ағыннан (поллюс ағындары) тәуелді шығындар жатады және біліктердің тісті құрылымымен туындайды.

Электр шығындарына $P_{эл}$ орамдағы (мыстағы шығындар деп атала-тын), реттелмелі реостаттардағы және қозғалмалы түйіспелердің өтпелі кедергісіндегі шығындар жатады.

Әрбір орамдағы электр шығындары $P_{эл.об} = I^2 R$ формуласы бойын-ша есептеледі. Орам кедергісі оның температурасына байланысты. Сондықтан 75 °C есептеу температурасы кезінде орамдағы шығынды анықтау А, Е, В орамдарын окшаулау кластары үшін және 115 °C —F және Н кластары үшін арналған.

Орамдағы шығындарды орамдағы ток тығыздығы j және орам мас-сасы (окшаулаусыз) G арқылы көрсетуге болады. Шынымен де,

$$P_{эл.об} = I^2 R = I^2 \frac{\rho l}{S} = \left(\frac{I}{S} \right)^2 \frac{\rho l \gamma S}{\gamma},$$

мұндағы ρ — өткізгіш материалының шекті кедергісі; I — орамдар өт-кізгішінің жалпы ұзындығы; S — өткізгіш қимасының ауданы; γ — өт-кізгіш материалының тығыздығы.

$(I/S)^2 = j^2$ және $lS\gamma = G$ болғандықтан, онда $P_{эл.об} = (\rho/\gamma) j^2 G$.

Мысалы, мыс үшін $\gamma = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, және 75 °C температура кезін-де $\rho = (1/46) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Егер ток тығыздығын $j \text{ А/мм}^2$ —де өрнектесек, онда аламыз

$$P_{эл.об} = 2,44 j^2 G. \quad (3.2)$$

Осылайша, (3.2)-формуласы 75 °C температура кезінде және $j, \text{ А/мм}^2$ тығыздығы кезінде массасы $G, \text{ кг}$ мыс орамында ваттағы шығындар анықталады.

Жиынтық, немесе толық, шығындар P_{Σ} барлық шығындардың сома-сын көрсетеді:

$$P_{\Sigma} = P_{мех} + P_{мг} + P_{эл} + P_{доб}, \quad (3.3)$$

3.2. Электр аппаратының пайдалы әсерінің коэффициенті

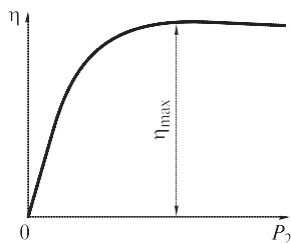
Пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) пайдалы немесе берілетін қу-атқа P_2 тұтынылатын қуаттың P_1 қатынасы ретінде анықталады:

$$\eta = P_2 / P_1, \quad (3.4)$$

немесе (пайызбен)

$$\eta(\%) = (P_2 / P_1) 100. \quad (3.5)$$

3.1-сурет. Пайдалы әсер коэффициентінің кернеуге (пайдалы қуатқа P_2) тәуелділігі



Заманауи электр аппараттарының жоғары ПӘК болады. Қуаты мыңдаған киловольт-ампер трансформаторларда ПӘК 98- 99 % құрайды. Тек аз қуатты электр аппараттарында салыстырмалы төмен ПӘК болады. Қуаты 100 Вт дейін қуаты аз электр аппараттарында ол 30.40 % құрайды.

Қисық $\eta = f(P_2)$ алдымен кернеудің ұлғаюымен жоғары тез жүреді, одан кейін ПӘК ең жоғары мәнге жетеді (әдетте номиналдыға жуық кернеу кезінде) және үлкен кернеу кезінде азаяды (3.1-сурет). Соңғысы шығынның жеке түрлерінің (электр және қосымша) пайдалы қуатқа қарағанда тезірек өсетінімен түсіндіріледі.

ПӘК анықтаудың тура және жанама әдістері қолданылады. (3.5) формулаға сәйкес P_1 және P_2 эксперименттік мәндері бойынша ПӘК анықтаудың тура әдісінде елеулі қателік жіберіледі. Бұл P_1 және P_2 жуық шамалар болып табылатынымен және оларды эксперименталды анықтау кезінде қателікке жол бермеу мүмкін еместігімен негізделеді. Механикалық қуатты өлшеу өте үлкен қиындық туғызады (алынған нәтижесінің қателігі өте жоғары).

Сондықтан с η (%) > 70 % аппараттары үшін мемлекеттік стандарт эксперименттік деректері бойынша шығын сомасы P_Σ табылатын ПӘК анықтаудың жанама әдісін қолдануға ұсыныс жасайды.

(3.4) формулаға қойып $P_2 = P_1 - P_\Sigma$, аламыз

$$\eta = 1 - P_\Sigma / P_1. \quad (3.6)$$

$P_1 = P_2 + P_\Sigma$ алмастырып қоюды қолданып, формуланың басқа түрін аламыз:

$$\eta = 1 - P_\Sigma / (P_2 + P_\Sigma). \quad (3.7)$$

Жеке шығынды және шығын сомасын P_Σ эксперименттік анықтау әдістері электр аппараттарының стандарттарында және оларды зерттеу және сынау бойынша нұсқаулықтарда сипатталады. Егер P_1 немесе P_2 қарағанда тіпті P_Σ едәуір аз дәлдікпен анықталса, (3.4) өрнегінің орнына (3.6) және (3.7) формулаларын қолдану кезінде ең дәл нәтижелер алынады.

3.3. Электр аппараттарындағы жылу берілісі

Энергия шығындары электр аппараттарының бөліктерінің қызуы мен жылу бөлінісін тудырады. Қыздырылған бөліктерден жылудың қоршаған ортаға берілуі жылу өткізгіштік, сәуле шығару және конвекция жолымен өтеді.

Электр аппараттарында жылу өткізгіштік жолымен жылу берілісі ең бастысы қатты заттардың (мыс, болат, оқшаулаушы) ішінде өтеді, сол уақытта газда (ауа, сутегі) және сұйықта (май, су) конвекциямен жылу берілісі болады.

Егер екі параллель бетінің әрқайсының (мысалы, орамның және біліктің мыстары) ауданы S тең болса және сәйкесінше бірінші және екінші беттерінің T_{t1} және температуралары тұрақты болса, онда, осы беттер арасында орта арқылы (аталмыш жағдайда — оқшаулау арқылы) уақыт бірлігіне жылу мөлшері беріледі

$$Q = \lambda_{np} S (T_{t1} - T_{t2}) / \delta, \quad (3.8)$$

мұндағы λ_{np} — 1 К температураның айырмасы (1°C айырмасына эквивалентті) ұзындық бірлігіне тең беттері арасындағы қашықтық кезінде аудан бірлігі арқылы берілетін жылу мөлшеріне сандық тең аралық ортаның жылу өткізгіштік коэффициенті; δ — беттері арасындағы қашықтық.

Металдардың жылу өткізгіштігі жеткілікті зор. Мысалы, мыс үшін $\lambda_{np} = 385 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м})$, ал электртехникалық болат үшін $\lambda_{np} = 20\text{--}45 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м})$. Электр оқшаулаушы материалдардың жылу өткізгіштігі керісінше аз. Себебі А класын оқшаулау үшін $\lambda_{np} = 0,10\text{--}0,13 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м})$, ал В класын оқшаулау үшін $\lambda_{np} = 0,15\text{--}0,20 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м})$. Электр аппараттарының орамдары оқшаулауда температураның осы айырмасының салдарынан елеулі алынады, бұл орамның салқындатуын қиындатады және кернеу тоғы мен оның тығыздығын шектейді.

А класты оқшаулаушы бар аппараттар үшін келесі параметрлер тән: жіктік оқшаулау қалыңдығы $\delta = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, бұйым бетінің 1 м^2 жылу ағыны $q = Q/S = 2500 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Егер $\lambda_p = 0,125 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м})$ қабылдасақ, онда (3.8) өрнегіне сәйкес көрсетілген параметрлер кезінде оқшауламадағы температура айырмасы

$$\theta_{из} = T_{t1} - T_{t2} = Q \delta \lambda_{np} = q \delta \lambda_{np} = 2500 \cdot 5 \cdot 10^{-4} / 0,125 = 10^\circ\text{C}.$$

Абсолютті кара зат үшін сәуле шығарумен жылу берілісі кезінде Стефан-Больцманның заңы әрекет етеді:

$$q_{лч} = \alpha_{лч} (T_{t1A}^4 - T_{t2A}^4), \quad (3.9)$$

мұндағы $q_{лч}$ — уақыт бірлігіндегі зат бетінің бірлігімен шығарылатын жылу мөлшері; $\alpha_{лч}$ — сәуле шығару коэффициенті; T_{t1A} , T_{t2A} —

сәйкесінше сәуле шығаратын бетінің және қоршаған ортаның абсолютті температурасы.

Тәжірибелі деректерге сәйкес абсолютты қара зат үшін $\alpha_{\text{лч}} = 5,65 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(К}^4\text{- м}^2\text{)}$. Шынайы заттардың беттері үшін, мысалы, оқшауламамен лакталған шойын және болат беттері үшін $\alpha_{\text{лч}}$ 3-10 %-ға азаяды.

Тәжірибелік мақсаттар үшін (3.9) өрнегін түрлендіруге болады:

$$T_{1A}^4 - T_{2A}^4 = (T_{1A}^3 - T_{2A}^3)(T_{1A}^2 + T_{1A}T_{2A} + T_{2A}^2)(T_{1A}^2 + T_{1A}T_{2A} + T_{2A}^2). \quad (3.10)$$

Электр аппараттары үшін $T_{1A} = 273 + T_{t1}$ және $T_{2A} = 273 + T_{t2}$ үлкен емес шектерде өзгереді, сондықтан (3.10) өрнегінің оң жағындағы екінші көбейткіш салыстырмалы аз өзгереді. Бірінші көбейткіш $T_{1A} - T_{2A} = \theta$ қоршаған ортаның температурасынан зат температурасының артуын көрсетеді. Сондықтан (3.9) формуланы келесі түрде жазуға болады:

$$q_{\text{лч}} = \lambda_{\text{лч}} \theta, \quad (3.11)$$

мұндағы $\lambda_{\text{лч}}$ — 1 К температураның артуы кезінде бетінің бірлігінен уақыт бірлігіне сәуле шығаратын жылу мөлшеріне тең сәуле шығарудың түрлендірілген коэффициенті (орта есеппен электр аппараттары үшін $\lambda_{\text{лч}} = 6 \text{ Вт/(К- м}^2\text{)}$).

Уақыт бірлігіндегі S бетінен сәуле шығаратын жылудың толық мөлшері,

$$Q_{\text{лч}} = \lambda_{\text{лч}} S \theta. \quad (3.12)$$

Қыздырылған затпен жанасатын сұйық немесе газ бөлшектері қыздырылады, жеңіл болады және осының салдарынан өз орнын өз кезегінде жоғарыға көтерілген әлі қыздырылмаған басқа бөлшектерге беріп жоғары көтеріледі. Бұл құбылыс арнайы әдістермен, мысалы вентилятор көмегімен ауамен салқындатылатын беттерін үрлеу жолымен құрылатын табиғи конвекция деп аталады.

Алдымен табиғи конвекцияны қарастырамыз. Бет бірлігінен уақыт бірлігіне конвекциямен бұрылатын жылу мөлшері

$$q_{\text{кв}} = \lambda_{\text{кв}} \theta, \quad (3.13)$$

ал бетінің ауданымен S —

$$Q_{\text{кв}} = \lambda_{\text{кв}} S \theta, \quad (3.14)$$

мұндағы $\lambda_{\text{кв}}$ — 1 К-ға температураны арттыру кезінде бет бірлігінен уақыт бірлігіне бұрылатын жылу мөлшеріне тең конвекциямен жылу беру; θ — қоршаған орта температурасынан салқындатылатын беттері температурасының артуы. Көріп отырғанымыздай, (3.13) және (3.14) формулалары сәйкесінше (3.11) және (3.12) формулаларына ұқсас.

$\lambda_{\text{кв}}$ шамасы салқындатылатын бетінің мөлшеріне және пішініне, оның күйіне және т.б. тәуелді. Ауа конвекциясы жағдайында электр аппараттары үшін орта есеппен $\lambda_{\text{кв}} = 8 \text{ Вт/(К- м}^2\text{)}$ деп қабылдауға болады.

Трансформаторлық майда конвекциямен жылу берілісі (трансформатор орамынан) ауаға қарағанда 15-20 есе қарқындырақ жүзеге асырылады.

(3.12) және (3.14) формуласына сәйкес сәуле шығару және конвекция жолымен бетінен берілетін жылу мөлшері

$$Q = \lambda_{\text{л-к}} S \theta, \quad (3.15)$$

мұндағы $\lambda_{\text{л-к}} = \lambda_{\text{лч}} + \lambda_{\text{кв}}$.

Ауа үшін орта есеппен $\lambda_{\text{л-к}} = 14 \text{ Вт/(К} \cdot \text{м}^2\text{)}$.

(3.12), (3.14) және (3.15) қатынастары жасанды конвекция болмаған жағдайда, мысалы трансформатор бағының үрленбейтін бетінде температураның артуын есептеу үшін қолданылады.

Түрлі беттері үшін сәуле шығарумен және конвекциямен жылу тарату шарттары электр аппараттарында әр түрлі. Заманауи желдетілетін аппараттарда жасанды конвекция жолымен жылуды бұру сәуле шығарып жылу бөлуге басым болуы соншалықты, соңғысы әдетте ескерілмейді.

Жылуды қарқынды бұру үшін әдетте электр аппараттарының ішкі, ал кейде сыртқы беттерін ауамен үрлеу қолданылады.

Жасанды конвекция кезінде жылу берілісін күшейту үрлеудің біркелкілігіне, үрленетін беттерінің пішініне және т.б, байланысты түрлі дәрежеде өтеді. Осы мәселені зерттеу электр аппараттарының және оның бөліктерінің құрылымдық алуан түрлілігімен, сондай-ақ аппараттың ішкі жолақтары мен каналдарында аэродинамикалық құбылыстардың қиындығымен құрделенеді.

Тәжірибелер табиғи конвекция жағдайында үрленетін бетінен жылу берілісінің коэффициенті үшін жуық эмпирлік формуланы пайдалануға болатынын көрсетеді

$$\lambda_{\text{кв}} = \lambda'_{\text{кв}} (1 + C_{\text{в}} \sqrt{v}), \quad (3.16)$$

мұндағы $\lambda'_{\text{кв}}$ — жылу беру коэффициенті; $C_{\text{в}}$ — ауамен бетін үрлеудің біркелкілік дәрежесіне байланысты эмпирлік коэффициент; v — салқындатылатын бетіне қатысты ауа қозғалысының жылдамдығы.

Если, мысалы, $v = 25 \text{ м/с}$ және $C_{\text{в}} = 1,3$ болса, онда (3.16) формуласына сәйкес жылу берілісі 7,5 есе ұлғаяды және $60 \text{ Вт/(К} \cdot \text{м}^2\text{)}$ құрайды.

3.4. Электр аппараттарындағы жұмыстың негізгі номиналды режимдері және температураның ықтимал артуы

Пайдалану жағдайында электр аппараттарының жұмыс істеу режимдері өте алуан түрлі. Аппараттар ұзақ уақыт бойы (мысалы электр станцияларында трансформаторлар) және салыстырмалы қысқа уақыт

аралығында (реле, түйістіргіштер) толық жүктемемен жұмыс істей алады.

Заманауи құрылғыларда электр аппараттарының циклдік жұмыс режимі өте жиі болады. Көптеген жағдайларда олар айнаымалы жүктемемен жұмыс істейді.

Алуан түрлі жұмыс режимдері кезінде электр аппараттары бірдей қызбайды. Материалдарды өте тиімді пайдалану тұрғысынан оны пайдаланудың шынайы жағдайларында электр аппаратының бөліктерін қыздыру мемлекеттік стандарттар бойынша ықтималдыққа жуық болатындай мақсатқа сай. Осы әрбір электр аппараты үшін нақты жағдайларды және оны пайдалану режимдерін ескере отырып, жобалау және дайындау керек. Алайда, тәжірибеде бұл мүмкін емес. Тіпті егер әрбір электр аппаратының жұмыс істеу шарттарын алдын көруге болады деп санасақ, дайындау кезінде осы шарттардың есебі бір типті электр аппараттарын жаппай өндіруді ұйымдастыруға мүмкіндік бермеді және олар өте қымбат.

Сондықтан мемлекеттік стандарттарға сәйкес электр аппараттары үш негізгі жұмыс режимдері үшін дайындалады: ұзақ, қысқа мерзімдік және қайталама-қысқа мерзімдік.

Электр аппаратының **ұзақ номиналды жұмыс режимі ұзақтығы** салқындатушы орнатының өзгеріссіз температурасы кезінде электр аппаратының барлық бөліктерінің температурасының артуы іс жүзінде белгіленген мәндерге жететіндей өзгеріссіз номиналды жүктеме кезіндегі жұмыс режимі аталады.

Электр аппаратының **қысқа мерзімді номиналды жұмыс режимі өзгеріссіз** номиналды жүктеме кезеңдерінде (салқындатушы ортаның өзгеріссіз температурасы кезінде) аппаратты сөндіру кезеңдерімен кезектесетін жұмыс режимі аталады. Бұл ретте жүктеме кезеңдері электр аппараттарының барлық бөліктерінің температурасының артуы белгіленген мәндерге жететіндей соншалықты ұзақ емес, ал тоқтау кезеңдері аппараттың барлық бөліктері іс жүзінде суық күйге өтетіндей ұзақ.

Электр аппаратының қайталама-қысқа мерзімді номиналды жұмыс режимі деп қоршаған ортаның өзгеріссіз температурасы кезінде өзгеріссіз номиналды кернеудің қысқа мерзімді кезеңдер (жұмыс кезеңдері) аппаратты сөндірудің қысқа мерзімді кезеңдерімен (үзілістермен) кезектесетін жұмыс режимдері аталады.

Жұмыс кезеңдері және үзілістер аппараттың жеке бөліктерінің температурасының артуы белгіленген мәндерге қол жеткізе алатындай ұзақ емес.

Қайталама-қысқа мерзімдік номиналды жұмыс режимі қосудың салыстырмалы ұзақтығымен (ҚҰ), яғни цикл ұзақтығына жұмыс кезеңінің ұзақтық қатынасымен (жұмыс кезеңі мен үзілістің жиынтық ұзақтығымен) сипатталады.

Аталған үш негізгі номиналды жұмыс режимінен басқа мемлекеттік стандарттар жүктемесінің циклдік сипаты болатын тағы төрт қосымша номиналды жұмыс режимін қарастырады.

Электр аппараттарының көпшілігі жұмыстың ұзақтық режимі үшін дайындалады. Электр аппараттарының дұрыс (дайындаушымен қарастырылған) қызмет ету мерзімдерін қамтамасыз ету мақсатында олардың жеке бөліктерінің температурасы, әсіресе орамды оқшаулау температурасы шектелуі тиіс.

Аппараттың жеке бөліктерін T_t де оқшаулаудың жұмыс температурасы тек кернеуге ғана емес, сонымен бірге қоршаған немесе салқындалушы ортаның температурасына T_{to} тәуелді. Кернеуден аппараттың жеке бөліктерінің 0 температурасынан артуы ғана тәуелді. Аталған шамалар арасында келесі тәуелділік болады:

$$T_t = T_{to} + \theta.$$

Аппараттардың жеке типтеріне стандарттар температураның шекті ықтимал артуын Одоп нормалайды және қоршаған ортаның ең жоғары ұйғарынды температурасының мәнін бір уақытта анықтайды $T_o = 40^\circ\text{C}$.

Орамдағы температураның артуын анықтау тәсілдері олардың ең жоғары мәндерін табуға кепілдік бермейді, ал кедергі әдісі тек орам температурасының орташа артуын ғана анықтауға мүмкіндік береді. Сондықтан температураны және орам құрылымын өзгерту тәсіліне байланысты стандарттарда $T_{\text{доп}} - T_{to}$ — дан 5...15 % аз Одоп мәндері анықталады.

Ең сенімді нәтижелер кедергі әдісі мен салынған термодетекторлар термометрін көрсетеді. Соңғысы оларды дайындау кезінде аппараттардың орауыштары арасында салынатын термопарлардан немесе кедергі термометрін көрсетеді.

Кедергі термометрлері кедергінің өзгеруі бойынша температурасы анықталатын жұқа мыс сымынан дайындалады.

Көрсетілген өлшеу әдістері үшін стандарттар $T_{to} = 40^\circ\text{C}$ температурасы кезінде орам температурасының келесі ықтимал артуын анықтайды: 60°C — оқшаулау А класына арналған; 70°C — Е класына арналған, 80°C — В класына арналған; 100°C — F класына арналған; 125°C — Н класына арналған. Егер қоршаған ортаның температурасы артық немесе 40°C аз болса, онда стандарттар температураның ұйғарынды артуларының белгілі бір өзгерістеріне рұқсат береді. Ұйғарынды қысқа мерзімдік токтың ұлғаюы стандарттармен нормаланады.

3.5. Алуан түрлі режимдер кезінде электр аппараттарының қызуы

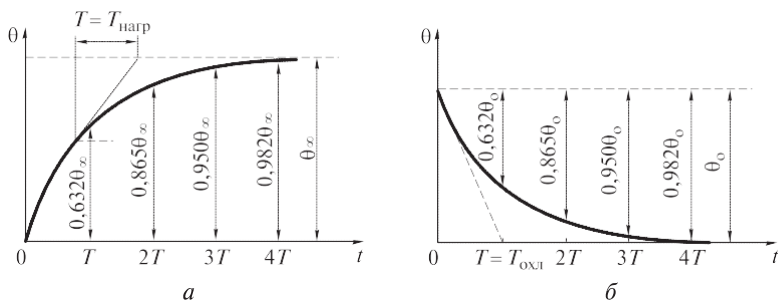
Ұзақ жұмыс режимі кезінде тамаша қатты зат ретінде аппаратты қыздыру 3.2, а-суретте, а температураның бастапқы артудың аппаратта болуы кезінде ($\theta_0 \neq 0$) — 3.3-суреттегі қисық байқалады. Оқшаулаудың осы класындағы қыздыру процесінде $0^\wedge = 0$ доп шарты сақталуы тиіс. Аппаратты салқындату 3.2, б-суреттегі қисыққа сәйкес келеді. 3.2-сурет, 3.3-суретте $T_{\text{нагр}}$, $T_{\text{охл}}$ шамалар — сәйкесінше қыздыру мен салқындатудың тұрақты уақыттары.

Электр аппараттарын жобалау кезінде аппараттың жеке бөліктерінің температурасын анықтау мақсатында жылу есептеулері жасалады. Ұзақ жұмыс режимі үшін жылу есебі негізгі болып табылады, себебі онда қысқа мерзімдік және қайталама-қысқа мерзімдік жұмыс режимінде температураның артуын есептеу негізделеді.

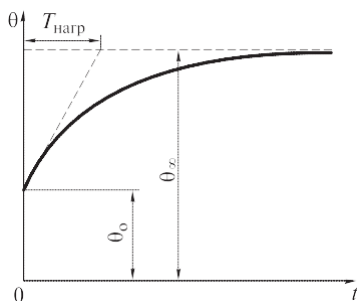
Электр аппараттардың жылу есептеуі жеткілікті күрделі. Температураны арттыру белгіленген мәндерге жеткенде ұзақ жұмыс режимдерін есептеу жүрісін ғана келтіреміз.

Аппараттың белгілі бір шығындарының мәндері электрлік есептеулерден алынады. Құрылымдық схема бойынша салқындатылатын беттерімен берілетін жылу мөлшері мен жылу ағындарының бағыттары анықталады. Одан кейін жеке салқындатылатын беттерінде басқа салқындатушы ортаның немесе ауа жылдамдығын анықтайды және есептейді:

- орамды оқшаулау температурасының айырмасы $\theta_{\text{из}} = T_{\text{т1}} - t_2$ — (3.8) формуласы бойынша;
- білік температурасының айырмасы θ_c — (3.8) формуласы бойынша;
- салқындатушы ортаның температурасымен салқындатушы бетінің температурасын арттыру $\theta = \theta_{\text{п.о}}$ — (3.14) формуласы бойынша.



3.2-сурет. Идеал біртекті қатты заттың қызу (а) және салқындау (б) қисықтары



3.3-сурет. Температураның бастапқы артуы болғанда біртекті қатты дененің қыздыру қисығы

Сонымен қатар, каналдар бойынша газ және сұйықтар қозғалысы кезінде салқындатушы ортаның өзінің орташа жылытылуы $\Delta\theta_{\text{охл}}$ ескеріледі.

Салқындатушы ортаның аппаратына түсетін температурадан орам температурасының артуы келесі сома түрінде табылады:

$$\theta_{\text{об}} = \theta_{\text{из}} + \theta_{\text{с}} + \theta_{\text{п.о}} + \Delta\theta_{\text{охл}}. \quad (3.17)$$

Об шамасы мәндердің ұйғарынды стандарттарынан аспауы тиіс.

Қандай да бір беттерінде қоршаған ортаның жылдамдықтары, сондай-ақ жылу берілісінің сәйкес коэффициенттері аппаратта жылу ағындарының таралу картинасы мен күрделігіне байланысты тек жуық аэродинамикалық құбылыстарды анықтауға мүмкіндік береді. Сондықтан жылу есептеулері қажетті эксперименталды деректер болған кезде жеткілікті дәл нәтижелер береді.

Қысқа мерзімді жұмыс режимі кезінде аппараттың алуан түрлі бөліктерінің $\theta_{\text{кр}}$ температурасының артуын анықтау үшін егер аппарат берілген қуат кезінде ұзақ жұмыс істесе, алдымен орын алатын температураның $\theta_{\text{кр}}$ артуын алдында көрсетілген тәсілмен табады, сондай-ақ тұрақты қыздыру уақытын $T_{\text{нагр}}$ анықтайды. Қысқа мерзімді режимнің $t_{\text{кр}}$ ұзақтығы арту режимінде қол жеткізілетін келесі формула бойынша есептейді

$$\theta_{\text{кр}} = \theta_{\infty}(1 - e^{-t/\tau}). \quad (3.18)$$

$\theta_{\text{кр}}$ мәндері белгіленген шектерде салынуы тиіс.

$\theta_{\text{кр}} < \theta_0$ болғанда және барлық режимдер үшін $\theta_{\text{доп}}$ температурасының ұйғарынды артуы бірдей болғандықтан, онда қысқа мерзімді режим кезінде θ_{∞} жол беруге болады, ұзақ жұмыс режиміне қарағанда $1 - e^{-t/\tau}$ есе артық. Аппараттағы шығының ұйғарынды мәндерінен де соншалықты артық болуы мүмкін. Сондықтан аппараттардың аталмыш габаритті өлшемдері мен қысқа мерзімді жұмыс режимімен аппараттардың қуат материалдарының шығыны кезінде ұзақ жұмыс режимі бар аппараттардың қуаттары артық.

Аппарат суық күйде табылып, қайталама қысқа мерзімді кернеу режимінде жұмысты бастады делік. Жұмыс кезеңінің уақыты t_p , ал үзіліс

уақыты — t_n болсын.

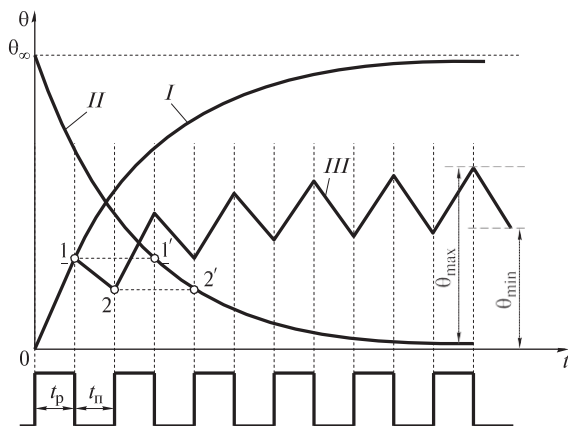
Егер аталмыш қуаты бар ұзақ режимде жұмыс істеу кезінде артуы белгіленген θ_∞ температура мен тұрақты қыздыру уақыты $T_{\text{нагр}}$ белгілі болса, бірінші жұмыс кезеңінде қыздыруға сызылуы мүмкін қыздыру қисығының I (3.4-сурет) 0 — 1 учаскесі сәйкес келсін.

Одан кейін аппарат салқындай бастайтын уақытта үзіліс басталады. Салқындауға II қисықтың $1' — 2'$ учаскесі сәйкес келеді. Бұл қисық егер θ_∞ және тұрақты салқындау уақыты $T_{\text{охл}}$ сызылуы мүмкін. Үзіліс уақытында желдету шарттары жұмыс кезеңіндегідей болса, онда $T_{\text{охл}} = T_{\text{нагр}}$. Егер де, мысалы, үзіліс уақытында аппарат желдетілмесе, онда $T_{\text{охл}} > T_n$. 1 нүктесімен $1'$ нүктесі сәйкес келетіндей өз-өзіне параллель II қисықтың $1' — 2'$ учаскесін ауыстырып, бірінші жұмыс циклінің уақыты ішінде θ өзгеру қисығының 0 — 1 — 2 учаскесін аламыз.

Екінші жұмыс кезеңінің уақытында жұмыстағы бірінші үзіліс соңында қол жеткізілген θ мәнінен басталатын I қисық учаскесі сәйкес келеді.

Осылайша қайталама-қысқа мерзімдік режим кезінде аппаратты қыздырудың III тісті қисығын құруға болады. Ол жұмыс уақытының t_p және үзілістің t_n сәйкес интервалдарына өз бетімен параллель жылжыған I және II қисық учаскелерден тұрады.

Біраз уақыт өткеннен кейін қайталама-қысқа мерзімдік жұмыстың температуралық режимі іс жүзінде орнатылады және қисықтың жалпы көтерілуі III тоқтағылады. Бұл ретте температураның көтерілуі θ_{max} -нен θ_{min} -дейінгі шектерде ауытқиды. θ_{max} мәні ұзақ жұмыс режимі кезінде $\theta_{\text{доп}}$ мәнінен аспауы тиіс. Сондықтан, қайталама-қысқа мерзімдік жұ-



3.4-сурет. Қайталама-қысқа жұмыс режимі кезінде қыздыру қисығын құру: I, II — ұзақ жұмыс режимі кезінде сәйкесінше қыздыру және салқындау қисықтары; III — қайталама-қысқа мерзімдік жұмыс режимі кезінде қыздыру қисығы

мыс режимінде аппараттардың габаритті өлшемдері мен вентиляция шарттарына $\theta / \theta_{\infty \max}$ есе үлкен шығындар мен сәйкесінше үлкен қуатты жіберуге болады. Осылайша, ұзақ жұмыс режимі үшін арналған аппаратты қолдану кезінде, қайталама-қысқа мерзімді режимде оның қуатын ұлғайтуға болады, егер бұл басқа жұмыс шарттары бойынша, мысалы, коммутация немесе асқын жүктемелік қабілеті бойынша ықтимал болса, ұлғайтуға болады.

Енді қысқа тұйықталу режимін қарастырамыз. Қысқа тұйықталу кезінде елеулі термиялық әсерлерге ұшырайды. Әдетте, бұл апатты жұмыс режимі, сондықтан оның әрекет ету уақыты минималды ықтимал шектеледі. Электр аппараттарының көпшілігі үшін бұл уақыт $t < 0,1 T_{\text{нагр}}$, яғни қоршаған ортамен жылу алмасусыз қыздыру уақытын арттырмайды. Қысқа тұйықталу режимін электр аппараты бөліктерінің температурасы ұзақ режимде ұйғарынды температурадан артатын мәндерге жеткенде қысқа мерзімдік жұмыс режимі ретінде қарастыруға болады. Қысқа мерзімді режимнің ұзақтығы әдетте үлкен болмағандықтан, бұл ретте ұзақ жұмыс режимінде температураны шектейтін басқа элементтердегі және окшаулаудағы маңызды өзгерістер өтпейді.

Аппарат беттерінен қоршаған ортаға жылу берілісін елемей, қысқа тұйықталу кезінде жылу балансының теңдеуін келесі түрде жазуға болады:

$$P_0 (1 + \alpha T_t) = c \gamma d T_t / dt, \quad (3.19)$$

мұндағы P_0 — уақыттың бастапқы сәтінде $t = 0$ жылу көздерінің қуаты; α — кедергінің температуралық коэффициенті; c — материалдың шекті жылу сыйымдылығы; γ — материал тығыздығы.

(3.19) теңдеуді келесі түрде беріп

$$dT_t / dt = j^2 \rho_0 (1 + \alpha T_t) / [\gamma c_0 (1 + \beta T_t)] \quad (3.20)$$

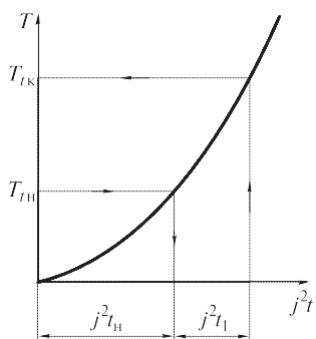
(мұндағы β — жылу сыйымдылығының температуралық коэффициенті), интеграциялаудан кейін $T_t = 0$ °C болғанда аламыз

$$j^2 t = (\gamma c_0 / \rho_0) \{ [(\alpha - \beta) / \alpha^2] \ln(1 + \alpha T_t) + \beta T_t / \alpha \}, \quad (3.21)$$

мұндағы c_0 — материалдың $T_t = 0$ °C болғанда шекті жылу сыйымдылығы; ρ_0 — материалдың $T_t = 0$ °C болғанда шекті кедергісі.

Әрбір α , β , ρ_0 , c_0 , γ материал үшін адиабатты қыздыру қисығы деп аталатын тәуелділікті құруға болады.

Әдетте мұндай қисықтар уақыттың бастапқы сәтіндегі температура $T_{\text{ин}} = 0$ °C үшін келтіріледі. Егер $T_{\text{ин}} \neq 0$ °C және $j_2 t$ берілген мәні бойынша қысқа тұйықталу тоғымен аппарат өткізгіштігінің температурасын табу талап етілсе, онда келесі түрде өтеді. Адиабатты қыздыру қисығы бойынша аталмыш температура T_n үшін $j^2 t_n$ мәні табылады (3.5-сурет). Одан кейін $j^2 t_n$ мәнінен абцисса осінде өткізгіштің соңғы температурасы $T_{\text{ик}}$ табылады.



3.5-сурет. Адиабатты қыздыру қисығы

Адиабатты қыздыру қисығы тура және кері есептерді шешуге мүмкіндік береді, яғни $j \cdot 2t$ мәні бойынша өткізгіш температурасын табады және керісінше ток тығыздығының квадрат импульсының ұйғарынды мәнін табады.

Электр машиналарының және аппараттарының одан әрі жұмыс істеуге кедергі келтіретін зақымдаусыз ұстау, берілген ұзақтыққа токтардың ток өткізгіш бөліктері бойынша өтетін термиялық әсер ету қабілеті **термиялық беріктік** деп аталады. Оның сандық сипаттамасы белгілі бір уақыт аралығында өтетін термиялық беріктік тоғы болып табылады. Қысқа тұйықталу уақытын және өткізгіш материалын, сондай-ақ қысқа мерзімдік қыздырудың ұйғарынды температурасын біліп, аппараттың термиялық беріктік тоғының тығыздығын анықтайды. Одан әрі екі міндеттердің бірін шешеді: өткізгіштің белгілі көлденең қимасы бойынша термиялық беріктік тоғын анықтайды немесе термиялық беріктіктің берілген тоғы бойынша ток өткізгіш бөліктердің қажетті көлденең қимасын табады.

Қысқа тұйықталудың есептік уақыты стандартталған және 10, 5 және 1 с тең қабылданған. Осымен сәйкес термиялық беріктіктің он, бес және бір секундтық токтары ерекшеленеді. Қысқа тұйықтаудың есептеу уақыты стандартталған және 10, 5 және 1 с тең қабылданған. Осыған сәйкес термиялық төзімділіктің он, бес және бір секундтық токтары ерекшеленеді.

Токтардың қысқа тұйықталу уақыты және тығыздығы өзара байланысты:

$$j_{11}^2 = j_{22}^2 t_2.$$

Сондықтан термиялық беріктік токтарын есептеу формуласын алу оңай:

$$I_1^2 = 5 I_5^2 = 10 I_{10}^2.$$

Термиялық төзімділіктің қажет етілетін тоғы мен өткізгіштің көлденең қимасын біліп, адиабатты қыздыру қисығының көмегімен қысқа мерзімді қыздырудың ұйғарынды температурасы тұрғысынан осы термиялық төзімділік өткізгішін қанағаттандыратынын тексеруге болады.

Бақылау сұрақтары

1. Электр аппараттарындағы энергия шығындарының жіктеуішін беріңіз.
2. Электр аппараттарындағы энергия шығындарын төмендету тәсілдерін атаңыз.
3. Электр аппараттарының ПӘК неге тәуелді және ол қандай әдістермен анықталады?
4. Электр аппараттарында салқындатудың қандай тәсілдері қолданылады?
5. Электр аппараттарының температуралық жұмыс істеу режимдерін атаңыз.
6. Электр аппараттары орамының температурасы қандай әдістермен табылады?
7. Электр аппаратының ең жоғары ұйғарынды температурасы қалай анықталады?

4-ТАРАУ

РЕЗИСТОРЛАР ЖӘНЕ САҚТАНДЫРҒЫШТАР

4.1. Резисторлар және резисторлар жәшіктері

Резистор — тізбектегі тоқты және кернеуді реттеу немесе шектеу үшін арналған жеке элемент (немесе электр аппаратының бөлігі). Резисторлар электрлік кедергісі жоғары материалдардан дайындалады. Резисторлар жеке құрылымдық элементтер түрінде қаңқасыз, қызулы қаңқасында, жиекті, шойын құйылған немесе болап қалыпты болуы мүмкін. Белгілі бір схема бойынша жиналған және бірыңғай құрылымдық түйінге жиналған бірнеше элементтер *резисторлар жәшігі* деп аталады.

Диэлектрлік беріктігі жеткілікті ыстыққа төзімді материалдан жасалған цилиндр немесе түтікше түрінде қызулы қаңқасындағы резистор (фарфор, стеатит, шамот және басқалары) 4.1-суретте көрсетілген. Цилиндрдегі 1 сымдардың орамы 2 құрылымның қаттылығын қамтамасыз етеді және цилиндрдің жылу сыйымдылығы есебінен элементтің жалпы жылу сыйымдылығын арттырады. Цилиндрдің бұранда тәрізді науашасы, тереңдігі және салынатын сымдардың диаметріне байланысты қадамы болады. диаметрі 0,3 - 2,0 мм сымды қолданады. Кедергі сатыларынан сыртқа шығарылған өткізгіштер қамытшалардың 3 көмегімен орындалады. Цилиндрдегі осьтік тесік резисторды жәшікке бекіту үшін арналған (цилиндр білікке кигізіледі). Цилиндр технологиясының шарттары бойынша резисторлардың аз қуатына шағын өлшемде дайындалады (105 Вт дейін).

Шағын диаметрлі сымдар үшін науашасыз цилиндрлер қолданылады. Жылу берілісін жақсарту және сымдарды жылжудан сақтау үшін



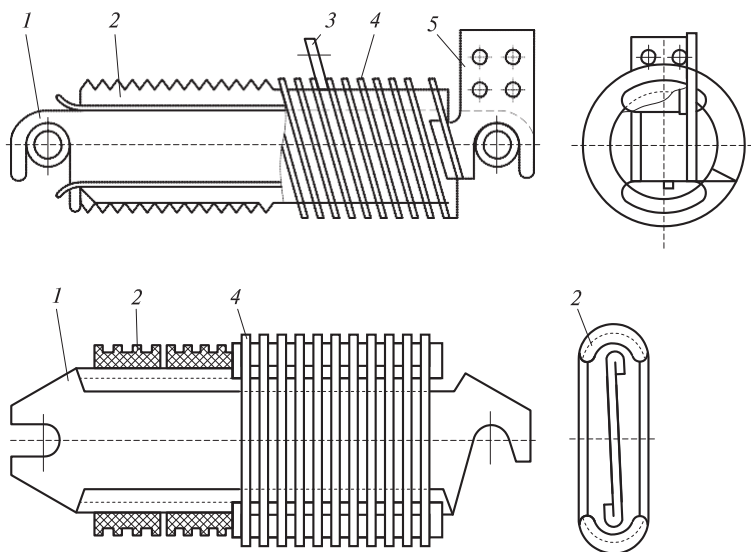
4.1-сурет. Қызулы қаңқадағы резистор:

1 — цилиндр; 2 — сымдар; 3 — бекіту қамытшасы

оны эмальдың немесе шынының қабатымен үстінен жабады. Мұндай құрылымды резисторлардың 5-тен 150 Вт дейін қуаты және 1 Омнан 50 кОм-ға дейін кедергісі болады. олар иілімді немесе қатты өткізгіштері бар, реттелмейтін немесе реттелмелі болуы мүмкін.

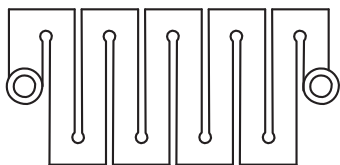
Жиекті резисторлардың мысалдары 4.2-суретте көрсетілген. Мұндай резисторлардың қаңқасы (жиегі) бүйір қабырғасында фарфор немесе стеатит окшаулағышы 2 бекітілген болат пластинасы 1 болады. Окшаулағышы сымды немесе кедергі таспасы 4 салынатын тереңдігі болады. Таспа не жалпағынан (константин) не қырынан (фехраль) салынады. Кедергі сатыларының сыртқа шығарылған өткізгіштері қамытшалар 3 немесе дәнекерленген мыс ұштықтары 5 түрінде орындалады. Пластинаның 1 бекітуге арналған ойықтары болады. жәшіктегі элементтерді құрастыру үшін окшауланған біліктер қолданылады. Қажетті сипаттамалар (кедергі, ток) параллель-жүйелі топтарға жеке элементтердің сәйкес қосылысын алады. константаннан резисторлар 35 А дейін токтарда (резистор қуаты – 350 Вт), фехральден жасалған резисторлар – үлкен токта орындалады. Фехральды резисторлардан жасалған жәшіктер үлкен қуатта (үш мың киловаттан бірнеше мың киловаттқа дейін) дайындалады.

Шойыннан құйылған және болат қалыпты резисторлар бекітуге арналған тартпасы бар иректелген элементтерден орындалады (4.3-сурет). Жұқа пластиналарға пластина шеттерін ию жолымен немесе оқ-



4.2-сурет. Жиекті резисторлар:

1 — болат пластина; 2 — окшаулағыш; 3 — бекіту қамытшасы;
4 — кедергі таспасы; 5 — ұштық



4.3-сурет. Кедергінің шойыннан құйылған элементі

шауланған кырлар көмегімен қаттылық беріледі.

Резисторлар оқшауланған білікте пакет түрінде жәшіктерде жиналады. Қосылыстардың қажетті схемасы оқшаулаушы және металл қашықтық шайбаның сәйкес орналасуымен алады. Жеке резисторлар 250- 300 А дейін токта, ал жәшіктер – 1 000 А және одан артық

токқа дайындалады.

Резисторларды дайындау үшін қолданылатын материалдар жоғары шекті электр кедергісіне, балку температурасына, механикалық беріктікке және коррозиялық беріктікке ие, сондай-ақ өңделуі жақсы, әрі құны төмен. Көптеген жағдайларда материалдың кедергісінің мүмкіндігінше аз температуралық коэффициенті болуы талап етіледі.

Таза металдар әдетте төмен шекті кедергіге ие, сондықтан резисторларды дайындау үшін оларды сирек қолданады. Әдетте мыс-никель, марганец-мыс, хромникель, темірхром қорытпалары, сондай-ақ құйма шойын және болат қолданылады. Графит, мұнай қожы, карборунд және басқа ұқсас материалдар арнайы резисторларды дайындауға арналады.

Резисторлар ұзақ (реттеуші, жүктемелік), қайтамалама-қысқа мерзімдік (іске қосу, тежеуші және және т.д.) және қысқа мерзімді (разрядты, іске қосу, тежеуші және т.б.) жұмыс режимдері үшін қолданылады. Резисторлардың жүктемелік қабілеті жылу есептеулері негізінде жұмыс режиміне сәйкес анықталады.

Ұзақ режим кезінде жүктемелік қабілеті келесі формула бойынша анықталады

$$P = K_T F \tau, \quad (4.1)$$

мұндағы F — жылу беру бетінің ауданы; τ — қоршаған орта температурасынан резистор температурасының артуы.

Кейбір резисторлар үшін жылу берілісі коэффициентінің мәні K_T 4.1-кестеде келтірілген.

Сымның ұйғарынды жүктемесін немесе кедергі таспасын ұйғарынды ток немесе ток тығыздығы бойынша бағалау қолайлы. Сым үшін

$$P = RI^2 = \rho \frac{l}{S} I^2 = \rho \frac{4l}{\pi d^2} I^2 \quad (4.2)$$

$$F = 10\pi dl, \quad (4.3)$$

мұндағы l, d — сәйкесінше сымның ұзындығы және диаметрі.

l мәндері (4.3) формулаға метрде, d мәндері — миллиметрде қойылады, нәтижесі (F мәні) квадрат сантиметрде алынады (бұл жерде көбейткіш 10).

Резисторлар элементі	$K_T, \text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{К})$	Жылу берілісінің беті
Константан, реотан сымынан жасалған шиыршықтар немесе сымнан жасалған таспалар немесе тік күйіндегі басқа мыс- никель қорытпасының таспалары	0,002	Сымның немесе таспаның жалпы беті
Науашаға салынған константан немесе нихромды сымнан жасалған орамы бар түтікті эмальданған элементтер, фарфор цилиндрлер	0,0021- 0,0023	Түтіктің сыртқы беті
Константан немесе нихромды сымнан не таспадан жасалған орамы бар жиекті элементтер	0,001 -0,0014	Сымның толық беті
Шойын шиыршықтар	0,001.0,0013	Элементтің толық беті

P және F үшін өрнектерді (4.1) теңдеуіне қойып, аламыз

$$I = \pi d \sqrt{2,5 K_T \tau d / \rho}; \quad (4.4)$$

$$J = \frac{I}{S} 4 \sqrt{2,5 K_T \tau d / (\rho d)} \quad (4.5)$$

Таспа үшін

$$P = \rho \frac{l}{bh} I^2; \quad (4.6)$$

$$F = 2(\beta + h)10l \approx 20hl. \quad (4.7)$$

Соңғы жорамал таспа қалыңдығы b оның енімен h салыстырғанда аз болуы мүмкін.

(4.1) теңдеуіне ұқсас алмастыруларды орындап, аламыз:

$$I \approx h \sqrt{20 K_T \tau d / \rho}; \quad (4.8)$$

$$j = \sqrt{20 K_T \tau d / (\rho d)}. \quad (4.9)$$

Қайталама-қысқа мерзімді және қысқа мерзімді режимдер үшін жүктемелік қабілетті анықтау кезінде қаңқаның сыйымдылығын еске-

ру керек.

Қызулы қаңқадағы элементтер үшін тұрақты қыздыру уақыты

$$T = \frac{\beta_{\text{ккк}} c_{\text{ккк}} G_{\text{ккк}} + c_{\text{оо}} G_{\text{оо}}}{K_{\text{т}} F} \quad (4.10)$$

мұндағы $c_{\text{ккк}}$, $G_{\text{ккк}}$ — шекті жылу сыйымдылығы және қаңқа массасы; $c_{\text{оо}}$, $G_{\text{оо}}$ — шекті жылу сыйымдылығы және сым (орам) массасы.

Сымнан жылу бұруға қаңқаның қатысуын ескеретін коэффициент $\beta_{\text{ккк}}$ қысқа мерзімдік режим кезінде 0,3-0,4, ұзақ мерзімдік режим кезінде — 0,8-0,9 құрайды.

4.2. Балқығыш сақтандырғыштардың міндеттері және жұмыс істеу принциптері

Сақтандырғыш — бұл белгілі бір мәннен артаын ток әрекетімен осы ток өткізгіш бөліктер үшін арнайы қарастырылған бұзылулар арқылы қорғалатын тізбекті сөндіру үшін арналған коммутациялық электр аппараты.

Құрылымның көпшілігінде тізбекті сөндіру қорғалатын тізбек тоғымен тікелей қыздырылатын балқығыш ендірмені балқыту жолымен жүзеге асырылады. Тізбекті сөндіргеннен кейін жанып кеткен ендірмені жарамдыға ауыстыру қажет. Бұл қолмен немесе автоматты жасалады. Соңғы жағдайда барлық сақтандырғыш ауыстырылады.

Сақтандырғыштар электр желілерімен бір уақытта пайда болды. Құрылғының және қызмет көрсетудің қарапайымдылығы, шағын өлшемдері, жоғары сөндіруші қабілеті, және азғантай сомасы оның өте кең қолданысын қамтамасыз етті. Төмен кернеулі сақтандырғыштар бірнеше миллиамперден мыңдаған амперге дейін токқа және 660 В дейін кернеуде дайындалады, ал жоғары кернеулі сақтандырғыштар — 35 кВ дейін және жоғары кернеуде дайындалады.

Сақтандырғыштардың құрылымдары алуан түрлі, алайда олардың барлығының келесі негізгі элементтері болады: корпус немесе салмақ түсіруші деталь, балқығыш ендірме, түйіспелі қосқыш құрылғы немесе доға сөндіргіш орта.

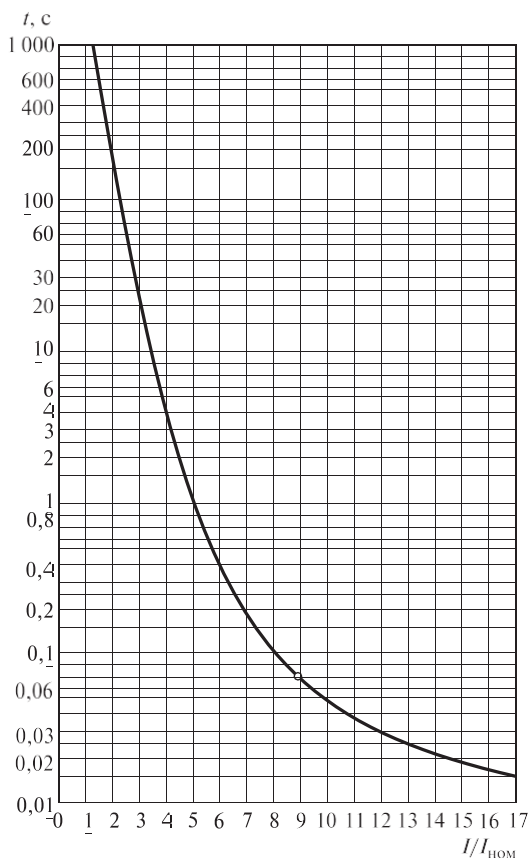
Сақтандырғыштың маңызды сипаттамасы балқығыш ендірменің токтан жану уақытының тәуелділігі — уақыт-ток сипаттамасы болып табылады (4.4-сурет).

Сақтандырғыштың жұмысы бір-бірінен күрт ерекшеленетін екі режимде өтеді: қалыпты жағдайларда және токтың күшею және қысқа тұйықталу жағдайында. Бірінші жағдайда ендірменің қызуының ондағы барлық бөлінетін жылудың қоршаған ортаға берілетін, белгіленген

процесінің сипаты болады. Бұл ретте ендіріме және сақтандырғыштың барлық детальдері орнатылған температураға дейін қыздырылады.

Бұл температура ұйғарынды мәндерден аспауы тиіс. Ұзақ жұмыс кезінде балқымалы ендіріме есептелген ток балқыма ендіріменің номиналды тоғы $I_{\text{ном}}$ деп аталады. Ол сақтандырғыштың өзінің **номиналды тоғынан ерекшеленуі мүмкін**. Әдетте бірдей сақтандырғышқа түрлі номиналды токтардағы балқымалы ендірімелерді қоюға болады. Онда көрсетілген сақтандырғыштың номиналды тоғы сақтандырғыштың осы құрылымы үшін арналған балқымалы ендіріменің номиналды тоғының ең үлкеніне тең.

Жүктеме тоғын арттыру кезінде ендіріме температурасы және сақтандырғыштың басқа детальдері өседі. Ендіріме ұзақ уақыт бойы жанбайтын ең үлкен ток балқымалы ток I_{∞} деп аталады. Оның мәні ендіріме қимасының өлшемдеріне, оның пішініне, материалы мен ұзындығына, сондай-ақ сақтандырғыштың құрылымына, қоршаған температура мен



4.4-сурет. ПН-2 сериялы сақтандырғыштың уақыт-ток сипаттамасы

бірқаттар басқа факторларға тәуелді.

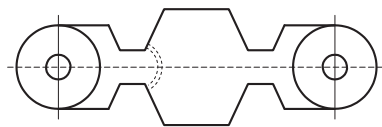
Балқымалы токтың мәні әдетте нормаланады. Калибрлеу кезінде минималды балқымалы ток беріледі, мысалы $I_{\infty \min} = (1,3- 1,4) I_{\text{ном}}$, бұл ретте балқымалы ендіріме 1,2 сағат ішінде жанбауы тиіс және ендірімесі 2 сағат ішінде балқуы тиіс және максималды балқымалы ток, мысалы $I_{\infty \max} = 1,6 I_{\text{ном}}$. Балқымалы ток ($I \gg I_{\infty}$) асатын токтар кезінде балқымалы ендіріме қысқа мерзім ішінде жанып бітуі тиіс. Токтың өсуімен ендіріменің балқу уақытының тез қысқаруына қол жеткізу үшін екі жолмен жүреді:

- балқымалы ендірімеге арнайы пішін береді;
- металлургиялық әсерді қолданады.

Бірінші жағдайда ендірімені жеке учаскелерде оның қимасын азайтатын кесіктермен пластинкалар түрінде орындайды (4.5-сурет). Осы сығылған учаскелерде кең учаскелерге қарағанда жылу көп бөлінеді. Номиналды ток кезінде артық жылу ендіріме материалының жылу өткізгіштігі салдарынан ең кең бөліктерге таралып үлгереді және барлық ендіріменің іс жүзінде бір температурасы болады. Токтың күшеюі кезінде ($I \approx I_{\infty \max}$) тар учаскелерді қыздыру тез өтеді, себебі жылудың бөлігі кең учаскелерге бұрылып үлгереді. Балқымалы ендіріме бір ең ыстық орында балқиды (ажыраудың ықтимал орны 4.5-суретте штрихты сызықтармен көрсетілген). Қысқа тұйықталу кезінде ($I \gg I_{\infty}$) тар учаскелерді қыздыру іс жүзінде олардан жылуды бұрумен ескермеуге болатындай қарқынды жүреді. Балқымалы ендіріме бірнеше немесе бірден барлық тар орындарда бір уақытта жанады.

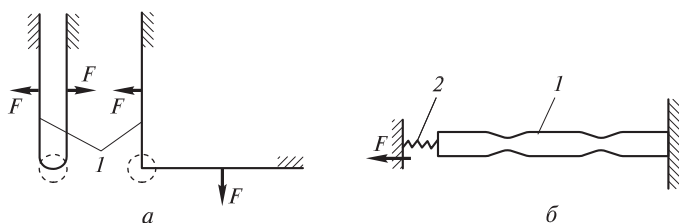
Көптеген құрылымдарда балқымалы ендірімеге қысқа тұйықталу тоғы кезінде туындайтын электродинамикалық күштер ол балқып үлгергенге дейін ендірімені ажырататын пішін береді. 4.6, а-суретте ажырау орны шеңберлермен белгіленген. Бұл учаскелер ең аз қимамен орындалады. Шамадан тыс токтар кезінде электрдинамикалық күштер аз және балқымалы ендіріме ажырамайды, тар орында балқиды. 4.6, б-суретте көрсетілген құрылымда шамадан тыс және қысқа тұйықталу кезінде тізбекті өте тез сөндіру осы учаскелердің балқуы өткенге дейін тар учаскелерде металды жұмсарту кезінде ендірімені 1 ажырататын серіппелер 2 есебінен қол жеткізіледі.

Металлургиялық әсер көптеген тез балқитын металдардың (қалайы, қорғасын және басқалары) балқыған күйде кейбір баяу балқитын металдарды ерітуге қабілетті болуымен тұжырымдалады.



4.5-сурет. Фигуралы балқымалы ендіріме

Осылайша алынған ерітінді бастапқы материалдарға қарағанда өзге сипаттамаларға ие (мысалы, үлкен электрлік кедергілерге және төмен балқу температурасына). Көр-



4.6-сурет. Жеделдетілген ажыраумен балқымалы ендіріме пішіндерінің мысалдары (а, б):

1 — балқымалы ендіріме; 2 — серіппе; F — ажыратушы күш

сетілген құбылыс бірқатар параллель сымдардан жасалған ендірімесі бар сақтандырғыштарда қолданылады.

Шамадан тыс жұмсалуды кезінде ендіріменің балқуын жеделдету және сымда оны балқыту кезінде барлық ендіріменің ортақ температурасын төмендету үшін шағын қалайы шариктер дәнекерленеді. Ендіріменің температурасы қалайының балқу температурасына жеткенде шамадан тыс ток кезінде шарик балқиды және ол дәнекерленген металл бөлігін ерітеді. Ендіріменің кедергісін жергілікті ұлғайту және ол орындалатын металдың балқу температурасын төмендету жүреді. Номиналды режимде шарик іс жүзінде ендірімені қыздыру температурасына әсер етпейді.

Бұл талап етілетін уақыт-ток сипаттамаларын алу тәсілі мысалы, өте қалың сымдар үшін 2 мм дейін диаметрмен шаригі бар және диаметрі 0,3 мм сымның диаметрі 1 мм шарик кезінде жұқа ендірімені қолданады. Ендіріменің өсуі кезінде металлургиялық әсердің ықпалы тез төмендейді және іс жүзінде әсер етпейді.

Шамадан тыс токтар мен қысқа тұйықталулар кезінде ендіріменің жанып кетуін жеделдетудің қарастырылған тәсілдері балқымалы сақтандырғыштардың бір өте маңызды қасиеті – олардың ток шектеуші әрекетін негіздейді. Балқымалы ендіріме қысқа тұйықтау кезінде токтың белгіленген мәнге жетіп үлгергенше біршама ерте жанады. Осылайша, қысқа тұйықталу тоғы 2-5 есе шектеледі, бұл электродинамикалық күштердің бұзушы әрекеттерін төмендетеді. Мысалы, қысқа тұйықталудың белгіленген тоғы егер балқымалы ендіріме 8 кА тоғы кезінде жанып кетпесе, қысқа тұйықталу тоғы ендіріменің жануы арқасында 3 еседен артық, тізбектегі электродинамикалық күштер – 9 еседен артық шектеулі болып қалса, 25 кА жетуі мүмкін. Металл әсерді пайдаланумен балқымалы ендіріменің ток шектеуші әрекеті ток шектеудің басқа әрекеттеріне қарағанда төмен.

Балқымалы ендіріменің жануынан кейін туындайтын электр доғасын сөндіру мүмкіндігінше тез сөндірілуі тиіс. Доғаны сөндіру уақыты сақтандырғыштың құрылымына және сөндірудің қабылданған тәсіліне тәуелді. Балқымалы сақтандырғышты балқымалы ендірімені ауысты-

рғаннан кейін оның одан әрі жарамды жұмысына кедергі келтіретін деформациясыз немесе қандайда бір бұзылуларсыз сөндіруге болады, **сақтандырғышты сөндірудің шекті тоғы деп аталады.**

Толтырғышсыз жабық патрондары бар заманауи сақтандырғыштарда доға пайда болу салдарынан патронда туындайтын жану өнімдерінің жоғары қысымының есебінен, ал толтырғыш болғанда – толтырғыштың тар көлемінде доғамен туындайтын жоғары қысымды және толтырғыш доғасын қарқынды салқындату есебінен сөнеді. Бұл ретте доғаны сөндіру сақтандырғыш патронының шектеулі көлемінде өтеді. Патрон шегінен тыс не доға жалыны, не иондалған газдар лактырылмайды.

Ендірменің ток шектеуші әрекетімен бірлесіп доға сөндірудің заманауи жүйесі балқымалы ендірменің шектелмеген сөндіруші қабілетіне әкеледі. Бұл сақтандырғыштардың қысқа тұйықталудың үлкен токтарын қалағанынша сөндіруді білдірмейді. Шектелмеген сөндіруші қабілетін былай түсінген дұрыс: балқымалы сақтандырғыштар қысқа тұйықталудың белгіленген тоғына өте үлкен мәндерде қол жеткізуге болатын тізбектер қорғау үшін қолданылады (заманауи ірі энергия қондырғыларында 200- 500 кА мәндерін болжамдауға болады).

Балқымалы ендірмелер қорғасыннан, қалайысы бар қорғасын қортпасынан, мырыштан, мыстан, күмістен және т.б. дайындалады. Тез балқитын металдардан жасадған ендірмелер (қорғасын, мырыш – балку температурасы 200-420 °С) сақтандырғыштың өзінің жоғары емес температурасын алуға мүмкіндік береді. Мырыш ендірмелері кең таралған. Мырыш буларының доғаны сөндіруге ықпал ететін ионданудың салыстырмалы жоғары әлеуеті болады. Мыстан және күмістен жасалатын ендірмелер аз қима алады, алайда олардың кемшілігі жоғары балку температурасы болып табылады, бұл сақтандырғыш детальдердің қатты қызуына және тез бұзылуына шамадан тыс токтар кезінде әкеледі. Мыс балқымалы ендірмелердің коррозияға қарсы жабыны болуы міндетті; болмаған жағдайда тотығу оның уақытылы емес жануына және ендірме қимасының біртіндеп азаюына әкеледі.

Параллель балқымалы ендірмені қолдану (үлкен токтар кезінде) ендірменің тура сондай көлденең қимасы кезінде салқындаудың үлкен бетін алуға мүмкіндік береді. Бұл ендірмені салқындату жағдайын жақсарттады және толтырғышы бар сақтандырғышта) толтырғыш көлемін жақсы қолдануға мүмкіндік береді.

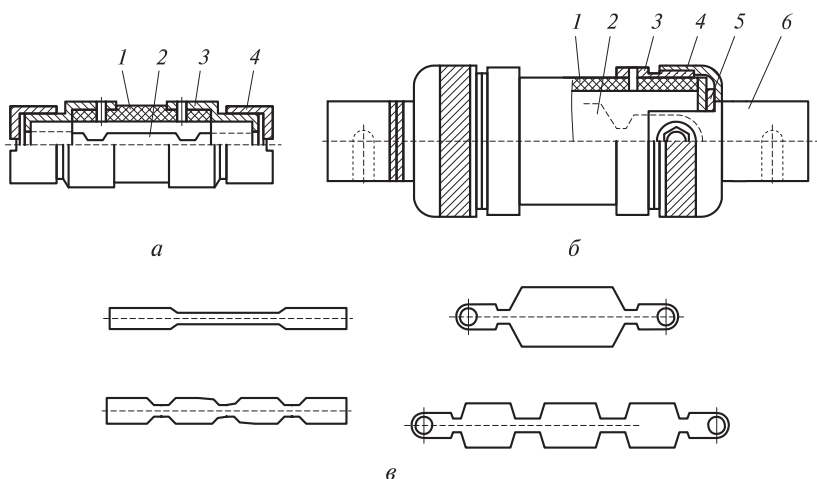
4.3. Төмен кернеулі сақтандырғыштардың конструкциясы

ПР-2 сериялы толтырғышы жоқ жабық құрастырмалы патрондары бар сақтандырғыштар (4.7-сурет, а, б) 220 және 500 В кернеуде 15-1000 А патрондардың номиналды тоғын және 6 - 1000 А балқымалы ендірімені дайындайды.

Габаритті өлшемдері мен номиналды токтарға байланысты олардың сөндіруші қабілеті 1,2.20,0 кА құрайды.

Сақтандырғыш екі түйіспелі тіректен және ішінде бір немесе екі (ток мәніне байланысты) балқымалы ендірмелер орналасатын бір патроннан тұрады. Балқымалы ендірмелер (4.7-сурет, в) табақ мырыштан дайындалады. Тіректер шаппа түйіспелері бар ток өткізгіш бөліктер мен бекіткіш деталь жиынтығынан тұрады. 15-63 А тоғында сақтандырғышты түйіспелі басу түйіспе тіректерінің қапсырмасы; 100-350 А токтағы сақтандырғыштарда — болат сақиналы немесе пластинкалы серіппе; 630-1000 А токтарда — түйіспелі тіреуіште белгіленген пластмасса тұтқышы бар бұранда есебінен құрылады.

Патрон (4.7, а, б-суретті қараңыз) екі жағынан балқымалы ендірімеге 2 арналған кесігі болатын жез төлкелер 3 бұралған фибр түтіктен 1 тұрады. Төлкеде 63 А дейін токтағы сақтандырғыштарда патронның түйіспелі бөліктері болып табылатын жез қалпақшалары 4 бұралған. 100-1000 А токтағы сақтандырғыштарда түйіспелі бөліктер мыс пы-



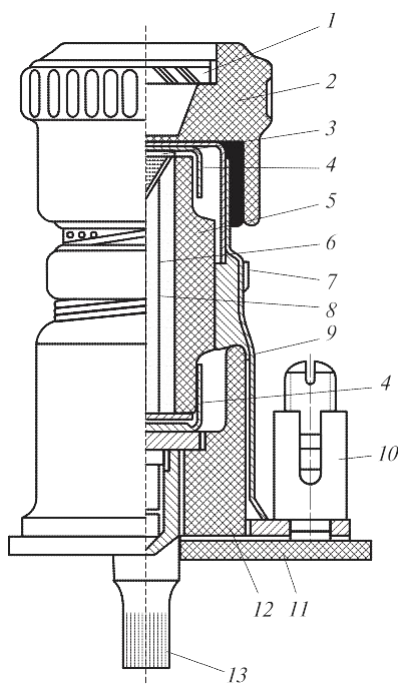
4.7-сурет. ПР-2 сериялы сақтандырғыштар:

а, б — сәйкесінше 15 - 63 А және 100 - 1000 А номиналды токқа патрондар; в — балқымалы ендіріменің пішіндері; 1 — фибрлі түтік; 2 — балқымалы ендіріме; 3 — төлке; 4 — қапқақша; 5 — шайба; 6 — мыс пышағы

шақтары 6 болып табылады. Пышақтардың бұрылысының алдын алу үшін пышақ жігі болатын астарлық шайба 5 қарастырылған.

Ендірменің жануы кезінде туындайтын доға түтік қабырғасынан 1 қатты газ генерациясын тудырады, түтіктегі қысым тез өседі, бұл доғаны қарқынды сөндіруге әкеледі.

ПД және ПДС сериялы сақтандырғыштар (4.8-сурет) 350 В дейін кернеумен тұрақты токтың және 380 В дейін кернеумен 50 Гц жиілікпен айнымалы токтың тізбектерін қорғау үшін есептелген. ПД сериялы сақтандырғыштар 1 - 630 А токта жеті үлгілік өлшемдер; ПДС сериялы – 1 - 350 А токта алты үлгілік өлшемдер дайындайды және басқаларының жоғары механикалық беріктігі болады. ПДС сақтандырғыштар ПД сақтандырғыштарынан олардың корпусы фарфордан емес, стеатиттен орындалуымен ерекшеленеді. Екі серияның сақтандырғышының негізгі бөліктері фарфор немесе стеатитті негізі 12 бар түйіспелі гильза 9 және ендірме болып табылады. Соңғысы түйіспелі гильзаға 9 бұралаатын бастиекпен 2 бекітіледі. Түйіспелі гильзаға сыртқы қосылыстардың түйіспелі тірегі 10 ішке айналдырылады. 63 А дейін токтағы сақтандырғышта басқа сыртқы түйіспе 13 жапсыру немесе дәнекереу жолымен ток өткізгішке бекітіледі, үлкен токты сақтандырғыштарда ол болтты қосылыстар түрінде орындалады. Түйіспелі гильза гетинаксті шайбамен 11 ток өткізгіш шинадан оқшауланады. Серіппелі сақина 7 өздігі-



4.8-сурет. Шыны тесік:

- 1 — шыныланған тесік; 2 — бастиек; 3 — көз; 4 — қалпақшалар; 5 — цилиндр; 6 — балқымалы ендірмелер; 7 — серіппелі сақина; 8 — кварц құмы; 9 — түйіспелі гильза; 10 — түйіспелі тірек; 11 — шайба; 12 — негіз; 13 — сыртқы түйіспе

нен бұралатын бастиектің алдын алады.

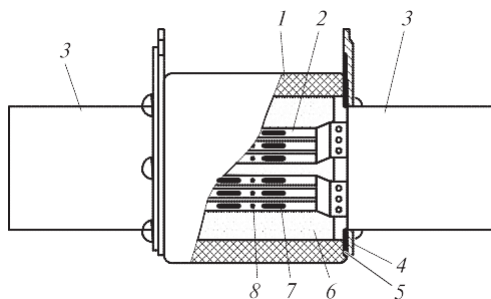
Ендіріме бүйірлерінде түйіспелі қақпақшалар 4 бекітілген жалаңаш фарфор цилиндрден 5 тұрады. Қақпақшалары арасында бақылаушы алюминий көзімен 9 байланысты бақылау сымы мен балқымалы ендірімелер орналасқан. Цилиндр 5 кварц құмымен 8 толтырылған.

Сақтандырғышпен қорғалатын тізбектегі ток ұйғарындыдан асқанда, бақылау сымы балқымалы ендірімемен бірге жанады және бақылау көзі шыныланған тесікпен 1 кеңістікке орналасатын серіппемен лақтырылады. Бақылау көзі шыныланған тесік 1 арқылы көрінеді. Көздің орналасуы бойынша балқымалы ендіріменің жарамдылығы туралы талқылайды. Доғаны сөндіру толтырғыштың тар каналдарында қарқынды салқындау және жоғары газ қысымы есетінен жүзеге асырылады. Қарастырылған сақтандырғыштардың сөндіруші қабілеті — 15 кА дейін.

ПН-2 сериялы сақтандырғыштар (4.9-сурет) 500 В айнымалы токқа және 440 В тұрақты токқа дейін күш кернеулерін қорғау үшін арналған. Олар 100, 250, 400 және 630 А номиналды токтарда орындалады және ток шектеуші әрекетке және жоғары ажыратқыш қабілетке ие.

Корпус 1 әрбір бүйірінен төрт бұрандалы саңылаулары бар, ішінде дөңгелек және сыртынан шаршы зерленген фарфор түтіктен тұрады. Түтікке шаппа түйіспелі өткізгіштердің 3 шайбасына электртүйіспелі нүктелі дәнекермен пісірілген балқымалы ендірмесі бар түйін енгізілген. Түтіктің әрбір бүйірінен түйіспелі түйін қақпаққа 4 бұрандалармен бекітіледі. Асбестті астарлары бар қақпақтар корпусқа бұралады және оны герметикалық жабады.

Түтіктің ішкі жолағы оның барлық ұзындығы бойынша ендірімемен қоршалған таза және құрғақ кварц құмымен 6 толтырылған. 120- 180 °С температурада қыздырылған және жуылған тұз қышқылының екі пайыздық ерітіндісімен өңделген, түйіршігінің диаметрі 0,2 - 0,3 мм болатын, кемінде 98 % аспайтын кварц құрамымен құм қолданылады. Корпусты бітеу құмды дымкылданудан қорғайды.



4.9-сурет. ПН-2 сериялы сақтандырғыш:

- 1 — корпус; 2 — балқымалы ендіріме; 3 — сыртқа шығарылған өткізгіштер; 4 — қақпақ; 5 — асбестті төсем; 6 — кварц құмы; 7 — тесу; 8 — қалайы шарик

Балкымалы ендіріме қалыңдығы 0,15 .. 0,35 мм және ені 4 мм дейін бір немесе бірнеше мыс таспаларынан орындалады. Тесу 7 кемінде 6 мм ұзындықта ендіріменің кимасын 2 есеге азайтады. Жұқа параллель таспаларды қолдану осы номиналды ток үшін балкымалы ендіріменің кимасын, сонымен бірге доғадағы металл буларының санын төмендетуге мүмкіндік береді.

Соңғы жағдай доғаны сөндіруді жеңілдетеді. Параллель каналдарда бірнеше доғаның туындауы толтырғыштың үлкен көлеміне доға энергиясының шашырауына қатысуға мүмкіндік береді, доғаның сөндірілуін жеңілдетеді.

Сақтандырғыштың қызуын аз шамадан тыс жүктемелер кезінде төмендету үшін металлургиялық әсер қолданылады. Ендіріменің әрбір таспасына қалайы шарик 8 дәнекерленеді. Қалайы шарик дәнекерленген орындағы таспа металының балқу температурасы 475 °С жетеді. Сақтандырғыш детальдерінің температурасының артуы норма шегінде табылады. Сөндіруші қабілеті 50 кА-дан (100 А токтағы сақтандырғышта) 100 кА дейін (630 А токтағы сақтандырғышта) құрайды.

Патроны жабық және НПБ-2 сериялы толтырғышы бар тез әрекет ететін сақтандырғыштар 40-тан 630 А дейін номиналды токта шығарылады және жартылай өткізгіш күш шұрасымен электр құрылғыларын қорғау үшін арналған. Сақтандырғыштың ампер-секундтық сипаттамасы шұраның ампер-секундтық сипаттамаларынан төмен жатыр. Сақтандырғыштар айнымалы ток жағынан (номиналды кернеу 380 В) және түзетілген ток жағынан орнатылуы мүмкін.

Бұл сериялы сақтандырғыштар балкымалы ендіріменің құрылымымен ПН-2 сериялы сақтандырғыштардан ерекшеленеді. Балкымалы ендіріме күміс таспадан дайындалады және сақтандырғыштың қорғаныш сипаттамасына сәйкес есептелген кимасы болады.

4.4. Жоғары кернеулі сақтандырғыштардың конструкциясы

Жоғары керенулі сақтандырғыштардың жұмыс істеу принциптері мен міндеттері төмен кернеулі сақтандырғыштардыкіндей. Жоғары кернеулі сақтандырғыштарды құру кезіндегі негізгі қиындық доғаны сөндірумен байланысты. Заманауи құрылымдарда негізінен газдардың жоғары қысымы кезінде сөндіруді (ұсақ түйіршікті толтырғышы бар сақтандырғыштар) және автогаз немес сұйықпен үрлеу көмегімен сөндіру қолданылады.

ПК және ПКТ сериялы ұсақ түйіршікті толтырғыштары бар сақтандырғыштар 3; 6,3; 10 және 35 кВ кернеуде және сәйкесінше 400, 300,

200 және 40 А номиналды токта орындалады. Күш сақтандырғыштарының ең үлкен сөндіруші қабілеті 200 МВ-А құрайды. Кернеудің өлшеу трансформаторларының тізбектерін қорғау үшін қолданылатын аз токтағы ПКТ сериялы сақтандырғыштарда ол $1\,000\text{ МВ} \cdot \text{А}$ және одан артыққа жетеді. Мұндай жоғары сөндіруші қабілеті ток шектеуші әсерінің арқасында қамтамасыз етіледі.

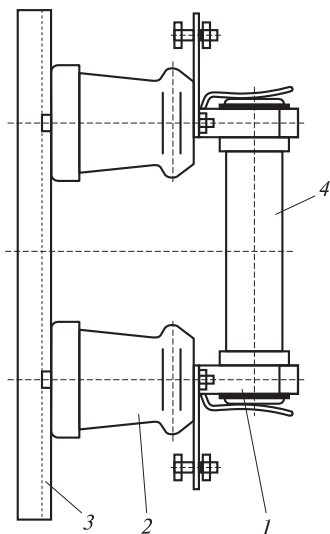
Қысқа тұйықталу тоғын күш сақтандырғыштарымен сөндірудің толық уақыты — 0,005-0,007 с. Сақтандырғыштар ішкі және сыртқы орнату үшін арналған.

ПК сериялы сақтандырғыш (4.10-сурет) болан негізде 3 окшаулағыштар 2 және патрон 4 көмегімен бекітілген түйіспелік тіреуден 1 тұрады. Патронның (4.11-сурет) жез қақпақтарының ұшымен арматураланған окшаулауышы корпусы 3 болады. Патрон ішінде балқымалы ерітінді орналасады. Барлық көлем кварц құмымен 5 толтырылған. Сақтандырғыштың іске қосылуы туралы якорь сигнал береді, оның ұстаушы болат сілтегіш ендіrmесі 6 жанғаннан кейін арнайы серіппемен итеріледі.

Шағын токтардағы сақтандырғыштарда балқымалы ендіrmе керамикалық білікке 4 оралған жұқа сымдар түрінде орындалады (4.11-сурет, а). Үлкен токтағы сақтандырғыштарда балқымалы ендіrmе жеке шиыршықты қабатталған сымдар түрінде қолданылады (4.11-сурет, б). Сымдар мыс, күмістелген не константандық болады. Мұндай құрылым шектеулі ұзындықтағы патронда жеткілікті ұзын ендіrmені орнатуға ұмтылуымен негізделеді. Бұл сақтандырғыштар үшін балқымалы ендіrmенің (миллиметрде) ұзындығы зерттеулерге сәйкес $l = 160 + 70\text{ином}$, мұндағы ином — номиналды кернеу, кВ.

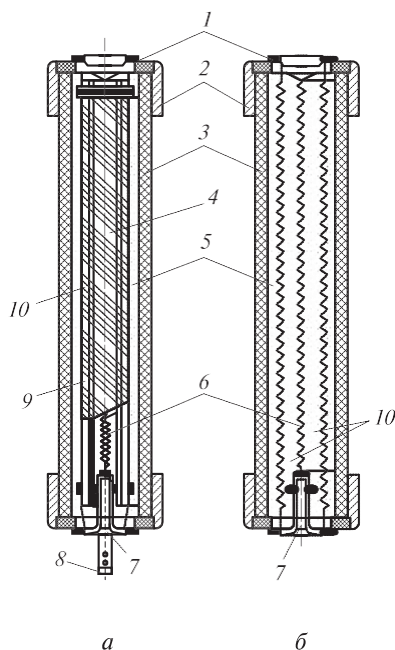
Балқымалы ендіrmенің сымдарын бұрау орнында шамалы жүктелім кезінде сақтандырғыш температурасын төмендету үшін қалайы шариктер дәнекерленеді. 7,5 А және төмен токтағы сақтандырғыштарда ендіrmенің артық күш жұмсауын 4 шектеу үшін айнымалы қимамен орындайды. Жеке учаскелердің жануының түрлі уақыты сөндіру кезінде артық күш жұмсаудың төмендеуіне әкеледі.

Доғаның автогазбен, газ және сұйықпен сөндірілетін сақтандырғыштары мыс (ток өткізуші) және болат (ұстаушы)



4.10-сурет. ПК сериялы сақтандырғыштардың жалпы түрі:

1 — тірек; 2 — окшаулағыш;
3 — негіз; 4 — патрон



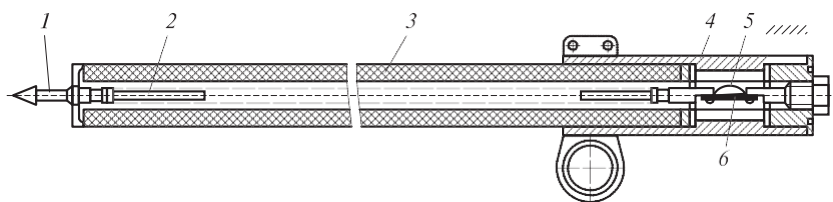
4.11 сурет. ПК сериялы сақтандырғыштардың патрондары:

a — керамикалық білікте балқыма ендірімемен; *б* — шиыршықты сым түрінде балқыма ендірімемен; 1 — қақпақтар; 2 — қақпақтар; 3 — корпус; 4 — керамикалық білік; 5 — кварц құмы; 6 — сілтеуіш ендіріме; 7 — сілтеуіш якорьлері; 8 — ісе қосылғаннан кейін сілтеуіштің жағдайы; 9 — тірек; 10 — қалайы шариктер

бөліктерден тұратын қысқа балқымалы ендірімемен орындалады. Ендірімені балқытқаннан (жанып кетуінен) кейін (алдымен тыс, одан кейін болат бөліктер) доғалық аралық серіппе немесе түзілетін газ қысымының көмегімен ұзартылады. Доға доға сөндіруші немесе газ тудырушы ортада созылады және газбен немесе сұйықпен үрлеу әрекетімен сөнеді.

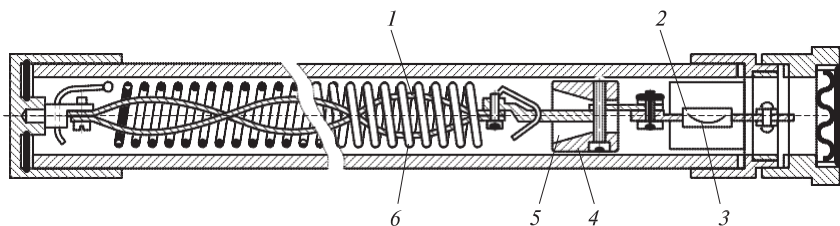
ПСН типті атқыш сақтандырғышта (4.12-сурет) патроннан иілімді байланысты 2 тарту түйіспелі ұштықпен 1 байланысты пышақ серіппесімен жүзеге асырылады. Газ түзуші түтікке 3 тартылған доға ондағы қысымды шұғыл арттырады және өте қарқынды бойлық автоүрлеу құрады. Нәтижесінде икемді байланыс патроннан лақтырылады, доға серпінді сөнеді. Сөну қыздырылған заг шығарындыларымен, жарық және дыбыс эффекттермен ілеседі.

Доғаны сұйықпен сөндірумен сақтандырғышта (4.13-сурет) серіппе



4.12-сурет. Доғаны автогазбен сөндірумен сақтандырғыш:

1 — ұштық; 2 — өткізгіш; 3 — трубка; 4 — қақпақ; 5, 6 — балқымалы



4.13-сурет. Доғаны сұйықтық сөндірумен сақтандырғыштар:

1 — икемді байланыс; 2 — ұстаушы бөлігі; 3 — мыс ендірмесі; 4 — піспек; 5 — тесік; 6 — серіппе

6 доғалы аралықты созып, піспекті 4 тартады және піспекпен барлық көлемді толтыратын сұйықты тесік 5 арқылы итереді. Қарқынды құрылатын бойлық үрлеу доғаны сенімді сөндіреді.

Автогазбен және сұйықпен сөндіру 1 500 МВ-А дейін сөндіруші қабілетімен 110 - 220 кВ кернеуде сақтандырғыштарды құруға мүмкіндік береді.

Бақылау сұрақтары

1. Резисторлардың құрылым нұсқаларын атаңыз.
2. Резистордың жүктемелік қабілеті дегеніміз не?
3. Сақтандырғыштардың жұмыс істеу принципі және міндеттері қандай?
4. Сақтандырғыштардың жұмыс режимдерін атаңыз.
5. Жоғары кернеулі сақтандырғыштардың конструкциясының ерекшелігі немен тұжырымдалады?
6. Сақтандырғыштың жанып кетуі кезінде сөндіру қалай жүзеге асырылады?

СӨНДІРГІШТЕР ЖӘНЕ АЖЫРАТҚЫШТАР

5.1. Айырғылар және ауыстырып-қосқыштар

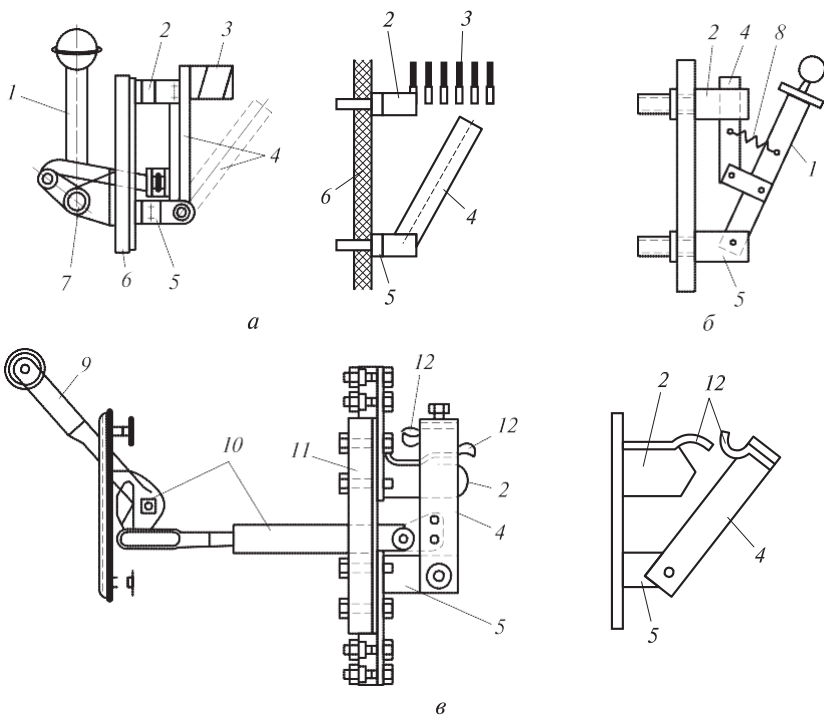
Айырғылар және ауыстырып-қосқыштар электр тізбектерін қолмен тікелей немесе қашықтан тұйықтау, ажырату немесе қайта қосу үшін арналған. Олар шамалы токтарды сөндіруге есептелген және сәйкес доға сөндіретін құрылғылардың болуы кезінде $(1,00-1,25)I_{ном}$ дейін токты сөндіруге рұқсат беріледі.

Айырғылар және ауыстырып-қосқыштар 100 А-дан және жоғары токта орындалады. Тұрақты токтың осы құрылғыларының жеке сериялары 10 кВ дейін токта шығарылады. Аз токта да (5 - 10 А) айырғылар дайындалады. Айырғылар және ауыстырып-қосқыштар бір, екі және үш полюсті болады. Олардың негізгі элементтері қозғалмайтын шаппа түйіспелер 2 (5.1-сурет), басқа қозғалмайтын түйіспелерде (тіректерде 5) топсалы бекітілген қозғалмалы түйіспелер (пышақтар) 4, доға сөндіргіш құрылғы 3 және жетек болып табылады. Оқшаулауыш негіздерде 6-11 айырғылар монтаждалады. Айырғы құрылымы артынан немесе алдынан қосылуды қарастырады. 5.1, а, в-суреттің сол бөліктерінде айырғылардың жалпы схемалары, оң бөлікте – олардың түйіспелі топтары көрсетілген.

Жетек орталық тұтқыштар 1 (5.1,б-сурет), б) бүйір тұтқыштар 1 (5.1,а-сурет), а) тұтқыштар жүйесі 9,10 арқылы (5.1,в-сурет) арқылы орталық тұтқыштар, білік 7 арқылы жүзеге асырылады.

Айырғылардың маңызды бөлігі түйіспелер болып табылады. Басым көпшілігінде бұл аппараттарда шаппа түйіспелер қолданыс табады. Аз токтағы айырғыларда түйіспелі басу сорғыш материалдың серіппелі қасиеттерінің есебінен, ал 100 А және жоғары токтарда – болат серіппелер есебінен қамтамасыз етіледі. Басуды ұлғайтумен өтпелі кедергі төмендейді, алайда басу күші үшін шектеуші фактор болып табылатын үйкелістен түйіспелердің тозуы ұлғаяды.

Аз токтар кезінде тұрақты токтың доғасын сөндіру (75 А дейін) жинақталмайтын пышақтарымен оның механикалық созылуы өтеді. Үлкен токтар кезінде сөндіру негізінен ток контурының электродинамикалық күштерінің (айырғы, доға детальдері) әрекетімен доғаны жылжыту есебінен жүзеге асырылады. Пышақ ұзындығының азаюы айырғының



5.1-сурет. Ажыратқыштардың құрылымы:

а — бүйір тұтқышы және доға сөндіргіш камерасы бар ажыратқыш; *б, в* — орталық тұтқыш жетегі және доға сөндіргіш түйіспелері бар ажыратқыштар; 1 — тұтқыштар, 2 — қозғалмайтын түйіспе; 3 — доға сөндіргіш құрылғы; 4 — пышақтар; 5 — тіректер; 6, 11 — негіздер; 7 — білік; 8 — серіппе; 9, 10 — тұтқыштар жүйесі; 12 — доға сөндіргіш түйіспелер

сөндіруші қабілетін арттыратын электрдинамикалық күштердің және магнитті өріс кернеулігінің өсуіне әкеледі.

75 А дейін токты сенімді сөндіру қамтамасыз етілетін пышақтың ұзындығы рационалды болып табылады.

Кернеуі 220 В бір фазалық ток кезінде және кернеуі 380 және 500 В үш фазалы ток кезінде электр доғасын сөндіру негізінен нөл арқылы өту кезі орын алатын катод маңы құбылыстары есебінен жүзеге асырылады. Шамамен 2 мм түйіспелер арасында қашықтық кезінде доға сенімді сөнеді. Осыған байланысты өтпелі токты айырғылардағы пышақ ұзындығын доғаны сөндіру шарттарынан емес, механикалық шарттарға байланысты таңдау керек.

Аз көлемді таратқыш жәшіктерде немесе жабық таратушы құрылғыларда айырғыларды монтаждау кезінде доға өлшемдерін шектеу мәселесі өзекті болып табылады. Доғаны сөндіргеннен кейін қалған иондалған

газдар корпустағы немесе ток өткізгіш бөліктер арасында аралықтар туғызбауы керек.

Мұндай жағдайларда айырғылар алуан түрлі доға сөндіруші камералармен жабдықталады.

Зерттеулер мен тәжірибе көрсеткендей, өзінің номиналды токтары шегінде сенімді коммутациялық қабілетке ие аз габаритті айырғыларды және ауыстырып-қосқыштарды құру үшін доға сөндіргіш камераларды қолдану қажет. Доға сөндіруші торы бар камера тиімді деп саналады.

Доға сөндіргіш түйіспелер 12 100 А жоғары ток кезінде тұрақты ток айырғыларында және түйіспелерінің ажырау жылдамдығы және олардың саңылауы доғаны сөндіру шарттарына елеулі әсер етпейтін барлық айырғыларда қолданылады. Соңғысымен сөндіріліп доға сөндіргіш түйіспелер негізгі пышақтардың күйінен қорғау үшін арналады.

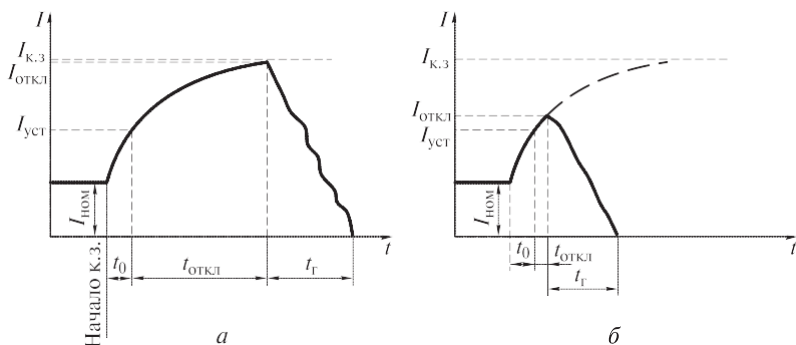
Үлкен токтардағы (1000А жоғары) айырғылар блоктардың сәйкес санын жинау жолымен бірнеше параллель пышақтармен орындалады. Блоктық құрылымдаудың мұндай қабілетінің артықшылығы тек бір блокты өңдеу қажеттілігі болып табылады. Айнымалы ток кезінде олардың арасындағы ток жеке пластиналардың жақындығы салдарынан біркелкі бөлінбейтінін ескеру керек. Айырғының номиналды тоғы бұл ретте пластиналар санына пропорционал емес, баяу өседі. Мысалы, 1 000 А үш параллель элементтер кезінде айырғының әрбір номиналды тоғы 2 500 А болады.

5.2. Төмен вольтты сөндіргіштер

Төмен вольтты сөндіргіштер апатты режимдер кезінде электр тізбектерінің (мысалы, қысқа тұйықталу, шамадан тыс жүктелім, кернеудің мүмкін емес төмендеуі немесе жоғалуы, ток бағытының өзгеруі және т.б.) кезінде электр тізбектерін автоматты қорғау (сөндіру) үшін, сондай-ақ осы тізбектердің жиі емес жедел коммутациялары үшін арналған.

Сөндіргіштердің құрылымы, параметрлері мен қорғаныш функциялары алуан түрлі. Сөндірудің тез әрекеті, яғни жеке уақыты бойынша оларды қалыпты (сөндіруге уақытты кешіктірумен) және ток шектеуші деп бөлінеді. Тез әрекет деп сөндіргіштердің құрылымдаудың негізгі принциптері анықталады. Өрісті бәсеңдету сөндіргіштерін жеке топқа бөлу керек.

Сөндірудің жеке уақыты деп бақыланатын параметр (біздің жағдайда I тізбектегі ток) түйіспелер ажырауының басталу сәтіне дейін оған белгіленген мәнінен асқан уақытты (ендірме— $I_{уст}$) (бақылау параметрінің осы сәтте $I_{откл}$ мәні болады) немесе түйіспелер ажырауының басталу сәтіне дейін сөндіруге импульсты беру уақыты $t_{откл}$ (5.2-сурет) деп түсіндіріледі.



5.2-сурет. Қалыпты (а) және ток шектеуші (б) автоматты сөндіргіштермен қысқа тұйықтау кезінде сөндіру процесін сипаттайтын қисық тізбектер

Бұл уақыт сөндіргіштің ілінісу құрылғысының құрылымына және ілінісу тәсілінен, сондай-ақ қозғалмалы жүйе массасынан, сөндіруші серіппенің күштерінен және оны жылжыту жолдарынан түйіспелердің ажырау сәтіне дейін тәуелді. Сөндіргішті сөндірудің толық уақыты деп негізінен доға сөндіргіш құрылғының тиімділігіне тәуелді доғаны сөндіру уақыты t_r плюс жеке сөндіру уақыты түсіндіріледі. Номиналды токқа және құрылымына тәуелді қалыпты сөндіргіштерді сөндірудің жеке уақыты 0,02-0,10 с құрайды.

Сөндіріс алдында іске қосылатын импульсты алғаннан кейін уақытты ұсталымымен сөндіргіштер уақыт ұсталымын жасайды. Мұндай сөндіргіштер апат орнына жуық участкені сөндіретін іріктемелі қорғау үшін қажет (5.3-сурет). Бұл түрлі уақыт ұсталымы есебінен қол жеткізіледі ($t_1 < t_2 < t_3 < t_4$).

Ток шектеуші сөндіргіштерді сөндіру уақыты 0,005 с аспауы тиіс. Жеке құрылымдарда ол 0,001 с құрайды. Бұл сөндіргіштер ток шектеуші әсерге ие және қысқа тұйықталудың кез келген іс жүзіндегі ықтимал токтарымен тізбектерді қорғау үшін қолданылады. Мысалы, $0,08$ с сөндіру уақытымен автоматты сөндіргішке $4,5 \cdot 10^6$ А/с тоғының өсірудің бастапқы жылдамдығы кезінде қысқа тұйықталудың белгіленген тоғы бар тізбекте 280 кА сөндіруге тура келеді, ал $t_{\text{ткл}} = 0,04$ сөндірілетін тоғымен 160 кА тең.

Магнитті өрісті сөндіру сөндіргіштері ірі электр машиналарын қоздыру тізбегінде қолданылады. Егер машина ішінде оқшаулаудың бұзылу нәтижесінде қысқа тұйықталу туындаса, онда апат салдарын шектеуге мүмкіндік беретін жалғыз тәсіл қоздыру орамының магнитті өрістің нөліне тез келтіру болып табылады. —

Бұл міндетті магнитті өрісті бәсеңдететін сөндіргіштер де орындайды.

Сөндіргіштердің міндетіне және тез әрекет етуіне қарамастан олар-

дың құрамына келесі негізгі элементтер кіреді: басты түйіспелі жүйе (басты түйіспелер), доға сөндіргіш жүйе, жетек, ағытушы құрылғы, ағытқыштар және қосымша түйіспелер.

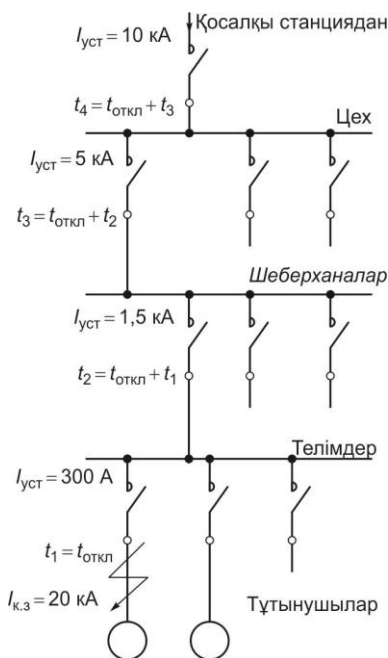
Б а с т ы т ү й і с п е л і ж ү й е — оның негізгі параметрлерін анықтайтын сөндіргіштің маңызды элементі. Ол:

- қыздырмай және тотықпай, номиналды ток кезінде ұзақ жұмыс режимін қамтамасыз етуі;
- зақымданбай заманауи өнеркәсіп қондырғыларында 75 - 100 кА, қысқа желілері бар жеке энергия сыйымдылықты өндіріс кезінде 150 - 200 кА жететін қысқа тұйықталудың үлкен тоғын сөндіруге және қосуға қабілетті болуы тиіс.

Осыған орай жоғары сөндіруші қабілетімен орта және үлкен токтарға сөндіргіштерде мысалы негізгі және доға сөндіруші түйіспелерден тұратын көп сатылы түйіспелі жүйелер қолданылады.

Металлқышты пайдалану үлкен токта заманауи сөндіргіштерде екі сатылы, ал шағын және орта (630 А дейін) токтарда сөндіргіштерде – бір сатылы (көпірлі, тұтқышты) түйіспелі жүйелерді қолдануға мүмкіндік береді.

Орта және үлкен токтарға түйіспелі жүйелер электрдинамикалық



5.3-сурет. Іріктемелі қорғаныс схемасы

күштерді өтеумен орындалады. Электродинамикалық өтеу принципі ең тиімді санау керек. Теңелтуші күш (электродинамикалық күштер сияқты) ток квадратына пропорционал өседі және жүйені теңелтуші күш лақтырушы күштен үнемі асып түсетіндей орындауға болады. Электромагнитті өтем үлкен ток кезінде тиімсіз болады, себебі магнитті жүйені қанықтыру кезінде (10 - 25 кА тоғы кезінде) теңелтуші күш токтың ұлғаюымен аз өседі, сол уақытта лақтырушы күш ретінде ток квадратына пропорционал ұлғаюын жалғастырады. Жеке жағдайдарда түйіспегі ток шектеуші күш сөндіргіштің ток шектеуші әсерін (тез әрекетін) алу үшін қолданылады. Сөндіргіштің кинематикалық жүйесін электродинамикалық күштердің әрекетімен түйіспені лақтыру уақытында түйіспелі жүйелердің ажыруы өтетіндей және түйіспелер ыдырайтындай орындайды. Түйіспелерді қайта тұйықтау өтпейді.

Түйіспелі жүйелердің номиналды токтарын арттыру сұйықпен, атап айтқанда, сумен салқындату есебінен, ал сөндіргіштердің номиналды токтарын арттыру – параллель түйіспелі жүйелерді қолдану жолымен ықтимал.

Доғасөндіргіш жүйе шектеулі көлемде қысқа тұйықталудың үлкен токтарының сөндірілуін қамтамасыз етуі тиіс. Туындайтын электродинамикалық күштердің әрекетімен доға тез созылады және сөнеді, алайда оның жалыны өте үлкен кеңістігін алады. Доғасөндіргіш құрылғының міндеті доға өлшемдерін шектеуінде және аз көлемде оның сөндірілуін қамтамасыз етуінде. Осыған орай тар саңылаулары бар камера мен доғасөндіргіш торлары бар камера кең таралған. Заманауи құрылымда жалын сөндіретін тор плюс доғасөндіретін торы бар камера, жалын сөндіретін тор плюс тар саңылаудағы доғасөндіретін торы бар камера және т.б. сияқты құрамдастырылған құрылғылардың түзілуіне әкелетін жалын сөндіргіш торлар кеңінен қолданысын табады.

Жетек қандай да бір команда бойынша (оператор, автоматты басқару жүйелері және басқалары) сөндіргішті сөндіру үшін арналған. Сөндіргіштер қол немесе қозғаушы жетекті және сонымен берге басқа болады. Қозғаушы жетек деп оператордың бұлшықет күштерінен басқа, кез келген энергия көзімен (электр магнитпен электр қозғалтқышымен, пневматикалық, гидравликалық жүйелермен және т.б.) жасалатын күштерді қолданатын жетек түсіндіріледі. Сөндіргішті сөндіру ағытушы құрылғыларды ажыратудан кейін серіппелермен жүзеге асырылады. Ағытушы құрылғы:

- қорғалатын тізбектегі жұмыстың қалыпты емес режимі кезінде тұтқыштың қосулы күйінде сөндіргіш түйіспелерін ұстау мүмкіндігін жою үшін;

- операторға, жетек түрі мен массасына тәуелді емес түйіспелерді ағыту жылдамдығын, сәттік сөндіруді қамтамасыз ету үшін арналған.

Ағытушы құрылғы сөндіруші серіппелермен қосылған

қозғалмалы түйіспе жүйесімен қосу жетегін біріктіретін топсалы байланысты тұтқыштардың жүйесін көрсетеді. Құрылғының жұмыс істеу принципін 5.4-сурет түсіндіреді.

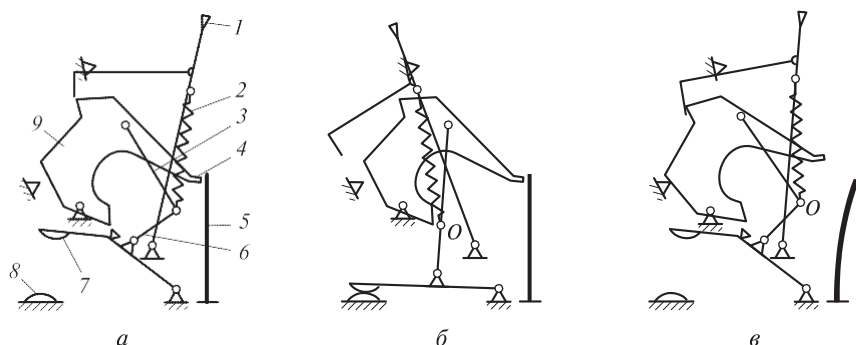
«Қайырулы» күйінде (5.4-сурет, а) түйіспелер 7 және 8 тұйықталған, ал фигуралы тұтқыш 9 білікті 5 сөндіретін ілініспен 4 қойылған. Мұндай жағдай тұтқыштарды 1 оңға бұру кезінде алынады. Тұтқыштарды 1 оңға бұру кезінде сөндіруші серіппе 2 сынғыш тұтқыштарды 3 және 6 тұтқыштағы 9 топсаның О тіреуіне дейін өлі күй арқылы аударады. Бұл ретте түйіспелер 7 және 8 тұйықталады, сөндіргіш «қосулы» күйге өтеді (5.4-сурет, б).

Қорғалатын тізбектегі жұмыстың қалыпты емес жағдайлардың туындай жағдайында сәйкес ажыратқыш сөндіруші білікті 5 бұрады және оны фигуралы тұтқыш

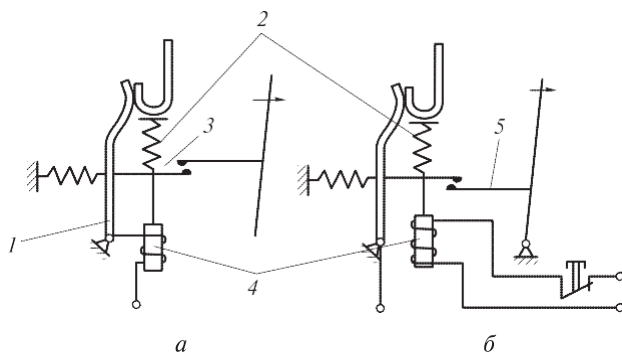
Қорғалатын тізбектегі қалыпты емес жұмыс жағдайының туындау жағдайында сәйкес ажыратқыш сөндіруші білікті 5 бұрады және оны фигуралы тұтқышпен 9 оны ажыраудан шығарады. Сөндіруші серіппелер әрекетімен фигуралы тұтқыш бұрылады және сынғыш тұтқыштар 3 және 6 өлі күй арқылы оңға бұрылады. Сөндіруші серіппе тұтқыштарды «сындырады» және түйіспелерді 7 және 8 ажыратады, сөндіргіш «автоматты сөндірілген» күйде қалады (5.4-сурет, в). Қайта қосу үшін тұтқышты оңға бұру және сөндіруші білікпен фигуралы тұтқышты 1 ілініске енгізу қажет.

Ажыратушы құрылғылардың құрылымы өте алуан түрлі, алайда олардың әрекеті сипатталғандарға ұқсас. Схемалы ағытушы құрылғы екі ажыратылған тұтқыштар түрінде сипатталады.

Автоматты сөндіргіштердегі сөндіруші және түйіспелі серіппелер ондаған және жүздеген ньютондарға күштерді дамытады, алай-



5.4-сурет. «Қайырулы» (а), «қосулы» (б), автоматты сөндірулі жағдайларында автоматты сөндіргіштің ағытушы құрылғыларының схемалары: 1 — тұтқыш; 2 — серіппе; 3, 6 — сынғыш тұтқыштар; 4 — ілініс; 5 — білік; 7, 8 — түйіспелер; 9 — фигуралы тұтқыш



5.5-сурет. Ең жоғары ток ағытқыштар (а) мен ең төмен ағытқыштар (б) схемалары:

1 — ток өткізгіш шина; 2 — серіппе; 3 — ағытушы құрылғы; 4 — якорь; 5 — ысырма

да ажыратушы құрылғылардың тұтқыштар жүйесі ажырату үшін шамалы күштер талап етілетіндей құрылады. Бұл сезімталдығы жоғары дәрежемен жеңіл ағытқыштардың болуына мүмкіндік береді. Ағытқыштар қорғалатын тізбектің берілген параметрін бақылайды және ажырау механизміне әрекет етіп, осы параметрдің мәндерін белгіленгеннен сөндіру кезінде сөндіргішті сөндіреді. Олар соңғы немесе оған бейімделген құрылымның элементтерін қолданумен сөндіргішке кіріктірме реледен немесе реле элементтерінен тұрады.

Соңғы уақытта жартылай өткізгіш реле және олардың элементтер базасында ағытқыштар көп қолданыс табады. Бұл ретте ағытқыштардың бақылаушы және салыстырушы органдары ажырау механизміне әсер ететін тәуелсіз электр магнитті ажыратқышқа (атқарушы орган) шығысымен жартылай өткізгіш элементтерде орындалады. Орындауға байланысты ағытқыштардың келесі түрлерін ажыратады:

- тоқтық барынша лездік немесе баяу әрекеттер (соңғылары жүктемені ағытқыштар ретінде қолданылады);
- ең төмен (белгілі бір деңгейден төмен кернеуді төмендету кезінде сөндіргішті сөндіру үшін) және тәуелсіз (оларға сәйкес кернеуді беру кезінде іске қосылатын сөндіргіштің қашықтан сөндіру үшін) кернеулер;
- ток бағыттарын өзгерту кезінде іске қосылатын кері ток;
- токтың мәніне және оның өту уақытына байланысты іске қосылатын жылу (әдетте жүктемеден қорғау үшін қолданылады);
- бірқатар факторларды үйлестіру кезінде іске қосылатын құрамдастырылған.

Тез әрекет ететін тоқтық барынша ажыратқышпен сөндіргіштің сыхбасы 5.5, а-суретте көрсетілген. Сөндіргіш полюсінің ток өткізгіш ши-

насы біліктен және якорьден 4 тұратын магнитті өткізгішті қамтиды. Ток белгілі бір мәннен жоғары болғанда, электрмагниттің тартқыш күші серіппелердің 2 күшін арттырады, якорь білікке тартылады және сол арқылы ағытушы құрылғыны босатып сөндіруші білікті бұрады. Іске қосылу тоғы серіппелердің 2 созылу күштерінің өзгеруін реттейді.

Кернеудің ең төмен ажыратқышы (5.5, б-сурет) біліктен, якорьден 4 және бақыланушы кернеуге әкелетін орауыштан тұратын электромагнитті болады. Қалыпты режимде якорь тартылады.

Бақыланатын кернеу белгілі бір мәннен (ендірмеден) төмен болғанда, якорь реттеуші (сөндіруші) серіппелер 2 әрекетімен түседі, және ілмек 5 арқылы ағытушы құрылғыға әсер етіп сөндіргішті сөндіреді.

Магнитті жүйе ағытқыштар номиналды кернеу кезінде орауыштың МҚК якорьды созу үшін жеткіліксіз, алайда оны ұстау үшін жеткілікті. Сөндіргішті қосуға дайындар кезінде якорь сөндіргіш білігімен байланысты тұтқыштар көмегімен білікке тартылады.

5.3. Жоғары вольтты сөндіргіштер

Жоғары вольтты сөндіргіштер номиналды жұмыс режимінде жоғары кернеу тізбектерінің жедел тұйықталуы және ажыруы және апатты режим кезінде (артық жүктелім, қысқа тұйықталу және т.б.) осы тізбектерді автоматты ажырату үшін арналған. Қысқа тұйықталу кезінде тізбекті автоматты және жеткілікті тез сөндіру қысқа тұйықталудың үлкен токтарының әрекеттерінен қымбат электр жабдықтарының бұзылуының және зақымдануының алдын алатын сөндіргіштің негізгі және ең жауапты операциялары, сондай-ақ энергия жүйесінің қалыпты жұмыс істеуінің ықтимал бұзылулары болып табылады.

Сөндіргіштер 50 МВ –А-дан 40 000 МВ-А дейін сөндіру қуаты кезінде 3-тен 750 кВ дейін номиналды кернеуде, 50 А-дан 20 кА дейін номиналды токта орындалады.

Сөндіргіш құрылымын анықтаушы негізгі фактор доғаны сөндіру тәсілі болып табылады. Осыдан бұл сөндіргіштер келесі негізгі топтарға бөлінеді:

1) май сөндіргіштері — доғаны сөндіру майда өтеді. Бұл топқа тек доға сөндіргіш ортасы болатын майдың аз көлемді аз май сөндіргіштері және ток өткізгіш бөліктері болып табылатын майдың үлкен көлемі болатын бак сөндіргіштері кіреді;

2) ауа сөндіргіштері — доғаны сөндіру арнайы көзден алынатын сығылған ауа ағынымен жүзеге асырылады;

3) ауа автопневматикалық сөндіргіштер — доғаны сөндіру үшін қажетті сығылған ауа сөндіруші серіппелер энергиясының есебінен құрылады;

4) автогаз сөндіргіштері — доғаны сөндіру электр доғасының жоғары температурасының әрекетімен камера қабырғасынан бөлінетін газдармен жүзеге асырылады;

5) сығылған элегазы бар сөндіргіштер— доғаны сөндіру алты фторлы күкірт ортасында өтеді;

6) электромагнитті сөндіргіштер — доғаны сөндіру алуан түрлі камераларда магнитті үрлеу көмегімен жүзеге асырылады;

7) вакуумдық сөндіргіштер — доғаны сөндіру вакуумда өтеді.

Аталған топтардың әрқайсының сөндіргішімен олардың қолдану аясын анықтайтын кемшіліктері мен артықшылықтары тән.

Бірінші екі топтағы сөндіргіштер кернеудің, токтың және сөндіру қуатының барлық шкаласында орындалады. Олар ішкі және сыртқы қондырғы үшін дайындалады. Қалған бес топтың сөндіргіштерінің сөндірудің салыстырмалы аз қуаты ($50\text{--}300\text{ МВ} \cdot \text{А}$), токтары ($300\text{--}600\text{ А}$ дейін) және кернеуі ($6\text{--}15\text{ кВ}$ дейін) болады. ерекшелік жеке құрылымдары $35 - 220\text{ кВ}$ кернеуде, сонымен бірге сөндірудің аз қуаттарымен орындалатын сығылған элегазы бар сөндіргіштер мен вакуумдық сөндіргіштер құрайды. Соңғы бес топтың сөндіргіштері көбіне кернеудің сөндіргіштері және кернеудің жұмыс токтарымен тізбектің қосылуын және сөндірілуін жүзеге асыратын және қысқа тұйықталу токтарын сөндіруге арналмаған аппараттары ретінде қолданылады.

Әрбір топтың сөндіргіштері бөлінеді:

- әрекет ету уақыты бойынша — тез әрекет ететін, жеделдетілген әрекетте және тез әрекет етпейтін;

- фазалар саны бойынша - бір фазалық және үш фазалық;

- фазаға тізбектің ажырау орнының саны бойынша — бір, екі және көп есе ажырауы бар сөндіргіштерде;

- жетегі бар құрылымдық байланыс бойынша – жеке етегі бар және кіріктірме жетегі бар сөндіргіштерде. Екі жағдайда да жетек не қолмен, не қозғалтқыш сөндірумен болуы мүмкін;

- орнату түрі бойынша— ішкі және сыртқы орнатуға арналған, сондай-ақ жарылыс қаупі бар ортаға арналған сөндіргіштерде;

- автоматты қайтамала қосудың (АҚК) болуы бойынша — бір дүркін, бірнеше дүркін, фаза бойынша және тез әрекет ететін қайталама қосу (ТӘҚК) сөндіргіштерінде;

- тарату құрылғыларының схемаларында орындалатын функциялар бойынша – генераторлық және таратушы (соңғылары фидерлік және кіші станциялық деп бөлінеді).

Генераторлы сөндіргіштер номиналды токтардың (бірнеше ондаған мың амперге дейін) және сөндіру қуатының (ондаған мың мегавольт-ампер) үлкен мәндерімен, кернеудің ($6, 20\text{ кВ}$) және сөндіру уақыты ($0,1 - 2\text{ с}$) салыстырмалы шағын мәндерімен сипатталады.

Тарату (фидерлік) сөндіргіштер номиналды токтардың ($300\text{--}600$

А) және сөндіру қуаттарының (100 - 300 МВ·А) генераторлық аз мөндерімен, АПВ болуымен және сөндірудің біршама аз уақыттымен ерекшеленеді.

Кіші станциялық сөндіргіштер жоғары номиналды кернеумен (110 - 150 кВ), сөндірудің үлкен қуатымен, тез әрекет етуімен (сөндіру уақыты – 0,008 - 0,010 с) және бір дүркін, бірнеше дүркін және фаза бойынша әрекеттердің АПВ болуымен сипатталады.

Номиналды кернеу мен токтан басқа жоғары вольтты сөндіргіштердің сипаттамасы үшін келесі параметрлер қолданылады:

- қосу тоғы $I_{вкл}$ — сөндіргіш сөндіру тоғымен түйіспелерді келесі пісірусіз қосуға қабілетті токтың ең үлкен амплитудалы мәні;

- сөндірудің номиналды $I_{откл.ном}$ және шекті Іпред токтар, яғни сәйкесінше номиналды және төмен кернеу кезінде зақымдамай сөндіруге қабілетті сөндіргіш;

- келесі формула бойынша үш фазалы сөндіру кезінде анықталатын сөндірудің номиналды қуаты $P_{откл}$

$$P_{откл} = \sqrt{3} U_{ном} I_{откл.ном};$$

- динамикалық тұрақтылық тоғы $I_{дин}$ — түйіспелерді лақтырмай және зақымдамай сөндіргішті өткізуге қабілетті токтың максималды мәні;

- белгілі бір уақытта әрекет ететін термиялық төзімділік тоғы $I_{терм}$ — сөндіргіші зақымдамай өткізуге қабілетті ток;

- қосу уақыты, жеке сөндіру уақыты және толық сөндіру уақыты.

Мысал үшін май бак сөндіргіштерін қарастырамыз. Олар 50-25 000 МВ · А сөндіру қуаты кезінде номиналды ток (50 - 20000 А) және кернеу (3 - 750 кВ) барлық шкалада орындалады. 3.20 кВ кернеуде мұндай сөндіргіштер қолмен, қашықтан және автоматты басқарумен бір бакті (бір бакте үш фаза) және АПВ, 35 кВ және одан жоғары кернеуде —бірнеше дүркін әрекетті АПВ және БАПВ және қашықтан немесе автоматты басқарумен және сыртқы орнату үшін үш бакті (жеке бактегі әрбір фаза) дайындалады.

Майлы бак сөндіргіші майы бар бакте орналасқан түйіспелі және доға сөндіргіш жүйеден және бак ішінде табылатын жетектен тұрады.

Бактердің дөңгелек, эллипстік немесе тура бұрышты қимасы болады. Бірінші екі жағдайда бактың беріктігі аса жоғары, алайда көлемі аз, соңғысында беріктігі де, көлемі де аз. Қазіргі уақытта шағын көлемде оның жоғары беріктігін қамтамасыз ететін бактің жасымық тәрізді пішіні қолданыста.

Бакке трансформатор майы белгілі бір деңгейге дейін құйылады. Бак қаппағы мен май бетінің арасында біршама еркін көлемі қалуы тиіс (әдетте бак көлемінің 20- 30 %) — газ бұрушы түтік арқылы қоршаған кеңістікпен біріктірілген ауа буферлік таяныш. Мұндай таяныш сөндір-

гішті сөндіру кезінде бак қабырғасында әрекет ететін қысымды азайтады, бактен май шығарындыларын жояды және шамадан тыс қысым кезінде жарылыстан сөндіргішті сақтайды.

Түйіспелердің ажырау орнында май деңгейінің биіктігі майдың ыдырауы кезінде бөлінетін ыстық газды ауа таянышына лақтыруды сөндіру уақытында жою сөндіру уақытында жоятындай болуы тиіс. Осы газдардың олқылығы жарылғыш қоспаның (шатырлақ газ) түзілуіне және сөндіргіштің жарылуына әкелуі мүмкін. Түйіспелердің ажырау орнында май деңгейінің биіктігі номиналды кернеумен және сөндірілетін қуатпен анықталады. Мысалы, сөндірілетін қуаты $200\text{--}400\text{ МВ} \cdot \text{А}$ 6-10 кВ кернеудегі сөндіргіште ол 300 - 600 мм, ал $3\,500\text{ МВ} \cdot \text{А}$ сөндірілетін қуатпен 220 кВ кернеудегі сөндіргіште 2 300 - 2 500 мм құрайды.

Бүйір және айырлы түйіспелер кең таралған.

3 - 6 кВ кернеу кезінде және аз сөндірілетін қуат кезінде майдағы ажырау кідірісі қолданылады; 10 кВ дейін кернеуде және $100\text{ МВ} \cdot \text{А}$ дейін сөндіру қуаты кезінде — қарапайым доға сөндіргіш камералар; 35 кВ және жоғары кернеу кезінде — бірнеше дүркін ажыраумен бойлық, көлденең немесе бойлық-көлденең үрлеумен доға сөндіргіш құрылғылар.

5.4. Ажыратқыштар, бөлгіштер және қысқа тұйықтағыштар

Ажыратқыштар — бұл жүктеме тоғының болмауы кезінде кернеу астындағы электр тізбектерінің учаскелерін қосу және сөндіру үшін арналған аппараттар. Олар тізбектің қандай да бір учаскесін токсыздандыру үшін, сондай-ақ қажетті схеманы таңдау және ауыстырып-қосуды орындау үшін барлық жоғары вольтты қондырғыларда қолданылады. Әдетте ажыратқыштары бар барлық операциялар токсызданған тізбектер кезінде жасалады. Қауіпсіздік техникасының элементі ретінде ажыратқыш осы мақсаттар үшін сөндірусіз ажыратқыштар қолданылатын төмен вольтты қондырғыларда қолданылады.

Ажыратқыштар токтар мен кернеудің барлық шкаласында ішкі және сыртқы орнату үшін дайындалады. Олар жалпы жиекте үш полюсті (әдетте 35 кВ дейін кернеу кезінде) және бір полюсті орындауда (өте жоғары кернеу кезінде) жасалады. 35 кВ жоғары кернеу кезінде фазалар арасында талап етілетін қашықтықтар жеткілікті зор және ортақ жиек шамадан тыс үлкен және ауыр болады.

Ажыратқыштың негізгі элементтері оның түйіспелері болып табылады. Олар номиналды режимде, сондай-ақ қысқа тұйықталудың өтпелі токтары мен жүктелім кезінде сенімді жұмыс істеуі тиіс. Оқшаулаудың

кызуу, динамикалық және термиялық төзімділігі, электрлік және механикалық беріктігі ажыратқыштардың есептелуі және құрылымдауының басты мәселелері болып табылады. Ажыратқыштарда жоғары түйіспелі басулар қолданылады. Үлкен ток кезінде түйіспелер бірнеше (сегізге дейін) параллель пластинаны орындайды, тік бұрышты, швеллерлік және дөңгелек қималы пластиналарды орындайды. Жоғары электрдинамикалық тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін электрмагнитті және электрдинамикалық компенсаторлар кең қолданылады («құлыптар» деп жиі аталады).

Ажыратқыштар қолмен істелетін, электр қозғалтқыш немесе пневматикалық жетекпен жабдықталады. 35 кВ дейін кернеу кезінде аз токтарда ажыратқыштар оқшаулау штангасының көмегімен қолмен басқарылады. 3 000 А дейін номиналды ток кезінде қолмен тұтқыш жетек; 3 000 А жоғары ток кезінде – қолмен бұрамдықты жетек өте кең таралды. Электр қозғалтқыш және пневматикалық жетектер қолмен басқару қиын немесе мүмкін емес болғанда, сондай-ақ қашықтан немесе автоматтандырылған басқару кезінде ауыр ажыратқыштармен басқару үшін қолданылады.

Ірі апатқа және жазатайым оқиғаларға әкелуі мүмкін токпен ажыратқыштардың ажырауына жол бермеу үшін ажыратқыш үнемі сөндіргішпен бұғатталады. Бұғаттау тек сөндірулі сөндіргіш кезінде ажыратқышпен операция жасауға жол береді. Орындау бойынша бұғаттау механикалық, механикалық-құлыпты немесе басқаша болады.

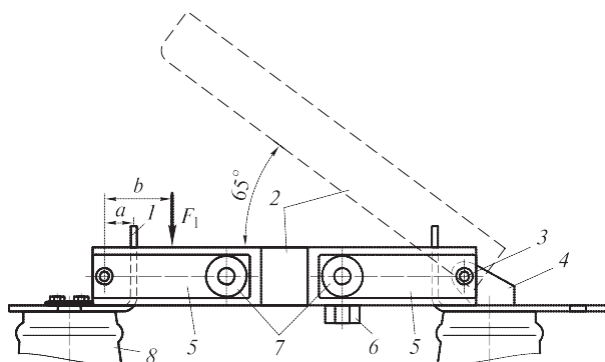
Ажыратқыш құрылымының негізгі айырмашылығы қозғалмалы түйіспенің қозғалыс сипатынан тұрады.

Ішкі орнату үшін жарғыш типті ажыратқыштарды орындау мысалы 5.6-суретте келтірілген. Бір және үш полюсті орындауда ұқсас құрылымдар 35 кВ дейін кернеуде және 6 кА дейін токта шығарылады.

Ажыратқыштар полюсі тірек оқшаулауыштарында 8 бекітілген өткізгіштермен қозғалмайтын түйіспелерден тұрады. Қозғалмалы түйіспе (пышақ) 3 қозғалмайтын түйіспені қамтитын және осы 3 айналатын екі тік бұрышты пластинадан тұрады. Ось мойынтірекке 4 бекітілген. Түйіспелі басу оське топсалы бекітілген болат пластиналар 5 арқылы әрекет ететін серіппелерді 7 қамтамасыз етеді.

Сөндірулі күйдегі пластиналар арасындағы минималды қашықтығы қашықтық төлкесімен бекітіледі. Қозғалмалы түйіспе жетекпен қосу үшін айырмамен 6 жабдықталған. Барлық полюстер бір болат плитада немесе жиекте монтаждалады және ортақ жетегі болады.

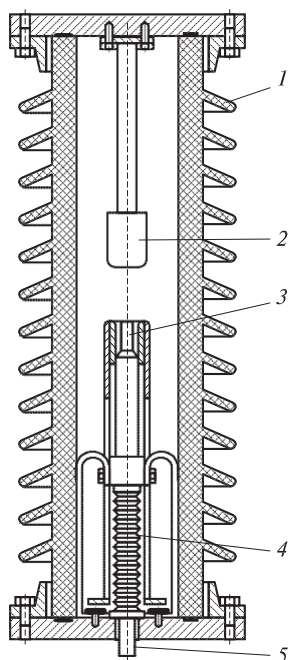
Болат пластиналар 5 бір уақытта қысқа тұйықталу тоғы кезінде электрдинамикалық күштердің электрмагнитті компенсаторы болып табылады. Қозғалмалы түйіспені қамтитын магнитті ағын көрсетілген пластиналар арқылы тұйықталып, оларды тартуға тырысады. Егер пластинаны тартатын электр магнитті күштер F_1 тең болса, онда қозғалма-



5.6-сурет. Ішкі орнатуға арналған ажыратқыш (6- 10 кВ, 400- 600 А):
1 — қозғалмайтын түйіспе; 2 — қозғалмалы түйіспе (пышақ); 3 — ось; 4 — мой-
ынтірек; 5 — болат пластиналар; 6 — айыр; 7 — серіппелер; 8 — оқшаулағыш

лы түйіспе пластинасын қозғалмайтын түйіспе пластинасына қысатын қосымша күштер $F = F_1 b/a$.

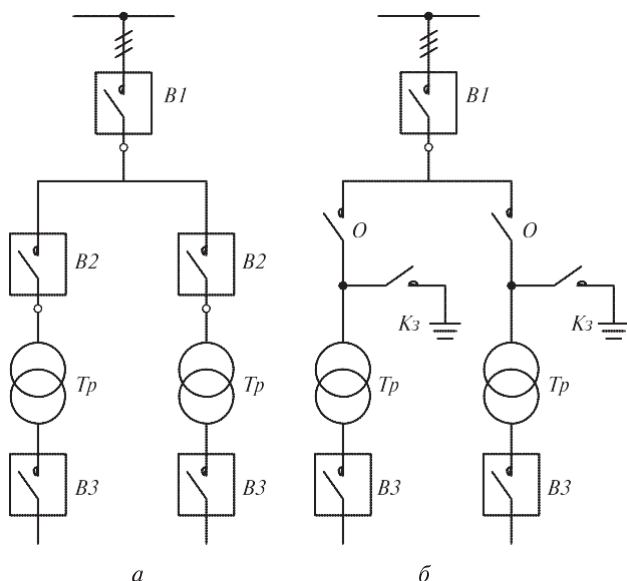
Бөлгіш — бұл онда ток болмаған сәтте, яғни желінің қоректендіруші соңында орнатылған сөндіргішпен құрылатын АПВ токсыз үзілісі кезеңінде электр тізбегінің зақымданған учаскелерін қорғаныш құрылғының әрекетімен тез автоматты сөндіретін аппарат. Егер қарапайым ажыратқышта сөндіру жылдамдығы аз болса, онда бөлгіштегі сөндіру процесі 0,5- 1,0 с созылады. Бөлгіштің құрылымының негізінде тартқышында сығылған күйде (іске қосылған) күйде ілгекпен ұсталылатын сөндіруші серіппе орналасатын ажыратқыш салынған. Ажыратушы электромагнитке кернеу беру кезінде серіппе босайды, нәтижесінде бөлгіш іске қосылады.



Қысқа тұйықтағыш — бұл ондағы бұзылу кезінде электр тізбектерінің тез автоматты қысқа тұйықталу құрылғысының әрекетімен құру үшін арналған аппарат. Құрылымдық қысқа тұйықтағыш тез әрекет ететін жетегі бар ажыратқыштан тұрады. Қазіргі уақытта ең перспективалы элегаздық қысқа тұйықтағыш болып табылады (5.7-су-

5.7-сурет. Элегаздық қысқа тұйықтағыш (110 кВ):

1 — фарфорлы цилиндр; 2, 3 — түйіспелер; 4 —
сильфон; 5 — тарту күші



5.8-сурет. Тек сөндіргіштермен (а) және бөлгіштермен және қысқа тұйықтағыштар бар тізбектерді орналастыру схемалары (б):

B_1 — B_3 — сөндіргіштер; T_p — трансформатор; O — бөлгіш; K_3 — қысқа тұйықтағыш

рет). Оның түйіспелері 2 және 3 фарфор цилиндрде 1 орналасқан. Цилиндр ішіндегі элегаз қысымы 0,5 МПа құрайды. Қозғалмалы түйіспе жетегі тартқышпен 5 жүзеге асырылады. Сильфон 4 іске қосылу уақыты қарапайым қысқа тұйықтаушыларға қарағанда 4-5 есе аз аппараттың бітелуін қамтамасыз етеді.

Жоғары вольтты кіші станцияларда кіріс сөндіргіші B_2 қысқа тұйықтауышпен K_3 үйлесімде бөлгішпен O алмастырылады (5.8-сурет). Мұндай ауыстыру оның сенімділігін нашарлатпай, қорғаныш қондырғысын айтарлықтай жеңілдетуге және арзандатуға мүмкіндік береді.

5.8, а-суретте көрсетілген схема кезінде трансформатор T_p бұзылу жағдайында сөндіргішпен B_2 сөндіріледі. 5.8, б-суретте көрсетілген схема кезінде қорғау құрылғысының сигналы бойынша жерде металл қысқа тұйықталуды құрып, қысқа тұйықтауышты K_3 іске қосады. Бұл желі басындағы сөндіргіштің B_1 іске қосылуына әкеледі. Токсыз үзіліс уақытында автоматты қайталама қосу ақаулы трансформаторды сөндіріп бөлгішке O тұйықталады. Сөндіргіш B_1 қалған трансформаторларда қуат көзін қалпына келтіріп қайта қосылады.

Бөлгіштен ол АПВ циклінің токсыз үзілісі уақытында тізбекті толығымен сөндіруге үлгеретіндей тез әрекетті талап етеді.

5.5. Реакторлар және электр тоғын ажыратушылар

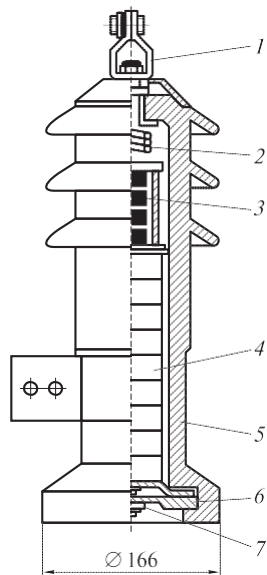
Реактор — бұл апатты режимдер кезінде желідегі кернеуді ұстау және қысқа тұйықталу токтарын шектеу үшін арналған өзгеріссіз индуктивті орауыш.

Әдетте қуат көзіне (генераторға) тұтынушылардың бірнеше желілері қосылады, сондықтан $I_{\Gamma} \gg T_{\Gamma}$.

Сондықтан, реактордың реактивті кедергісі $X_{\Gamma} \gg X_{\Gamma}$ және желіде қысқа тұйықталу жағдайында ток реактор параметрлерімен ғана шектеледі. Реактор сенімді аппарат болып табылады және желі аппаратура-сын таңдау осы реактордың кедергісімен анықталатын қысқа тұйықталу тоғы бойынша реактордың кедергісімен анықталатын қысқа тұйықталу тоғы бойынша жасалады, бұл таратушы құрылғыны едәуір жеңілдетеді және арзандатады. Қысқа тұйықталу кезінде іс жүзінде барлық кернеу реактордың индуктивті кедергісіне түседі, сондықтан шинадағы кернеу номиналдыға жуық алынады.

Электр тоғын **ажыратушылар** электр машиналарында және аппараттарда оқшаулау кідірісін тудыруы мүмкін артық жүктемеден (мысалы, жай разрядтары кезінде) электр қондырғысын қорғау үшін қолданылады. Электр тоғын ажыратушы қысқа уақытта қауіпті кернеу пайда болатын тізбекті учаске жерімен жалғайды және сол арқылы электр қондырғысын сақтайды.

Кіші станцияларда вентильді (вилитті) электр тоғын ажыратушылар кең таралған (5.9-сурет). **Вилит** — бұл кернеуді арттыру кезінде кедергіні шұғыл төмендету қасиетіне ие болатын кермикалық құрам. Кернеуді төмендеткеннен кейін вилитті дисктердің кедергісі қалпына келтіріледі және жердегі тізбек үзіледі.



5.9 -сурет. 10 кВ кернеуге вилитті электр тоғын ажыратушылар:

- 1 — желіге қосуға арналған қысқыш; 2 — серіппе; 3 — ұшқынды аралықтар; 4 — валит дисктерінің блогы; 5 — фарфор қаптамасы; 6 — тығыздау; 7 — жерге тұйықтаушы қысқыш

Бақылау сұрақтары

1. Таратушы құрылғылардағы электр тізбектерінде ажыратқыштар мен ауыстырып-қосқыштардың міндеті қандай?
2. Электр тізбектерінде автоматты сөндіргіштер не үшін орнатылады?
3. Ажыратқыштарда және сөндіргіштерде электр доғасын сөндіру қалай жүзеге асырылады?
4. Қандай элементтер төмен вольтты және жоғары вольтты сөндіргіштерден тұрады?
5. Сөндіргіштердің негізгі сипаттамаларын атаңыз.
6. Қандай электр аппараттары ажыратқыштар және бөлгіштер деп аталады; олардың айырмашылығы неде?
7. Қысқа тұйықтағыштар не үшін қолданылады?
8. Реакторлар мен электр тоғынан ажыратқыштардың функциялары қандай?

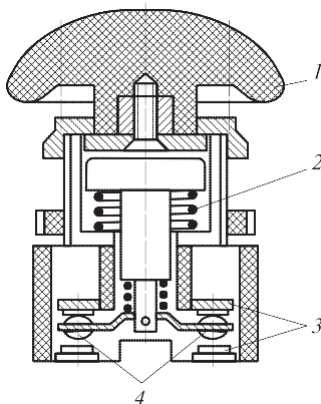
БАСҚАРУ АППАРАТТАРЫ

6.1. Басқару батырмалары

Қарапайым басқару аппараты немесе команда аппараты басқару батырмасы болып табылады. Ол негізгі тізбекті коммутациялайтын түйістіргіштерді электромагнит тізбектерін тұйықтау және ажырату жолымен электр қозғалтқыштарын іске қосу, токтату және реверс сияқты алуан түрлі схемаларда қолданады.

Батырманың негізгі бөлігі қимасы 6.1-суретте көрсетілген батырмалық элемент болып табылады. Жұмыс сенімділігін арттыру үшін түйіспелер күмістен жасалады. Айнымалы ток кезінде доға 500 В дейін кернеу мен 3 А ток кезінде екі ажыраудың болуының арқасында жақсы сөнеді. Тұрақты ток кезінде доға нашар сөнеді: 440 В кернеу кезінде элемент 0,15 А дейін ғана токты сөндіреді. Батырма айнымалы токтың электромагниттерін қосатындықтан, түйіспелер 60 А жететін түйістіргіш орамының іске қосу тоғын тұйық күйде сенімді өткізуі тиіс. Басқару схемаларын тізбекті сөндіру батырмамен емес, онымен жүйелі қосулы қуатты аппаратпен жасайтындай жобалаған жөн.

Егер сағатына қосылу жиілігі үлкен белгілі бір бағдарлама бойынша басқарудың бірнеше тізбектерін ауыстырып-қосуды қажет болса, онда команда контроллерлер қолданылады.



6.1-сурет. Батырмалық элемент:

1 — батырма; 2 — серіппе; 3 — қозғалмайтын түйіспе; 4 — қозғалмалы түйіспелер

Реттелмейтін жұдырықшалы команда контроллерлері кең таралды. 6.2-суретте тұрақты токтың команда контроллерінің қимасы көрсетілген. Оның әрекет ету принципі жұдырықшалы күш контроллерінің әрекет ету принципіне ұқсас. Көпірлі түйіспені сөндіру 2 кезінде доғаның сөнуін жеңілдететін екі ажырау құрылады. Түйіспелердің жұдырықшалы жетегі, түйіспеден тұтқыштың 4 айналу орталығына дейін елеулі қашықтығы, түйіспелердің үлкен ерітіндісі батырмалы элементпен салыстырғанда сөндіру тоғын шамамен 4 есе ұлғайтуға мүмкіндік береді. Команда контроллері білігінің күйі тұтқышты бекіткіш және серіппелер 1 көмегімен бекітіледі. Түйіспелердің тұйықталу және ажырау сәттері жұдырықша бейініне 5 тәуелді. Команда контроллердің білігін айналдыру кезінде өз кезегінде қозғалтқыштың күш тізбектеріндегі коммутацияны жүзеге асыратын сәйкес күш түйіспелерімен басқару өтеді.

Аппараттың іске қосу сәтін өте дәл реттеу қажеттілігі болған жағдайда команда контроллердің реттелмелі жұдырықшалы командасын қолданады. Мұндай контроллер элементінің құрылысы мен әрекет ету принципін қарастырамыз.

Болат білікте 1 (6.3-сурет) окшаулау материалынан жасалған диск 3 бекітілген. Диск шеңбері бойынша жұдырықшалар 2 және 7 бекітілетін саңылаулар орналасқан.

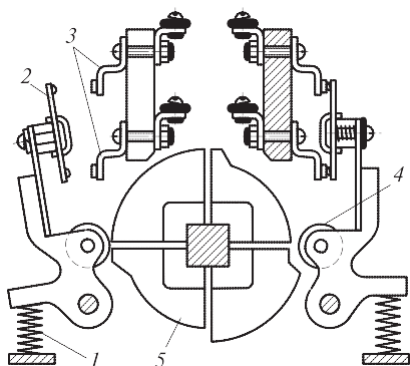
6.2. Команда контроллерлер

Шығыршықта 9 жұдырықшаны 7 жүгірту кезінде түйіспелі тұтқыш 8 сағат тіліне қарсы бұрылады және қозғалмайтын түйіспе 4 және 5 көпірлі түйіспемен 6 тұйықталады. Бір уақытта қайтымды серіппе 10 сығылады. Тұтқыш 8 тұтқыш 8 құйыршығының жігінде серіппемен 13 ұсталынатын ілмекпен 12 қосулы күйде бекітіледі.

Дискті 3 одан әрі айналдыру кезінде жұдырықша 2 шығыршықтың 9 үстінде орналасқан ысырмаға 12 жүреді және оны тұтқышпен 8 іліністен шығарады. Серіппелер 10 әрекетімен түйіспелердің ажырауы өтеді.

Мұндай механизмнің үлкен артықшылығы сөндіргіш білігінің айналу жиілігінен түйіспелердің ажырау жылдамдығы тәуелсіздік болып табылады. Бұл білікті айналдырудың аз жиілігі кезінде жол сөндіргіші ретінде реттелінетін команда контроллерін пайдалану мүмкіндігін береді.

Түйіспелердің ілінісу және ажырау сәті үлкен дәлдікпен кең шектерде реттеледі. Дөрекі реттеу жұдырықшаны дисктегі сәйкес күйге орнатумен жүзеге асырылады (орнату дәлдігі — 18°). Жұдырықшада дәлірек реттеу үшін жұдырықшаны бекіту үшін дисктегі 3 саңылау ортасына қатысты екі жағынан 10- 30' жұдырықшаны жылжытуға мүм-



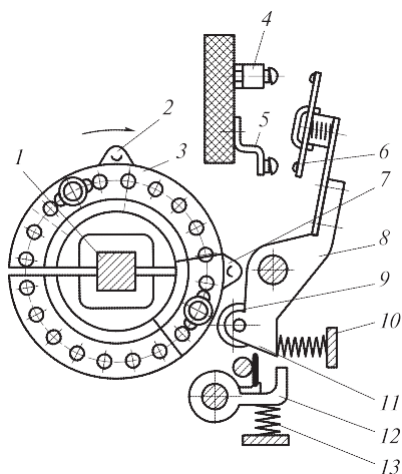
6.2-сурет. Команда контроллер:

1 — серіппе; 2 — көпірлі түйіспе; 3 — қозғалмайтын түйіспе; 4 — тұтқыш; 5 — жұдырықша

кіндік беретін бекітудің сопақ тесігі орындалады. Бұл $\pm 25'$ орнату дәлдігін қамтамасыз етеді.

Реттелінетін команда контроллері үш қосушы және үш сөндіруші жұдырықшаға дейін әрбір дискте орнатуға мүмкіндік береді.

Контроллер тізбектер саны 4-тен 12 дейін өзгеруі мүмкін. Тізбектердің үлкен саны электр жетегі автоматикасының аса күрделі схемаларын басқару мүмкіндігін береді.



6.3-сурет. Реттелінетін команда контроллері:

1 — білік; 2, 7 — жұдырықшалар; 3 — диск; 4, 5 — қозғалмайтын түйіспе; 6 — көпірлі түйіспе; 8 — тұтқыш; 9, 11 — аунақшалар; 10, 13 — серіппелер; 12 — ысырма

Команда контроллерінің жетегі арнайы күкірт қозғалтқышымен жүзеге асырылады, бұл команда контроллермен қашықтан басқаруды жасауға мүмкіндік береді.

6.3. Жолдық сөндіргіштер және микросөндіргіштер

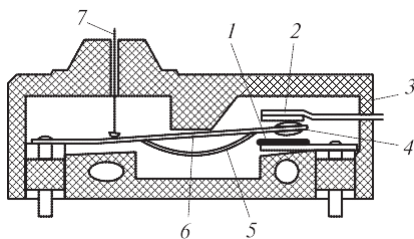
Жолдық сөндіргіштер басқарушы органның немесе аппараттың жағдайына байланысты шағын тоғы бар тізбектердің түйіспелерін тұйықтау немесе ажырату үшін арналған. Жол сөндіргіштерінің жеке жағдайы басқарылатын машина органдарын соңғы күйдегі тізбектерін коммутациялау үшін арналған соңғы сөндіргіштер болып табылады.

Жолдық сөндіргіштер түйіспе жетектерінің тәсіліне байланысты батырмалы, тұтқышты және айналдырғы деп бөлінеді.

Батырмалы жол сөндіргішінде машинаның бақыланатын органы батырмалы элементтің сояуышына әсер етеді (6.1-суретті қараңыз). Осы сөндіргіштің ерекшелігі бақылаушы органның жылдамдығы сияқты жылдамдықпен түйіспелердің ажырауы және тұйықталуы болып табылады. Токтың шағын шамасы кезінде доғаны сөндіру механикалық созылу есебінен өтеді және түйіспелердің аз ерітіндісі кезінде ол мүлдем сөнбеуі мүмкін. Сондықтан штоктың кемінде 0,4 м/мин қозғалысы кезінде бақылаушы органның кез келген жылдамдығы кезінде қажетті жылдамдықты қамтамасыз ететін тез әрекет етуші түйіспелермен сөндіргіштерді қолдану керек.

Егер машинаны токтату талап етілсе немесе жоғары дәлдікпен (0,3 - 0,7 мм) сәйкес ауыстырып-қосуды жасау талап етілсе, онда микроауыстырып-қосқыштар қолданылады. Мұндай аппараттың схемалық қимасы 6.4-суретте келтірілген.

Ауыстырып-қосқыштың ортақ нүктеден бір тұйықтаушы және бір ажыратушы түйіспелері болады. Қозғалмайтын түйіспе 1 және 2



6.4-сурет. Жолдық микроауыстырып-қосқыш:

1, 2 — қозғалмайтын түйіспе; 3 — корпус; 4 — қозғалмалы түйіспе; 5, 6 — серіппелердің фигуралы және тегіс бөліктері; 7 — сояуыш

пластмасса корпуста 3 бекітілген. Қозғалмалы түйіспе 4 тегіс 6 және фигуралы 5 бөліктен тұратын арнайы серіппелер соңында табылады. 6.4-суретте көрсетілген күйде серіппе жоғары түйіспедегі 2 қысымды жасайды. Штокка 7 басу кезінде серіппелердің деформациясы өтеді және түйіспенің ең шеткі күйіне жіберілуі өте тез жасалады ($0,01 - 0,02$ с ішінде), бұл тізбектің сенімді сөндірілуін қамтамасыз етеді. Шток жүрісі миллиметрдің оныншы үлесін құрайды. ВКМ-ВЗГ сериялы микросөндіргіштер 220 В тұрақты кернеу және 380 В айнымалы кернеу кезінде 2,5 А тоқты сөндіреді.

Егер үлкен жүріс кезінде тізбектегі сенімді ауыстырып-қосу қамтамасыз ету қажет етілсе, тұтқышты ауыстырып-қосқыштар қолданылады.

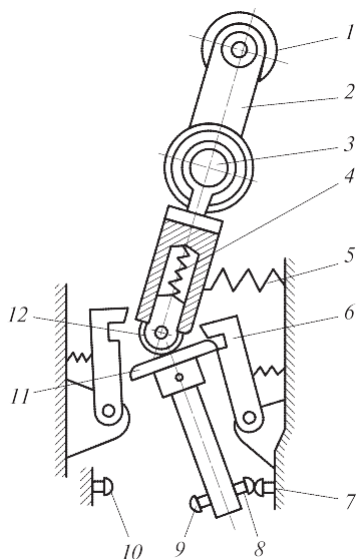
Олардың бірінің схемасы 6.5-суретте көрсетілген. Бақылаушы орган тұтқыш 2 соңында бекітілген шығыршыққа 1 әсер етеді. Тұтқыштың екінші ұшында тұтқыш осінің бойында жылжитын серіппеленген шығыршық 12 табылады. 6.5-суретте көрсетілген күйде түйіспелер 7 және 8 тұйықталған. Бұл механизм күйі ысырмамен 6 сенімді бекітілген. Шығыршыққа 7 сыртқы әсер ету кезінде тұтқыш

1 сағат тіліне қарсы бұрылады. Бұл ретте шығыршық 12 тарелкені 11 және онымен байланысты түйіспелерді 8 және 9 бұрады, нәтижесінде түйіспелер 7 және 8 ажыратылады, ал түйіспелер 9 және 10 тұйықталады.

Түйіспелердің тұйықталуы және ажырауы шығыршық 1 қозғалысының жылдамдығына байланысты емес үлкен жылдамдықпен өтеді. Бұл тұрақты токтың 220 В дейін кернеу кезінде 6 А дейін тоқты

сөндіру мүмкіндігін береді. Сөндіргіштің шығыршыққа 1 әсері тоқтағаннан кейін бастапқы күйіне оралуы серіппемен 5 қамтамасыз етіледі.

Жоғары дәлдікті тізбектердің үлкен санын ауыстырып-қосуды жасау қажеттілігі болғанда жолдық сөндіргіш ретінде реттелмелі команда контроллері қолданылады. Оның білігін механизмнің басқарушы білігімен не тікелей не басқарушы біліктің және жұдырықшалы шайбаны айналдыру



6.5-сурет. Тұтқышты жолдық ауыстырып-қосқыш:

1, 12 — ауақшалар; 2 — тұтқыш; 3 — ось;
4, 5 — серіппелер; 6 — ысырма; 7- 10 — түйіспелер; 11 — қақпақ

жиілігің қажетті арақатынасын қамтамасыз ететін редуктор арқылы қосады.

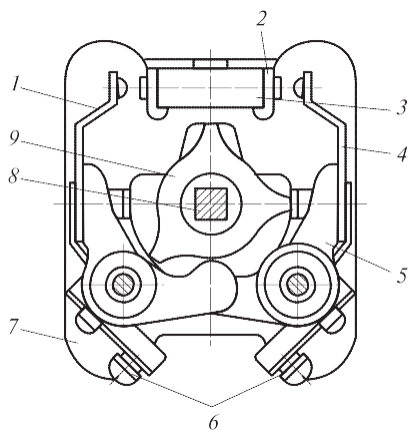
Қазіргі уақытта өнеркәсіп магнитті датчикті және жартылай өткізгіш релені не тұрақты магнитпен басқарылатын герконды қолданатын түйіспесіз жолдық сөндіргіштерді шығарады.

Электр жетегімен және аппараттармен басқару тізбегінде УП типті әмбебап ауыстырып-қосқыштар кеңінен қолданылады. Мұндай ауыстырып-қосқыш секцияларының құрылғысы 6.6-суретте көрсетілген. Әрбір секцияның екі түйіспелі қосылыстары (ажырауы) болады. Тізбек сымының бір ажырауын қолдану жағдайында қозғалмайтын түйіспеге 2 және қозғалмалы түйіспемен 4 байланысты қысқышқа 6 қосады. Білікті 8 айналдыру кезінде қозғалмалы түйіспенің 4 түйіспелі тұтқышына 5 әсер ететін жұдырықша 9 бұрылады, нәтижесінде түйіспелердің 2 және 4 тұйықталуы өтеді.

Сөндірілетін токтың және жеткізу кернеуінің сәйкес мәндері кезінде екі ажырау қолданылады. Ауыр жағдайларда екі көршілес секцияның түйіспелері жүйелі қосылады. Бұл ретте жүйелі қосылған төрт ажырау алынады.

Ауыстырып-қосқыштың номиналды тоғы – 20 А. Бақыланатын тізбектер (секциялар) саны 2-ден 16 дейін өзгеруі мүмкін.

Жоғары сөндіруші қабілетінің, тізбектердің үлкен санының және УП ауыстырып-қосқыштардың коммутациялық жағдайларының арқасында 500 В дейін кернеу кезінде 5 кВт дейін қуатпен электр қозғалтқыштарын іске қосу және реверстеу үшін кең қолданылады.



6.6-сурет. Әмбебап ауыстырып-қосқыш секциясы:

1, 4 — қозғалмалы түйіспелер; 2 — қозғалмайтын түйіспе; 3 — тірек; 5 — тұтқыш;
6 — қысқыштар; 7 — негіз; 8 — білік; 9 — жұдырықша

6.4. Әмбебап ауыстырып-қосқыштар

Бұл ауыстырып-қосқыштарды олардың орам орауышын ауыстырып-қосу жолымен асинхронды қозғалтқыштарды айналдыру жиілігін және бағыттарды өзгерту үшін қолдану тиімді.

Электр магнитті жетегі болатын автоматтарды, сондай-ақ сөндіргіштерді қолдану кезінде алдымен схема іске қосуға дайындалатын (дыбыстық сигнализация, жыпылықтаушы шамдар және т.б. іске қосылады), одан кейін аппараттың қосылуы өтетін бірқатар тұтас коммутациялық операцияларды өткізуге болады. Мұндай жағдайларда түйіспелі жүйесі пакет сөндіргішіндегі түйіспелі жүйеге ұқсас басқарудың ауыстырып-қосқыштарын қолданады.

УП типті ауыстырып-қосқыштан айырмашылығы басқарудың ауыстырып қосқышында белгіленген және белгіленбеген күйлері болады, ол білікке оператор әрекет етуін токтатқан кезде автоматты түрде айналады. Ауыстырып-қосқыштың басқару тұтқыштарының екі белгіленген (көлденең және тік) және екі бекітілмеген (сағат тілі бойынша тік 45° және сағат тіліне қарсы көлденең 45°) күйлері болады.

Ауыстырып-қосқыштың коммутациялық күйінің диаграммасы 6.1-кесте түрінде берілген.

«Сөндірулі» (O) күйіндегі ауыстырып-қосқыш көлденең күйде табылады. Бұл ретте 1, 4, 5, 8 және 14 тізбектері болады. Аппаратты тұтқышқа қосу үшін алдымен «Алдын ала қосу» (B) күйіне ауыстырады. Бұл ретте 2, 3 және 7, 9 тізбектер тұйықталады. Одан кейін тұтқыш сағат тілі бойынша 45° (B_2 күйіне) бұрылады. Бұл ретте 6, 11, 13 тізбектер тұйықталады, 2 және 9 тізбектер тұйық болып қалады. Аппаратты тұтқышқа қосқаннан кейін босатылады және ол автоматты түрде тік күйіне – «Қосылу» күйіне (B) оралады (3,7 тізбектер тұйықталады, 2,9 және 13 тізбектері тұйықталған болып қалады). Тұтқышты сөндіру кезінде алдымен көлденең күйге – «Алдын ала сөндірулі» күйіне (O_1) ауыстырылады, одан кейін «Сөндіру (O_2) күйіне сағат тіліне қарсы 45° бұрылады. Одан әрі тұтқышты босатады және ол көлденең күйге – O күйіне оралады.

6.5. Пакеттік сөндіргіштер және ауыстырып-қосқыштар

Пакеттік сөндіргіштер және ауыстырып-қосқыштар қуаты көп емес тізбектерде жиі емес коммутациялар үшін арналған көп сатылы аппараттар болып табылады (ток 400 А дейін, тұрақты кернеу 220 В және айныламы кернеу 380 В). Пакеттік сөндіргіштер таратушы құрылғы-

Басқару ауыстырып- қосқышының жағдайы	Жағдайды шартты белгілеу	Кілт тұтқышының жағдайы	Тізбек жағдайы													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Сөндірулі	O		X	—	—	X	X	—	—	X	—	—	—	—	—	X
Алдын ала қосу	B ₁			—	X	X	—	—	—	X	—	X	—	—	—	—
Қосу	B ₂		—	X	—	—	—	X	—	—	X	—	X	—	X	—
Қосулы	B			—	X	X	—	—	—	X	—	X	—	—	—	X
Алдын ала сөндіру	O ₁		X	—	—	X	X	—	—	X	—	—	—	—	X	—
Сөндіру	O ₂		X	—	—	—	X	V	—	—	—	X	—	X	—	X

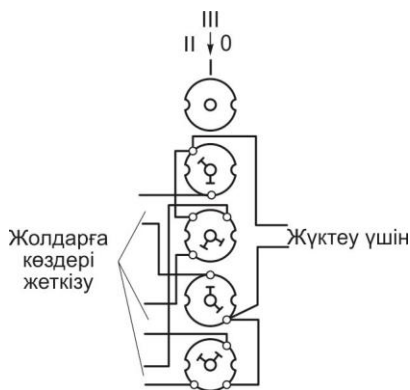
ларда және автоматиканың әлсіз тізбектерінде қолданылады. Олар электр қозғалтқыштарын іске қосу және реверстеу, үш фазалық қозғалтқыштардың орам қосылыстарын «жұлдызшадан» «үшбұрышқа» ауыстырып-қосу үшін қолданылады. Мұндай аппараттар сакина түрінде бірдей пакеттерден тұрады және өзара жүктемелік қабілетімен ерекшеленеді.

Ауыстырып-қосылаты тізбектер саны пакеттік сөндіргіштің схемасын және құрылымын анықтайды (6.7-сурет).

ПВМ сериялы сөндіргіш (6.8-сурет) пакеттер 1 мен жетек механизмінің орнына жеке байланыстардан тұрады. Пакет бір полюс сөндіргішін түзеді. Әрбір полюстің екі түйіспелі қосылыстары (ажыраулары) болады. Қозғалмайтын түйіспе 2 жезден жасалған сом пластинадан тұрады. Қозғалмалы түйіспе (пышақ) 3 сөндіргіштің квадрат оқшауланған білігіне отырғызылады және онымен бірге айналады. Түйіспелерді басу қозғалмалы түйіспелер 3 сорғышының серпімді қасиеттерінің есебінен құрылады.

Қозғалмалы түйіспеге фибрлі пластинадан жасалған жақтар 4 (әрбір жағынан екі-екіден) бекітілген. Жақ жұптарының арасындағы қашықтық қозғалмайтын түйіспе қозғалысы жетек механизмінің көмегімен жүзеге асырылады. Тұтқыштарды айналдыру кезінде алдымен серіппе тартылады, ол одан кейін түйіспені жылжытудың қажетті жылдамдығын қамтамасыз етеді.

Қозғалмалы және қозғалмайтын түйіспелерді ажырату кезінде доға екі ажырауда жанады. Бұл жағдай катод маңындағы электр беріктігі есебінен айнымалы токтың доғасын сенімді сөндіруді қамтамасыз етеді. Доға нөл арқылы айнымалы токты бірінші өтуі кезінде сөнеді. Тұрақты токтың доғасын сөндіру оның фибрлі жақтар арасындағы кеңістікте жануының арқасында қамтамасыз етіледі. Фибрден жасалған доғаның

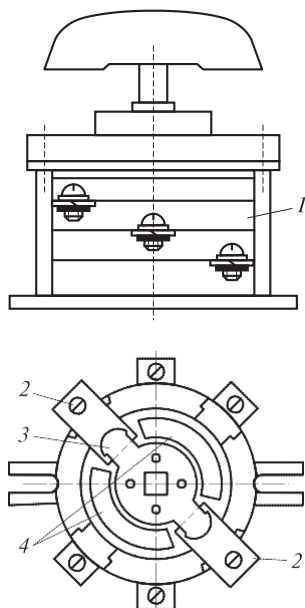


6.7-сурет. Үш желінің біріне кернеуді қосатын ПК2 ауыстырып-қосқышының схемасы

жанасуы газдың бөлінісін тудырады. Пакеттің ішкі жолағы жеткілікті бітеу болғандықтан онда қысым көтеріледі, бұл вольт-амперлік сипаттамалардың көтерілуіне және нәтижесінде доғаның сәтті сөндірілуіне әкеледі.

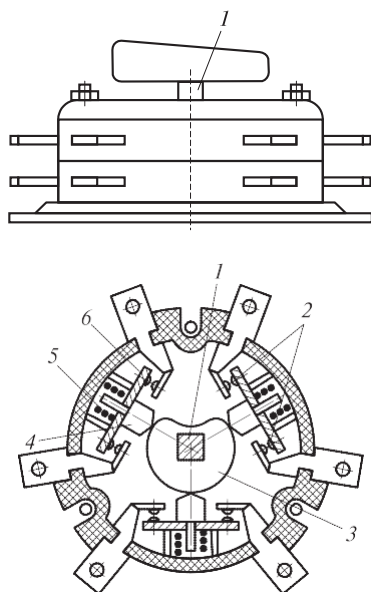
Екі полюсті схема кезінде тізбек міндетті түрде екі полюсті сөндіргішпен сөндірілуі тиіс.

ПВМ сериялы сөндіргіштің кемшіліктері тозуға төзімділігінің аз болуы ($20 \cdot 103$ ауыстырып-қосуға дейін) және жетек механизмінің сенімсіздігі болып табылады. ПКВ сериялы жұдырықшалы пакет сөндіргіші ең жетілген болып табылады (6.9-сурет). Оның білігіне 1 жұдырықшалар 3 бекітілген (бір пакетке бір-бірден). Әрбір тізбектің көпірлі түйіспе 6 және қозғалмайтын түйіспе 2 түзетін екі ажырауы болады. Білікті айналдыру кезінде жұдырықша бұрылады және сояуыш 4 оның тереңдігіне түседі. Бұл ретте тізбек тұйықталады. Түйіспелерді басу болат серіппемен 5 қамтамасыз етіледі. Тозуға төзімділігін арттыру үшін металл қыш түйіспелер қолданылады. ПВМ сенімділігі аз жетек орнына команда контроллерінің бекіткіш құрылымы бойынша ұқсас жағдайды бекіткіш қолданылады (6.2-суретті қараңыз). ПКВ сериялы сөндіргіш



6.8-сурет. ПВМ сериялы пакеттік сөндіргіш:

1 — пакет; 2 — қозғалмайтын түйіспе;
3 — қозғалмалы түйіспе; 4 — жақ



6.9-сурет. ПКВ сериялы пакеттік жұдырықшалы сөндіргіш:

1 — білік; 2 — қозғалмайтын түйіспе;
3 — жұдырықша; 4 — шток; 5 — серіппе; 6 — көпірлі түйіспе

гіштің ең үлкен тоғы — 160 А; электрлік тозуға төзімділігі — $(1-2) \cdot 10^5$ коммутациялық цикл.

Пакеттік сөндіргіштер және ауыстырып-қосқыштар ажыратқыштармен салыстырғанда үлкен артықшылықтарға ие.

Олар монтаждау кезінде қолайлы, аз габаритті өлшемдері, жоғары дірілге және соққыға төзімді болады. Доға жалын мен газ шығарындыларынсыз тұйық көлемде сөнеді, түйіспелі жүйе бір уақытта тізбектердің үлкен санын басқаруға мүмкіндік береді.

Бақылау сұрақтары

1. Команда контроллерінің құрылғысы мен әрекет ету принциптерін түсіндіріңіз.
2. Жолдық сөндіргіштер қалай орнатылады және не үшін арналған?
3. УП типті әмбебап ауыстырып-қосқыштар қандай жағдайларда қолданылады, олардың құрылғысы қандай?
4. Пакеттік сөндіргіштер және ауыстырып-қосқыштар неден тұрады, олардың алуан түрліліктері қандай, міндеті мен құрылғысы қандай?
5. ПВМ сериялы сөндіргіштерде доғаны сөндіру қалай қамтамасыз етіледі?
6. Ажыратқыштар алдында сөндіргіштердің қандай артықшылықтары болады?

ЭЛЕКТР АППАРАТТАРЫНЫҢ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК МЕХАНИЗМДЕРІ

7.1. Тұрақты ток электромагнитін тартқыш күштер

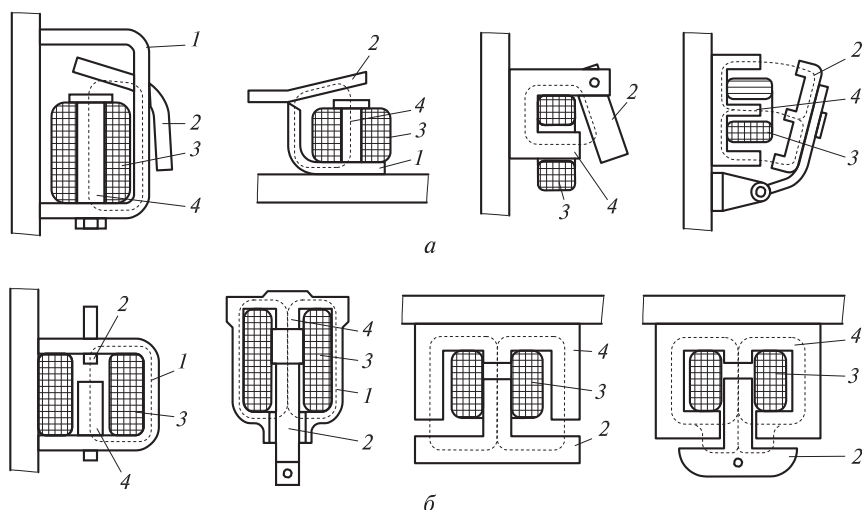
Электромагниттік механизмдер көптеген электрлік аппараттарды әрекетке келтіру үшін қолданылады. Электромагниттердің конструктивті жүйесі әртүрлі.

Олардың кейбіреулері 7.1-суретте көрсетілген.

Электромагниттің қосылуы кезінде оның ярқы ауысады. Δx учаскесіндегі ярқыдың жүру әрекетіне әсер ететін орташа күш,

$$F_{cp} = \frac{\Delta A}{\Delta x} = - \frac{\Delta A}{\Delta \delta} = - \frac{\Delta A}{\delta_2 - \delta_1}$$

онда ΔA — Δx ярқыдың ауысуынан жасалатын электромагниттің механикалық жұмысы; $\Delta \delta$ — саңылаудың кішіреюі, $\Delta \delta = -\Delta x$; δ_2, δ_1 — ярқы мен біліктің арасындағы шеткі және бастапқы саңылаулар.



7.1-сурет. Электромагниттердің схемасы:

а — айналу ярқымен; *б* — түзу жүрісті ярқымен; 1 — қапсырма; 2 — ярқы; 3 — орауыш; 4 — білік

Электрмагниттің үдеу күшін есептеу үшін dx якорінің аздаған ауысуында жасалатын механикалық жұмысты анықтап, одан алынған мәнді $d\delta = -dx$ саңылаудың өзгерісіне бөлу керек:

$$F_{\text{cp}} = \frac{dA}{d\delta} \quad (7.1)$$

F күші саңылаудың азаю жағына қарай қозғалады.

Якорьдың әрбір қарапайым ауысуында аталған участкідегі оның dA мәнін, орташа күшін анықтауға болатыны анық.

Бірқатар электрмагниттер бірқалыпты токтар орамында бірдей орнатылған I_y мәнінде жұмыс жасайды. Мұндай жағдайда 7.2-суретте көрсетілген қисықтар процесі орын алады.

Электрмагниттің жұмыс саңылауының ток орамындағы шамасы өзгеріссіз 5 мәнісіндегі F тартылу күші **электрмагниттің статикалық тартылу сипаттамасы деп аталады.**

Саңылау үшін $\delta_{\text{icp}} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$ күшті мына формула бойынша табуға болады

$$F = \frac{m_i m_{\Psi}}{\delta_2 - \delta_1} \frac{S_{\text{Oab}}}{1} - \delta, \quad ,$$

мұнда m_i — токтың осі бойынша масштабы, $A/\text{мм}$; m_{Ψ} — тасқын ілінісі осінің масштабы, $\text{Вб}/\text{мм}$; S_{Oab} — фигура ауданы Oab , мм^2 .

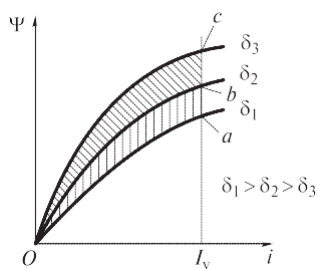
Ұқсас күш анықталады:

$$F_2 = \frac{m_i m_{\Psi}}{\delta_3 - \delta_2} \frac{S_{\text{Obc}}}{1} - \delta, \quad ,$$

орташа саңылаулар кезінде дамитын $\delta_{2\text{cp}} = \frac{\delta_2 + \delta_3}{2}$.

Дайын электрмагнит үшін оның статикалық мінездемесі оңай алынуы мүмкін. Электрмагниттің ауа саңылауына магнитсіз төсеу қояды, одан кейін электрмагнитке кернеу береді.

Динамометр көмегімен электрмагниттің тартымдық күшіне қарсы әсер ететін күшті якорь біліктен үзіліп қалғанша үнемі арттырып оты-



7.2-сурет. Токтың тасқын ілінісі тәуелділігінен, электрмагниттің статикалық тартылу сипаттамасын анықтау

рады. Бұл үзілгендегі күш төсеу қалыңдығының саңылау кезіндегі статикалық күшіне тең. Бұдан кейін төсемдер қалыңдығын өзгертіп, саңылаудың жаңа мәнінде тәжірибені қайталайды.

Электрмагниттің даму күші магнит өрісінің қолданыс бетіндегі полюстеріне әсерінің анализі негізінде Максвелл формуласының көмегімен шешілуі мүмкін. Егер өріс жұмыс саңылауында бірқалыпты және плюстер қанықпаған болса, онда Максвелл формуласы бір саңылауда мынадай түрде беріледі

$$F = \frac{1}{2\mu_0} B_{\delta} S = \frac{\Phi_{\delta}^2}{2\mu_0 S} \quad (7.2)$$

мұнда μ_0 — магнитті тұрақты, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м тең; B_{δ} — саңылаудағы магнитті индукция; S — саңылаудың көлденең қимасының ауданы; Φ_{δ} — саңылаудағы магнитті түйдек.

Энергияны сақтау заңынан магнит өрісінен қарапайым ауысу кезінде алынған якорьдің энергиясы якорьдің атқарылған механикалық жұмысының сомасына және магнит қорының артылуына тең:

$$id\Psi = Fdx + dW_m,$$

мұнда $id\Psi$ — өрісте якорьдың қозғалуынан алынған элементарлық энергия; Fdx — якорьдің элементарлық механикалық жасалу жұмысы; dW_m — магниттік энергияның көбейісі.

$$F = -i \frac{d\Psi}{dx} - \frac{dW_m}{dx} \quad (7.3)$$

(7.3) теңдеуден

$dx = -d\delta$ және $W_m = i\Psi/2$ болғандығын ескере отырып (сызықтық магниттік тізбекке) аламыз

$$F = -i \frac{d\Psi}{d\delta} + i \frac{d\Psi}{2d\delta} + \Psi \frac{di}{2d\delta} \quad (7.4)$$

Статикалық тартымдық сипаттамалары үшін $di/d\delta = 0$, өйткені ток тізбегінде өзгермейді.

Онда

$$F = i \frac{d\Psi}{2d\delta} \quad (7.4)$$

Электромагнитті клапанның (7.1-суретті қараңыз) тасқын ілінісі жұмыс ағыны мен ағынның шашырауына байланысты: $\Psi = \Psi_{\delta} + \Psi_o$.

Өйткені тізбек сызықты (қаныққаннан жарамсыз болды) онда Ψ_{δ} тасқын ілінісі Φ_{δ} негізделген жұмыс ағынымен мынадай формула бойынша анықталады

$$\Psi_{\delta} = \Phi_{\delta} w = Iw^2 G_{\delta},$$

онда w — орауыштағы орам саны; G_δ — жұмыс саңылауындағы өткізгіштік.

Шашырау ағынына негізделген тасқын ілінісі мынадай формула бойынша анықталады

$$\Psi_\delta = F \int_0^l \frac{w}{I} \frac{Iw}{I} x^2 g dx = Iw^2 \frac{gI}{3}$$

онда I — электромагнит білігінің ұзындығы; x — жармадан нүктеге дейінгі тасқын ілінісі анықталатын арақашықтық Ψ_δ ; g — меншікті магниттік өткізгіш.

Ψ_δ сомасына (7.5) формуласына өрнек қоя отырып, мынаны аламыз:

$$F = -\frac{1}{2} (Iw)^2 \left[\frac{dG_\delta}{d\delta} + \frac{d(gI)}{d\delta} \right]$$

Өйткені өткізгішегі шашырау саңылаудағы δ -ке байланысты емес, онда электромагниттегі арту күші $d(gI)/d\delta = 0$

$$F = -\frac{1}{2} (Iw)^2 \frac{dG_\delta}{d\delta} \quad (7.6)$$

Егер $G_\delta = f(\delta)$ аналитикалық тәуелділік белгілі болса, онда $dG_\delta/d\delta$ дифференциалды табады. (7.6) өрнегіне $dG_\delta/d\delta$ мәніне саңылаудың керек δ мәнін табады. Егер G_δ -ті магнит өрісінің сызықтық графигін құру арқылы анықтаса, онда алдымен G_δ якорьдің бірқатар күйіне есептеу жүргізіледі, одан кейін $G_\delta = f(\delta)$ тәуелді графигін құрып, графикалық дифференциалды орындайды.

Электромагнитті клапанға жеткілікті аз саңылау кезінде

$$G_\delta = \frac{\mu_0 S}{2\delta}$$

онда

$$F = \frac{1}{4} (Iw)^2 \frac{\mu_0 S}{\delta^2} = \pi (Iw)^2 \frac{S}{\delta^2} 10^{-7} \quad (7.7)$$

(7.7) тендеуінен электромагниттегі даму күші МҚК квадрат орамына, полюс ауданы мен кері саңылаудың ұзындық квадраты пропорционал. Есептеу жолымен алынған $F = f(\delta)$ тәуелді кестесі өзгеріссіз МҚК 7.3-суретте (кисық 7) ұсынылған.

Көріп отырғанымыздай, δ азайту өлшеміне қарай F күрт өседі, ал $\delta = 0$ жағдайында шексіз үлкен мәнді қабылдайды. Шындығында 5 нөлге жақындағанда, магниттік тізбекте магнит өрісі өсіп, магнит өткізгішінде магнит потенциалының құлауы ұлғаяды, бұған қоса МҚК-ның бөлігі ғана ауа саңылауына қойылады. (7.7) формуласын шығару кезінде біз барлық МҚК ауа саңылауына қойылған деп есептедік.

7.3-суретте 2 қисық эксперименталды түрде алынған $F = f(\delta)$ тәуел-

дік графигін білдіреді. 1 және 2 қисықтарды салыстыру көрсеткендей, үлкен саңылауларда ағын жүйесі аз және біліктегі магнит потенциалының төмендеуінде оны елемейте болатын болса, есептік және эксперименттік қисық дерлік сәйкес келеді. Электромагниттегі артушы саңылаудағы күш аз болғанда, түпкі мәні F_g алады.

1 және 2 қисықтардың айырмашылығын Максвеллдің (7.2) формуласын қолдану арқылы түсіндіруге болады. $\delta = 0$ болғанда барлық МҚК магнит ағынының тізбек бойынша жүргізуіне жұмсалады, әрі ағын оның магнит барлық МДС жұмсалады жүргізу магнит ағынының тізбегі бойынша, әрі ағын оның магниттік кедергісі арқылы анықталады. Егер шашырау ағынын елемей, оны қабылдасақ, онда магнит тізбегі барлығында өзгеріссіз қимада болып, өрістің кернеуі

$$H = Iw l_{\text{ст}},$$

болады, онда $l_{\text{ст}}$ — магнит өткізгіш білігінің ұзындығы.

Өрістің индукциясын қисық магниттеу арқылы, ал күшті (7.2) формуласы арқылы табады. Ағынның соңғы мәні болғандықтан, онда күш F_k соңғы мәні жетеді.

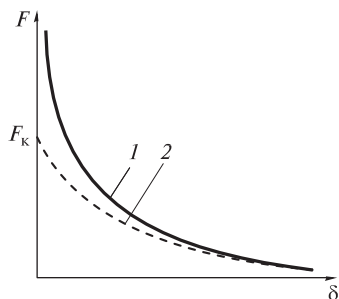
Көптеген зерттеулер қаныққан электромагниттегі күшті есептеу үшін (7.6) формуласын қолдануға болатынын көрсетті, бірақ Iw орнына магнит потенциалының жұмыс саңылауындағы құлауын $(Iw)_\delta$ қоямыз. Бұл жағдайда формула мынадай түрде беріледі

$(Iw)_\delta$ мәнін магнит тізбегін есептеуде табады.

$$F = - \frac{1}{2} (Iw)_\delta^2 \frac{d G_\delta}{d \delta^2}, \quad (7.8)$$

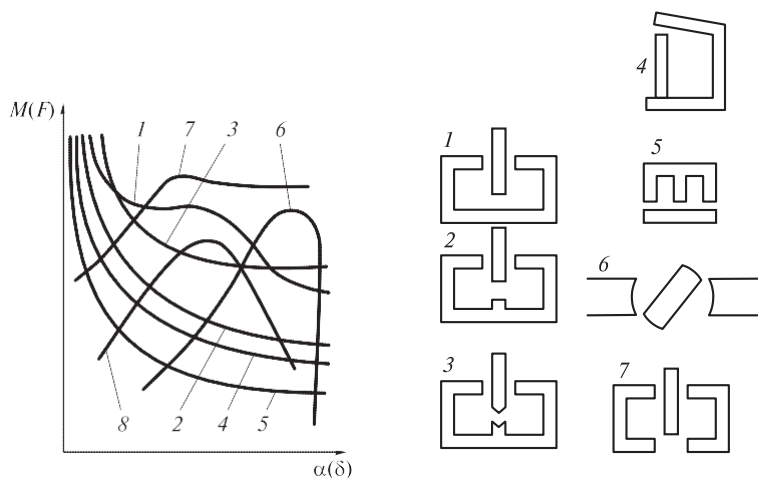
Өйткені (7.2) Максвелл формуласы плюстер арасындағы нақты индукцияны ескереді, сондай-ақ ол егер саңылау өрісте біркелкі және вектор индукциясы полюс бетіне перпендикуляр болса аз δ -те де қолданылуы мүмкін.

$F(\delta)$ саңылау күші мен $M(\alpha)$ бұрылыс бұрышы моментінің тәуелділігінен нысанның полюстері және конструктивті орындауын өзгерту арқылы кең шегінде өзгертуге болады (7.4-сурет). Электромагнит түрлерін таңдау қарсы іс-әрекет жасау күші мен қарсы іс-әрекет жасау мо-



7.3-сурет. Электромагнит күшінің статикалық сипаттамасы:

- 1 — есептеу жолымен алынған қисық;
2 — эксперименталды қисық



7.4-сурет. Түрлі магнит жүйелерінің күш сипаттамалары

ментінің тәуелділігіне байланысты.

Сауыт түріндегі электромагнитте якорьдің қозғалуынан шашырау ағыны өзгереді, бұл саңылаудағы тасқын ілінісінің қосымша күшінің пайда болуын тудырады. (7.5) формуласын қолдана отырып

$$F = -\frac{1}{2} (Iw)^2 \left[\frac{dG}{d\delta} + \frac{gz^2}{3I^2} \frac{dz}{d\delta} + \frac{gm^3}{3I^2} \frac{dz}{d\delta} \right] \quad (7.9)$$

аламыз, мұнда $z = l - m - \delta$; m — білік жармасының ұзындығы.

Саңылау өзгергенде m мәні тұрақты болады, сауыт түріндегі магнит өткізгіш күші магнитті кедергінің есебінің мына формуламен анықталады

$$F = -\frac{1}{2} (Iw)^2 \left[\frac{dG}{d\delta} + g \left(\frac{z}{I} \right)^2 \right] \quad (7.10)$$

(7.10) формуласын (7.5) электромагнитті клапан формуласымен салыстырсақ, сауыт түріндегі электромагнитте шашырау ағынының есебінен қосымша күш құрылғанын көруге болады. Ұзын жүрісті электромагниттерде сейілу тасқыны жалпы күш жартысына дейін құрылуы мүмкін. Осындай ерекшеліктеріне қарай құрышты электромагниттер электромагнит якорі үлкен ағымды және көп күшті қажет еткен жағдайларда қолданылады. Үлкен ағын кезінде бастапқы күш тек ағын шашырауы кезінде ғана туады.

Егер магнит өткізгіштің потенциалы төмендесе елемуге болмайды, (7.8) формуласында бүкіл МҚК емес, тек жұмыс саңылауына тиесілі

бөлігін ғана ескеру керек. Күшті нақты есептеу үшін түрлі саңылаулар үшін әр токтарда электрмагниттің күш сызығы өрісі графигін, $\Psi(i)$ қиық құрып, содан кейін бұрын қаралған әдісті пайдалану керек.

7.2. Ауыспалы ток электр магниттерінің тарту күші

Электрмагнитті клапанның тарту күшін анықтау міндетін екі жұмыс саңылауымен төмендегі жол берулерді жасап қарастырайық (7.5-сурет): болаттың магниттік кедергісі, ораманың белсенді қарсылығы және болатта жоғалуы нөлге тең; кернеу, ток пен ағын синусоидальды заң бойынша өзгереді. Бұл жағдайда ағын, атап айтқанда тасқын ілінісі саңылауға тәуелді емес: $d\Psi/d\delta = 0$. Онда лездік мәні бар күш (7.4) бойынша

Бұл ретте:

$$F = \Psi \frac{di_{\delta}}{2d\delta} \quad (7.11)$$

$$i = I_m \sin(\omega t); \quad (7.12)$$

$$\Phi = \Phi_m \sin(\omega t); \quad (7.13)$$

$$\Psi = \Psi_m \sin(\omega t). \quad (7.14)$$

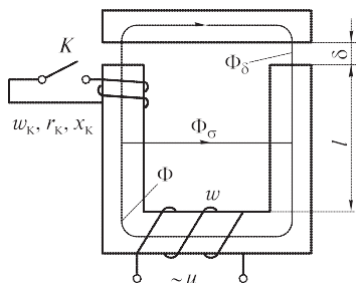
(7.11) формуласына (7.12) және (7.14) өрнектерін қою арқылы аламыз:

$$F = \Psi_m \frac{dI_m}{2d\delta} \sin^2(\omega t) \quad (7.15)$$

Ψ_m және $dI_m/d\delta$ берілген δ саңылауда уақытқа тәуелді болмағандықтан, былай жазуға болады:

$$F = F_m \sin^2(\omega t); \quad (7.16)$$

$$F_m = \Psi_m \frac{dI_m}{2d\delta}.$$



7.5-сурет. Ауыспалы токтың қысқа тұйықты орамындағы электрмагниттік магнит тізбегі

$dI_m/d\delta$ туындысы I_m тізбек анауынан алынатын тәуелділіктің графикалық саралауынан табылады. Тасқын ілінісінің амплитудасы $\Psi_m = \Phi_m w$
 $\Phi_m = U/(4,44fw)$ болғандықтан, түскен кернеумен анықталады.

F_m күшті Максвелл формуласы арқылы табуға болады (7.2).

Екі саңылаулы жүйе үшін (7.5-суретті қараңыз)

$$F_m = 2 \frac{B_m^2}{2\mu_0} S = \frac{B_m^2 S}{\mu_0} = \frac{\Phi_m^2}{\mu_0 S} \quad (7.17)$$

Күштің лездік мәні

$$F = \frac{\Phi_m^2 \sin(\omega t)}{\mu_0 S}$$

Амплитуда саңылауын өзгерткенде Φ_m және B_m индукциясы өзгермейді. Бірақ, орамның белсенді кедергісінің болуы себебінен жүйедегі саңылаумен бірдей орам кішірейеді, бұл күш амплитудасының азаюына әкеледі.

Алдында айтылғандай, күш уақытта келесі заң бойынша өзгереді:
 $F = F_m \sin(\omega t)$.

Себебі:

$$\sin^2(\omega t) = \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2},$$

болғанда

$$F = \frac{F_m}{2} - \frac{F_m}{2} \cos(2\omega t) \quad (7.18)$$

Күштің лездік мәні ток жиілігіне қарағанда екі есе жиілікпен жүріп өтеді. Күштің орташа мәні амплитуда мәнінің жартысына тең:

$$F_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T F dt = \frac{F_m}{2}$$

Якорьді тарту үшін күштің орташа мәні қарсы әсер күшінен артық болуы қажет.

Уақытта күшті өзгерту электромагниттің жұмысына теріс әсерін тигізеді. Белгілі бір уақытта серіппенің қарсы әсер күші электромагниттің күшінен артады және якорьдің біліктен айырылуы орын алады. Келесі электромагнит күшінің артуында якорь қайта тартылады. Нәтижесінде якорь шуыл тудырып, механизм жұмысы мен байланыс үшін ыңғайсыз жағдай жасап, электромагнитті үздіксіз тербелтеді. Осыған байланысты тербелісті жоюда шара қолданылады.

Бір фазалы магниттерде қысқа тұйықталған орамдарды қолдану көбірек таралаған. Мұндай электромагнит полюсінің схемасы 7.6,а- суретте берілген. Полюс шеті бөлшектелген және оның көп бөлігіне мыс пен алюминийден дайындалған, қысқа тұйықталған орам салынған.

Магниттік кедергі нөлге теңеліп, тек бір ғана жұмыс саңылауы болады.

Қысқа тұйықталған орам болғандықтан, Φ_2 ағыны Φ_1 ағынына фазасы бойынша ϕ бұрышына (7.6, б, г сурет) қатысты болады. Ағындардың әрқайсысы өз полюс бөлігінде өз күшін тудырады. Полюстің жоғарғы бөлігінде пайда болатын күш:

$$F_1 = F_{m1} \sin 2(\omega t) = F_{cp1} - F_{cp1} \cos(2\omega t).$$

Полюстің төменгі бөлігінде пайда болатын күш:

$$F_2 = F_{m2} \sin 2(\omega t - \phi) = F_{cp2} - F_{cp2} \cos(2\omega t - 2\phi).$$

Якорьге әрекеттеуші нәтижесіндегі күш, F_1 және F_2 күштерінің суммасына тең. Егер F_{cp1} мен F_{cp2} (сурет 7.6, в) векторларға сәйкес салса, ауыспалы құраушының амплитудасын векторлық диаграммадан табуға болады:

$$F_m = \sqrt{F_{cp1}^2 + F_{cp2}^2 + 2F_{cp1} F_{cp2} \cos(2\phi)}. \quad (7.19)$$

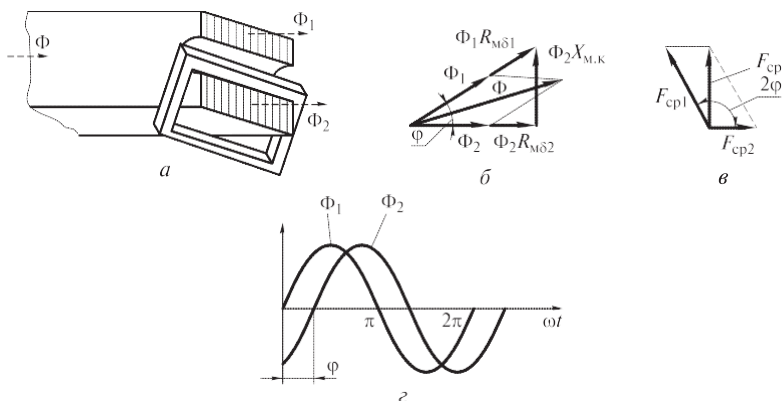
Әдеттеб электромагнит олармен дамитын ең аз күш күші қарсы әсер күшінен көбірек болуы үшін былай жобалайды:

$$F_{min} = F_{cp} - F_m > F_{прот}$$

F_m аз болған сайын, F күшінің соғуы соншалықты аз болатыны анық. (7.19) теңдеуінен $F_{cp1} = F_{cp2}$ и $\phi = 90^\circ$ болғанда F_m нөлге тең болады.

ϕ фазасының жылжу бұрышы $R_{m\delta 2}$ орамының саңылаудың магниттік қарсылығына және қысқа тұйықталған орам параметріне тәуелді:

$$\tan \phi = \frac{\omega}{r_k R_{m\delta 2}}. \quad (7.20)$$



7.6-сурет. Қысқа тұйықталған ораммен ауыспалы токтың электромагнит полюсінің схемасы (а), магниттік орамның векторлық диаграммасы(б) күштің (в), магниттік орамның уақытша диаграммасы (г), магнитті ағындардың уақытша диаграммалары (г)

$r_k = 0$ ($R_{\delta 2} \neq 0$) болғанда ғана формулаға (7.20) сәйкес бұрыш $\varphi = 90^\circ$

Бұл тізбектің Қысқа тұйықталған ораммен реактивті магнитті қарсылығы $X_{m.k} = \omega/r_k$ және $\Phi_2 = 0$ ағыны якорь тербелуінің көбеюіне әкеледі. $F_{cp1} = F_{cp2}$ және $\varphi = 90^\circ$ жағдайын орындау мүмкін емес.

Қанықпаған жүйелер үшін $\Phi_1 = \Phi_2$ және $\varphi = 60-65^\circ$. бұрыш жылжуы аз мәнге ие. Мұнда $F_{cp1} \neq F_{cp2}$. Қысқа тұйықталған орам полюстің төменгі жағында ағынды азайтатындықтан, Φ_1 және Φ_2 ағындарды теңестіру мақсатында оны полюстің көп бөлігін (әдетте $2/3$) алатындай жасайды.

(7.20) формуласынан жұмыс саңылауы үлкен болған сайын, демек $R_{\delta 2}$ де үлкен болады да, бұрыш φ соншалықты кішірейеді. Осыған байланысты Қысқа тұйықталған орам тек кішкентай саңылауларда ғана өң әсер көрсетеді. Үлкен саңылауларда $R_{\delta 2} \gg \omega/r_k$ және бұрыш $\varphi = 0$.

Демек, Φ_1 және Φ_2 ағындарының арасында фазалар жылжуы болмайды. Орамның индуктивті қарсылығы $X_{m.k}$ φ бұрышын кішірейтеді, сондықтан $X_{m.k}$ азаяды. Әдетте $\varphi = 50...60^\circ$.

Үш фазалы қуат көзі болғанда тербелуді азайту үшін магниттік жүйеде табиғи ағынды қолдануға болады. Магниттік қатынаста барлық магниттік үш фаза симметриялы және қанықтық болмайтындығын қабылдасақ, полюстерде пайда болатын күш А, В, С:

$$\begin{aligned} F_A &= F_m \sin^2(\omega t); \\ F_B &= F_m \sin^2(\omega t - 2\pi/3); \\ F_C &= F_m \sin^2(\omega t - 4\pi/3). \end{aligned}$$

Якорьге әрекеттеуші қорытқы күш осы күштердің суммасына тең:

$$F = F_A + F_B + F_C = (2/3)F_m. \quad (7.21)$$

Осылайша Үш фазалық электромагнитте якорьге әрекеттеуші қорытқы күш уақытта өзгермейді. Бірақ бұл жағдайда да якорьдің тербелуі де жойылмайды. Әр фазадан ағынның нөл күшпен өтуі барысында, осы фазада дамушы күш те нөлге тең. Нәтижесінде электромагниттің күштің қосымша нүктесі орын ауыстырады. Қосымша нүктесінің қарсыласу күші өзгермейтіндіктен, якорьдің домалауы болады, яғни тербелу.

Тұрақты және ауыспалы токсардың екі жұмыс саңылаулы электромагниттері үшін күш Максвелл формуласымен өлшенеді.

$$F_A = B_{\delta}^2 S / \mu_0 \quad \text{немесе} \quad F_m = B_m^2 S / \mu_0.$$

Осылайша, болаттың сонша шығымында тұрақты токтың электромагниті ауыспалы токтың электромагнитіне қарағанда 2 есе көп күш береді.

Енді қақпақ түріндегі электромагниттер үшін тұрақты және ауыспалы $F = f(\delta)$ сипаттамаларын салыстырайық. (7.7) формулаға сәйкес саңылаудың өсуіне байланысты саңылау үлкендігінің квадратына пропорционал өзгереді. Осыған байланысты тұрақты токтың қақпақты

электромагнитінде якорьдің аз жұмыс жүрісті болуы, немесе ауа саңылауының үлкен қақтығысында қажетті ағын алу үшін электромагнит ток орамы үлкен МҚК болуы керек.

Осылайша, айнымалы ток электромагниттің автоматты реттеуі бар. Үлкен саңылауда МҚК үлкен орамы құрылады, ол жұмыс саңылауына керекті ағынды береді. Осыған байланысты электромагниттің айнымалы тогы якорьдің үлкен жүрістерінде ғана жұмыс жасай алады.

Ауыспалы токтың электромагнитінде индукцияның сол мәнінде тұрақты токтың электромагнитіне қарағанда 2орташа күш 2 есе аз. Бірақ саңылаудың өсуімен, бір жағынан жұмыс саңылауының магниттік қарсығы өседі, екінші жағынан орамдағы ток өседі, сондықтан жұмыс саңылауындағы ағын орамдағы кернеудің белсенді түсуінен азаяды.

Бақылау сұрақтары

1. Электромагниттердің қандай түрлері электрлік аппараттарда қолданылады?
2. Электромагниттің статикалық тарту сипаттамасы дегеніміз не?
3. Электр аппараттарының электромагнитінің тарту күші қандай параметрлерге тәуелді?
4. Айнымалы МҚК-мен электромагниттің тарту күші уақыт сайын қалай өзгереді?
5. Айнымалы токтың электромагниттеріндегі тербелу қалай жойылады?
6. Тұрақты ток электромагнитімен салыстырғанда айнымалы ток электромагнитінің артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
7. Неге электромагниттің тарту күші ауа саңылауының шамасына байланысты? Ол саңылау өзгергенде қалай өзгереді?

ЭЛЕКТР МЕХАНИКАЛЫҚ РЕЛЕ

8.1. Жалпы мәліметтер

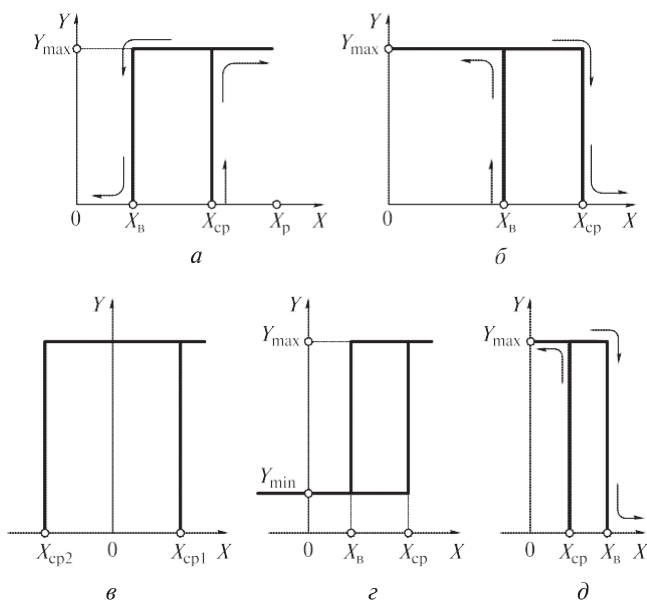
Электр механикалық реле — бұл электрлік релелердің анағұрлым көп тараған түрі. Оларға электромагниттік, магнитті-электрлік, индуктивтік, электржылулық, пьезоэлектрлік, электр- және ферродинамикалық, магнитті-стрикциялық, дірілді, электреттік реле және басқа да бір қатар релелер жатады.

Реленің жұмысын оның басқару сипаттамасына сүйене *отырып талдайды* (8.1 сурет). Оның релелік сипаты бар: кіру электрлік әсер етуші шаманың X (ток, кернеу, жиілік және т.с.) кейбір мәнінен шығу шамасының Y секіртпелі ұлғаюы және дәл солай шығыс шамасының секіртпелі азаюы. Әсер етуші кіру шамасының қалған барлық мәндерінде шығу шамасы өзгермейді немесе болмашы ғана өзгереді. *Реле* — бұл негізінен анағұрлым қуатты аппараттардың, сигнал жабдығының, байланыстың және тағысын тағылардың басқару тізбегін (мысалы, электромагнитті түйістіргіштің орама тізбегі) коммутациялауға, сондай-ақ сигналдарды жинақтауға және бөлуге арналған, релелік қозғалыстың автоматтық аппараты.

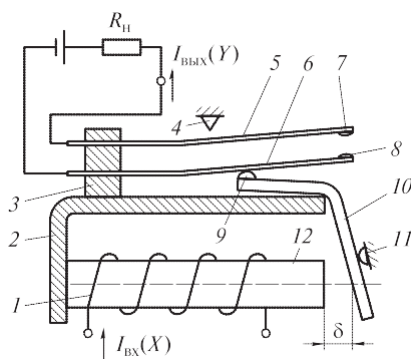
8.2 суретте 1 орамадағы X — токтың I кір кіру шамасының нөлдік мәніндегі қарапайым реле бейнеленген. Кіру тоғы I кір ұлғая бастаған кезде, оның белгілі бір мәнінде якорь 10 тіреуіштен 11 алыстап, білікке 12 қарай тартылады. Якорьдың қозғалысының барысында оның жоғарғы ұшы итергіш 9 арқылы әрекет ете отырып, кейін жоғары қарай тіреуішке 4 дейін кері кететін жалпақ түйіспелік серіппені 6 жоғары қарай оның түйістіргіш-бөлшегінің 8 серіппенің 5 түйістіргіш-бөлшегімен 7 шектесуіне дейін иеді. Нәтижесінде өтпелі процесс біткеннен кейін шығу тізбегімен Y шығу шамасын білдіретін ток $I_{\text{шығ.}}$ өте бастайды. Кіру тоғының одан әрі ұлғаюы кезінде шығу тоғы іс жүзінде өзгермейді. Кіру тоғы азая бастаған кезде, оның белгілі бір мәндерінде иілген серіппелердің механикалық күші якорьдың білікке тартылуының электромагниттік күшін жеңеді. Нәтижесінде түйістіргіш-бөлшектер ажыратылады да, шығу тізбегі тоқсызданады.

Қарастырылған электрлік аппараттың кіріс X және шығыс Y шамалары ретінде басқа да параметрлерді түсінуге болады, мысалы, орамдағы кернеу мен жүктеу кедергісіндегі R_n кернеу.

Электр механикалық реле өнеркәсіптік автоматикаға, электрэнергетикалық жүйелерді, радиоэлектрониканы және басқаларды қорғауға



8.1-сурет. Релелік әрекеттегі аппараттарды басқарудың сипаттамалары
 электрмеханикалық (а - в, д), статистикалық электрлік (г), бір орнықтылы
 (а, б, г, д), екі тұрақты (в), ең жоғары (а, б, г), ең төмен (д), тұйықталуға
 жұмыс істейтіндер (а, г, д), ажыратуға жұмыс істейтіндер (б):
 $X_{\text{кос}}$ — іске қосылу параметрі; $X_{\text{қай}}$ — қайту (түсірім) параметрі; $X_{\text{ж}}$ — жұмыстық
 параметр; $Y_{\text{max}}, \text{ min}$ — шығу параметрінің ең жоғары және ең төмен мәндері



8.2-сурет. Бір тұйықтаушы байланыс түйіні бар қарапайым электрмагнитті
 реле

1 — орам; 2 — бұғау; 3 — оқшаулағыш тактайша; 4, 11 — тіреуіштер; 5,
 6 — түйістіргіш серіппелер; 7, 8 — түйістіргіш-бөлшектер; 9 — итергіш;
 10 — якорь; 12 — білік

арналған. Қолдану салаларының ерекшелігі әрекет ету қағидасы мен сындарлы орындаушылығына қарай реленің алуан түрін анықтайды.

Электр механикалық реле ток, кернеу, қуат, тізбектің электрлік кедергісі (белсенді, реактивті, толық) және т.с.с. сияқты электрлік параметрлермен әрекеттеседі.

Атқаратын қызметіне қарай электр механикалық релені логикалық және өлшеуіш деп бөледі.

Электрмеханикалық **логикалық** реле мәні бойынша нормаланбайтын әсер етуші кіру шамасының өзгеруі кезіндегі іске қосуға және түсірімге (бастапқы күйіне қайтып келуі) арналған. Электрмеханикалық логикалық реленің әсер етуші кіру шамасы дегеніміз — бұл егер ол берілген шарттарда әсер еткен жағдайда реле әрекеттесетін электрлік шама. Әсер етуші шамалардың стандарттармен ұсынылған атаулы мәндері мен жұмыс ауқымының шегі бар. Электрмеханикалық логикалық релені аралық, сілтеуіш және уақыт релесіне бөледі. Аралық реле оған түскен сигналды көбейтуге және күшейтуге арналған, сілтеуіш реле — басқа коммутациялық аппараттардың іске қосылуы мен бастапқы күйіне түсірілуін сілтеуге арналған, уақыт релесі — уақыт ұстауды жасауға арналған.

Электрмеханикалық **өлшеуіш** реле берілген мәнде немесе сипаттамалық шаманың мәнінде белгілі бір дәлдікте іске қосуға арналған. Электрмеханикалық өлшеуіш реленің сипаттамалық шамасы дегеніміз—бұл мәніне қарай нормаланатын және реленің атқарымдық белгілерін анықтайтын электрлік шама. Оның жасалуы үшін электрлік өлшеуіш реленің бір немесе бірнеше әсер етуші кіру шамасы қажет.

Логикалық реле мен өлшеуіш реленің арасындағы айырмашылықты анықтау үшін бірдей әсер етуші кіру шамасы — электрлік кернеуі бар екі релені салыстырайық. Логикалық реле әсер етуші кіру шамасының логикалық нөлден логикалық бірлікке (бар-жоқ) дейінгі дискреттік өзгеруі кезінде іске қосылу мен қайтаруға арналған. Біздің мысалда бұл келесіні білдіреді: реленің кіруіне кернеу не берілген жоқ не берілді. Логикалық реледен айырмашылығы өлшеуіш релеге кернеу үнемі беріледі, яғни кіру шамасы үздіксіз өлшеніп отырылады. Мұндай реле үшін кернеу — әсер етуші кіру ғана емес, сипаттамалық шамада болады.

Максималды электрмеханикалық реле — бұл сипаттамалық шаманың мәнінің берілген мәннен артық кезінде іске қосылатын электромеханикалық өлшеуіш реле. **Минималды** электромеханикалық реле дегеніміз —бұл сипаттамалық шаманың мәнінің берілген мәннен кем кезінде іске қосылатын өлшеуіш реле.

Сипаттамалық шама бойынша тағайындама — бұл реле іске қосылуы тиіс сипаттамалық шаманың берілген мәні.

Өлшеуіш реленің келесідей түрлері бар: сипаттамалық шама бойынша релеге тағайындама енгізілетін шкалалы тағайындама; шкаласыз, бірақ тағайындаманы өзгерту мүмкіндігімен; сипаттамалық шаманың белгілі бір мәніне фиксациялық бағдары бар реле.

Логикалық реледен айырмашылығы өлшеуіш реленің кірісіне (немесе шығысына) бір мезгілде бірнеше кіру әсер етуші шама беріле алады. Мысалы, қуат релесінің кірісіне ток пен кернеу беріледі. Бұл екі шама бір сипаттамалық шаманы — тағайындамасы, релеге тағайындаманың шкаласы бойынша енгізілетін қуатты құрайды.

Бір әсер етуші кіру шамасы бар өлеуіш реленің сипаттамалық шамасы, соңғысымен сәйкес келеді. Ал олардың ерекшелігін сипаттамалық шамасы жиілік болып табылатын, ал әсер етуші кіру шамасы — кернеу болып табылатын, жиілік релесі құрайды.

Электрмеханикалық реленің іске қосылуы деп бұл реленің өзіне белгіленген атқарымдарды орындауын түсінеміз. **Электрлік реленің қайтуы** — бұл реленің іске қосылғанға дейінгі бастапқы күйіне қайтып келуі.

Электрмеханикалық реленің іске қосылуының (қайтуының) параметрінің мәні $X_{ик}(X_B)$ берілген шарттарда реле сәйкесінше іске қосылады немесе қайтарылатын кезіндегі әсер етуші кіру шамасымен немесе сипаттамалық шамамен анықталады (8.1-суретті қараңыз).

Қайтарудың параметрі мәнінің іске қосылу параметрі мәніне қатынасы **қайтарым коэффициенті** деп аталады: $K_B = X_B / X_{ик}$. Максималды реле үшін $K_B < 1$ (8.1, а, б, г-сурет); минималды реле үшін $K_B > 1$ (8.1, д-сурет). Қайтарым коэффициенті бірлікке жақын болған сайын, реле де анағұрлым тар шамада кіру параметрін бақылауды жүзеге асырады.

Логикалық реленің сенімді іске қосылуы үшін әсер етуші кіру шамасының жұмыстық мәнін X_p біраз қорымен таңдайды (8.1, а-суретті қараңыз). **Қор коэффициенті** әсер етуші кіру шамасы бойынша $K_{кор} = X_p / X_{ик}$.

Реленің (өзінің күйін әсер етуші кіру шамасының немесе сипаттамалық шаманың әсерімен өзгерткен) бастапқы қалпына қайту (осы әрекетті жойғаннан кейін) тәсіліне байланысты оны **бір тұрақты** реле (8.1, а, б, г, д-суретті қараңыз) және **екі тұрақты** реле (8.1, в-сурет) деп бөледі.

Бір тұрақты релелер өздері қайтады, ал екі тұрақты релені қайтару үшін арнайы әсер ету керек. Екі тұрақты электрмеханикалық реледе күйді бекіту көбінесе магниттік немесе механикалық бұғаттау арқылы жүзеге асырады.

Нормаланатын уақытты (релені сипаттайтын уақыттың бір немесе бірнеше мәнін санап шығудың дәлдігі бойынша нормаланады) және нормаланбайтын уақытты электр механикалық релелер болады. Уақыты өткен соң нормаланған уақыттағы реле белгілі бір шарттарда іске

қосылуы тиіс, уақыт ұстаудың берілген мәні **уақыт ұстаудың тағайындамасы** деп аталады.

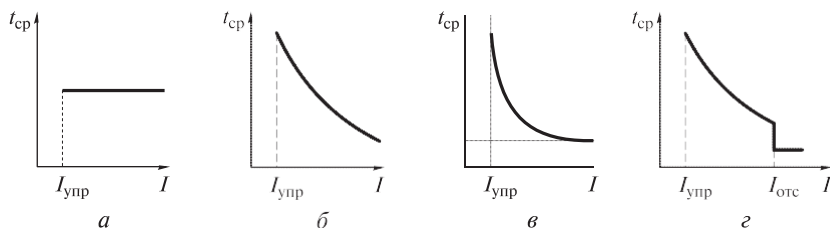
Аралық және сілтемелі логикалық реле — бұл нормаланбайтын уақыттағы реле, ал уақыт релесі — нормаланған уақыттағы реле. Уақыт релесін келесі түрлерге ажыратады: уақыт ұстаудың шкалалы тағайындамасы, реттелетін уақыт ұстау, шкаласыз тағайындама, белгілі бір уақыт ұстауына бекітілген баптаумен.

Нормаланған уақыттағы өлшеуіш реле тәуелсіз уақыт ұстаумен (уақыт ұстау оның берілген өзгеруінің шегінде сипаттамалық шаманың мәніне іс жүзінде тәуелді емес), тәуелді уақыт ұстаумен (уақыт ұстауы берілген түрінде сипаттамалық шаманың мәніне байланысты өзгереді) және шектеулі тәуелді уақыт ұстауы болуы мүмкін. 8.3, а- в суретте іске қосу уақытының тік токтың максималды I релесіндегі токтан тәуелділігінің үш түрі келтірілген. Кейде тәуелділік кестесінің, төмендету тоғына және одан асып кететін токқа тең токтың кезіндегі, реленің іске қосу уақытының күрт төмендеуі туралы куәландыратын сатысы болады (8.3, з-сурет),

Басқарушы токтың түріне қарай релені тұрақты және айнымалы ток релесі деп ажыратады. Кейбір электромагниттік реледе басқарушы токтың түрінің өзгеруі тек орауышты ауыстыруды және сирек жағдайда басқа бөлшектерді ауыстыруды керек етеді. Бұндай релені **амбебан** деп атайды.

Жұмыс істеуі олардың кіру әсерлік шамасының полярлығына байланысты, тұрақты токтың электрлік релесі **поляризацияланған** реле деп аталады.

Реле ішіндегі тізбек түйістіргішінің, басқа бөліктерден электрлік жағынан оқшауланған өткізетін бөлігі, егер тізбек түйістіргіші ашық болса, онда ол **түйістіргіш элемент** деп аталады. 8.2-суретте түйістіргіш элементтердің біреуі 5 және 7 бөлшектердің жиынтығын, ал басқасы— 6 және 8 бөлшектердің жиынтығын көрсетеді. Оның көмегімен электрлік реленің түйістіргішінің тікелей тұйықталуы немесе ашылуы орын алатын түйістіргіш элементтің бөлігі **түйістіргіш-бөлшек** деп аталады (7 және 8 бөлшектер).



8.3-сурет. Максималды ток релесінің іске қосылу уақытының сипаттамалық шамасына тәуелділігінің түрлері (а- г)

Бір-біріне қатысты қозғалыстың нәтижесінде түйістіргіш тізбегінің тұйықталуын немесе ашылуын қамтамасыз ететін оқшаулағышы бар түйістіргіш элементтердің жиынтығы электрлік реленің түйістіргіш тобын немесе *түйістіргіш түйінді* білдіреді (мысалы, 8.2-суретте 3, 5, 6, 7 және 8 бөлшектер түйістіргіш түйін болып табылады).

Реленің жұмыс істеуі кіру әсерлік шамасына ғана байланысты емес, сонымен қатар жұмыстың шартына да байланысты. Жұмыс шарты реленің берілген сипатының тым болмаса біреуін (іске қосылу, қайтару, дәлдік және т.б.) өзгерте алатын кез келген шаманы және факторды білдіретін әсер етуші шамалармен және әсер етуші факторлармен анықталады. Электрлік релеге әсер ететін шамалар мен факторлардың сыныптамасы 8.4-суретте келтірілген.

Реленің коммутациялық сипаттамасы реленің түйістіргіштерінің жұмыс тәртібімен, әсерлі шамалар мен факторлардың мәндерімен, коммутацияның шарттарымен анықталады.

Реле жұмысын екі тәртіпке бөледі: түйістіргіш тізбекті бірнеше рет коммутациялаған кездегі қалыпты коммутация тәртібі; түйістіргіш тізбекті бірнеше немесе бірнеше ондаған рет коммутациялаған кездегі шекті (сирек) коммутация тәртібі.

Коммутация шарттарына мыналар жатады: қосудың ұзақтығы, коммутация жиілігі, коммутацияланатын тізбектің сипаты мен параметрі. Бұл параметрлер мыналар: токтың түрі (тұрақты немесе айнымалы), тұрақты токтың жиілігі, ток көзінің кернеуі, ажыратылғанға дейінгі тізбектің тоғы, тұйықталған және ажыратылған токтардың қатынасы.

Тұрақты ток кезінде коммутацияланатын тізбекті электрлік тізбектің тұрақты уақытымен сипаттайды $\tau = L/R$, мұндағы L — индуктивтілік; R — жүктеменің белсенді кедергісі; айнымалы ток кезінде — тізбектің тоғы мен ток көзінің кернеуі арасындағы сымдардың φ (фазалардың) жылжуы, ұсынылған кернеудің амплитудасының қалпына келуші кернеуден өзіндік жиілікпен f_0 және коэффициентпен K_b артуы.

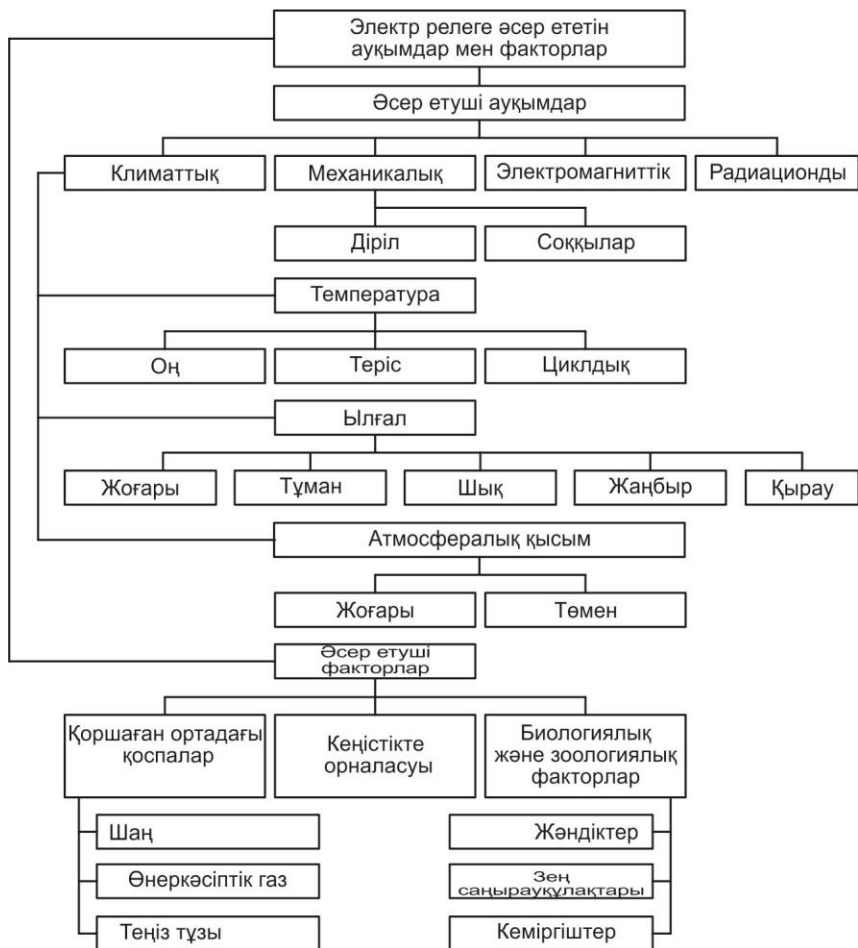
Реленің техникалық құжаттамаларында анағұрлым жиі көрсетілетін, коммутациялық сипаттамаларына мыналар жатады:

- коммутациялық беріктігі — реленің берілген шарттарда қалыпты коммутация тәртібіндегі жұмысында өндірушімен кепілденген, қосу-өшірудің қайталымының саны (кернеу, уақыттың тұрақтылығы, $\cos\varphi$ және т.б.);

- Циклдік әрекеттің шекті коммутациялық қабілеті — берілген шарттарда (кернеу, цикл саны, уақыттың тұрақтылығы, $\cos\varphi$ және т.б.) сирек коммутациялау тәртібінде, реленің түйістіргіші тізбекті түрде тұрақтандыра және ажырата алатын токтың анағұрлым үлкен мәні;

- шекті ажыратқыш қабілеті — токтың берілген шарттарда реле түйістіргішінің ажырата алатын, ең үлкен мәні.

Жүктеменің сипаты, ток пен кернеу шекті коммутациялық тозуға



8.4 сурет. Электрлік релеге әсер ететін негізгі шамалар мен факторлардың жіктелемі

төзімділікке сынау кезінде релені қолданудың санатымен реттеледі [8].

Аталғандардан басқа да коммутациялық сипаттамалар келтіріледі, мысалы, коммутацияланатын тізбектің кернеуі мен тоғының ең аз мәні, релені тұтынушы мен өндірушінің арасындағы келісім бойынша орнатылған кернеу мен токтың кейбір мәндеріне арналған іске қосылудың саны мен бас тардудың нормасы.

Реле түйістіргішінің сипаттамасына мыналар жатады:

- түйістіргіш тізбегінің шекті ұзақ тоғы— бұл алдын ала тұйықталған түйістіргіш тізбегінің берілген шарттарда берілген қысқа уақыт аралығында төтеп бере алатын токтың ең үлкен мәні;

- түйістіргіштердің кедергісі;
- түйістіргіштер арасындағы аралықтың электрлік беріктігі;
- істен шығу саны (уақытша істен шығу — келесі коммутация кезінде өздігінен жойылатын ақау және өздігінен жойылмайтын тұрақты бас тарту деп бөлінеді).

Электрмеханикалық релені жасау кезінде олардың тартымдық және механикалық сипаттамаларын үйлестіруді орындайды. Электрмеханикалық реленің тартымдық сипаттамасы — бұл якорьге әсер еткен (әсер ететін) және іс жүзіндегі саңылауға 5 (8.2-сурет) келтірілген (келтірілетін) электрмагниттік күштің $P_{эм}$ (немесе электрмагниттік мезеттің $M_{эм}$), осы саңылаудың мәніне (якорьдың бұрылу бұрышынан) тәуелділігі. Реле іске қосылған кезде электрмагниттік күш (немесе электрмагниттік мезет) қозғаушы, ал қайту кезінде — якорьдың қозғалысына кедергі келтіруші болып табылады. Үйкеліс күші іске қосу кезінде де, қайту кезінде де кедергі жасайды. Үйкеліс күшін елемейміз.

Якорьдың баяу жылжуы кезіндегі (орамадағы токтың өзгеруін елемуге болатын кезде) тартымдық сипаты $P_{эм} = f(\delta)$ немесе $M_{эм} = f(\alpha)$ статикалық деп, ал жылдам жылжуында — динамикалық деп аталады.

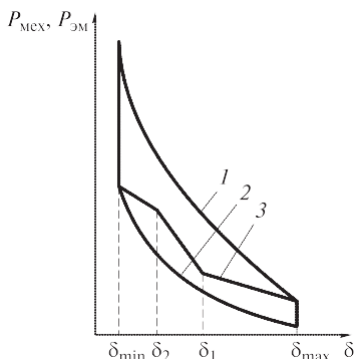
Электрмагниттік реленің механикалық сипаттамасы $P_{мех} = f(\delta)$ немесе $M_{мех} = f(\alpha)$ деп әдетте осы саңылаудың мәнінен (якорьдың бұрылу бұрышынан) якорьге әсер еткен (әсер ететін) және іс жүзіндегі саңылауға келтірілген (келтірілетін) электрмагниттік күшті (электрмагниттік сәтті) есептемегендегі жиынтық күштің тәуелділігі түсіндіріледі.

Баяу жылжу кезіндегі (қозғалыстағы массаның инерциялық күшін елемуге болған кезде) механикалық сипаттама статистикалық механикалық сипаттама деп аталады (бұдан әрі — жай ғана механикалық).

Реле іске қосылғанда механикалық күш, әдетте якорьдың қозғалысына кедергі келтіреді. Сондықтан механикалық сипаттаманы кейде қарсы тұрушы деп те атайды. Алайда қайту кезінде механикалық күштер қозғаушы күштер болып табылады, соның салдарынан «механикалыққа» қарағанда «қарсы тұрушы» күштер сәтсіздеу.

Реленің қалыпты жұмыс істеуі үшін оның динамикалық тартымдық және механикалық сипаттамалары іске қосу кезінде үйлестірілуі тиіс.

Көп жағдайда динамикалық сипаттамалары анықтамаларының ұқсастығынан статистикалық сипаттамаларын үйлестірумен шектеледі. Релеге арналған мұндай үйлесімділіктің 8.2 суретте нобайланған көрінісінің мысалы 8.5-суретте көрсетілген. δ_{min} нен δ_{max} дейінгі барлық



8.5-сурет. 8.2-суретте бейнеленген реленің статикалық тартқыш (1, 2) және механикалық (3) сипаттамалары

саңылаулардағы статистикалық механикалық сипаттамаға қарағанда реленің іске қосылуымен сәйкес келетін МҚК орам $F_{\text{ср}}$ кезіндегі статистикалық тартымдық сипаттамасы жоғары өтеді 1, ал реленің қайтуымен сәйкес келетін МҚК орам $F_{\text{в}}$ кезіндегі статистикалық сипаттама 2 — төмен өтеді. δ_1 саңылау 7 және 8 (8.2-суретті қараңыз). Түйіспе-бөлшектердің тұйықталуына, ал δ_2 саңылауы — серіппенің 5 жоғары тіреуге 4 дейін кері кетуіне сәйкес келеді.

8.2. Электрмагнитті реле

Электрмагнитті реле деп — жұмыс істеуі тоғы бар қозғалыссыз ораманың, магниттік өрісінің якорь деп аталатын ферромагниттік элементке әсеріне негізделген, электр механикалық релені айтамыз. Электрмагнитті релені орамадағы токтың мәнімен ғана әрекеттесетін меншікті электрмагнитті (кейде «бейтарап электрмагниттілер» деген термин қолданылады) және жұмыс атқаруы токтың мәнімен де, оның өрістілігімен де анықталатын өрістелінген электрмагнитті деп бөледі.

Өнеркәсіптік автоматты қондырғыларға арналған электрмагнитті реле, күшті дәлдіктегі коммутациялық аппараттар (түйістіргіштер, қуатты коммутациялық электронды техника) мен әлсіз дәлдіктегі аппараттар арасындағы аралық орынды алады. Осы релелердің ең бұқаралық түрі электр жетегін басқару релесі (басқару релесі) болып табылады, ал олардың ішінде — аралық релелер. Басқару релесі үшін жоғары механикалық және коммутациялық тозуға төзімділік кезіндегі коммутациялау саны сағатына 3 600 (соңғысы — $6 \cdot 10_6$ дейінгі коммутацияның қайталымы) болатын қайталама-қысқа мерзімді және үзілісті-ұзаққа созылған жұмыс кестелері тән.

440 В дейінгі кернеудегі тұрақты ток тізбегін және 50 және 60 Гц жиіліктегі, 660 В кернеудегі айнымалы токты коммутациялау үшін қолданылатын РПЛ сериясындағы реле аралық релелердің мысалы болып табылады. Ұзаққа созылған режимдегі шекті ток — 10 А.

Реле мынадай екі модификацияда шығарылады: кіру тізбегі айнымалы токпен қуатталатын–РПЛ-1 және кіру тізбегі тұрақты токпен қуатталатын – РПЛ-2. Құрылымдылық жағынан олар бір бірінен тек магниттік жүйемен ғана ерекшеленеді.

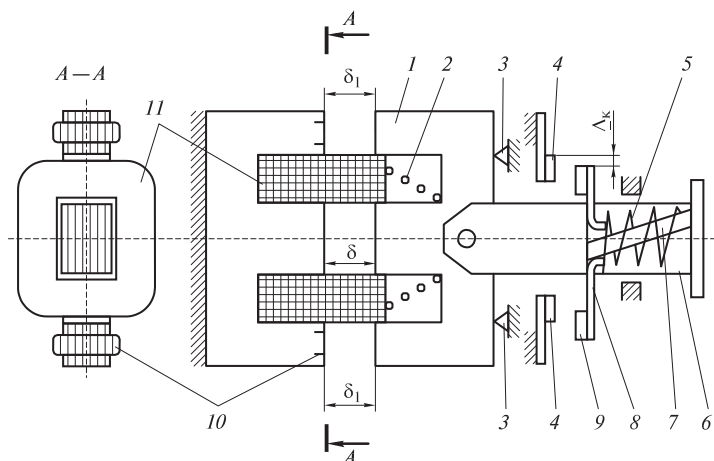
8.6-суретте нобайланып бейнеленген РПЛ-1 релесінің жұмысын қарастырайық. Орамаға 11 кернеу берілген кезде магниттік сымның бойында электрмагниттік күш тудыратын магнитті ағын пайда болады да, қайтарымдық серіппенің 2 келтіретін кедергісінен өтіп, якорьді 1 магниттік жүйенің δ және δ_1 жұмыс саңылауларын кішірейтетіндей етіп, тіреуіштерден 3 ауыстырады. Якорьмен 7 бағыттаушыда орналасқан

тартқыш 6 пен түйістіргіш серіппе 5 арқылы екі түйістіргіш-бөлшектері бар 9 түйістіргіш көпірше 8 байланысқан. Якорьдың кейбір күйінде соңғылар қозғалмайтын түйістіргіш-бөлшектермен 4 түйіседі. Якорьдың одан арғы қозғалысы кезінде, оның түпкілікті күйіне дейін түйістіргіш серіппенің 5 сығуының салдарынан түйіспелі басудың ұлғаюы болады. Бір мезгілде түйістіргіш көпірше 8 Дк арақашықтығына жоғары қарай орын ауыстырады, себебі, бағыттаушы 7 көпіршеге перпендикуляр емес. Түйістіргіш-бөлшектердің сырғуының нәтижесінде реленің жұмысы кезінде олардың бетінің өздігінен тазаруы болады. Якорьдың шеткі күйінде оның дірілі қысқа тұйықталған орамдардың әрекеттерімен жойылады 10.

Кіріс сигналы алынғаннан кейін магнитті сымдағы магнитті ағын қалдық мәнге дейін азаяды. Ағымның түпкіліктіден үлкен кейбір мәндерінде, іске қосу кезінде деформацияланған серіппелермен 2 және 5 туындаған күш электрмагниттік күштен артық бола түседі.

Якорь бастапқы күйіне келеді де, түйістіргіштер ажырайды. Якорьдың «жабысуын» болдырмайтын, қалдық ағынды мәніне дейін азайту үшін қарастырылатын құрылымдағы саңылау δ үлкен саңылаумен δ_1 қабылданады. Сондықтан $\delta_1 = 0$ болған кезде саңылау $\delta > 0$ болады.

Қорғанышты электрмагнитті реледе ерекшелігі саналатын жұмыстың ұзақ жалғаспалы режимі бар, сондықтан оған механикалық және коммутациялық тозуға төзімділік бойынша қойылатын талаптар басқару релесіне қарағанда қатаң. Реленің коммутациялық тозуға төзімділігі 10^3 –тен 2- дейін $\cdot 10^4$ цикл.



8.6 сурет. Электрмагнитті реле РПЛ-1:

1 — якорь; 2, 5 — серіппелер; 3 — тіреуіштер; 4 — қозғалмайтын түйістіргіш-бөлшектер; 6 — тартқыш; 7 — бағыттаушы; 8 — түйістіргіш көпірше; 9 — түйістіргіш-бөлшектер; 10 — қысқа тұйықталған орама; 11 — орама

Қорғаныш релесінде қайтарымның жоғары коэффициенті болуы тиіс. Бұған реленің тартымдылық сипаттамасын механикалық сипаттамаға жақындату арқылы қол жеткізуге болады. Алайда, олардың якорьдың түпкілікті күйінде шектен тыс жақындауы тұйықталған түйістіргіштердегі түйіспелік қысудың жол берілмеуі тиіс төмендеуіне әкеп соғады.

Реле тұрақты токта да, айнымалы токта да жұмыс істей алады. Айнымалы токпен жұмыс істеу кезінде туындайтын якорьдың дірілін жою үшін тербелістердің энергиясы киыршықтарды үйкелеу жұмысына ауысатын, тербелістерді бәсеңдеткіш қолданылады.

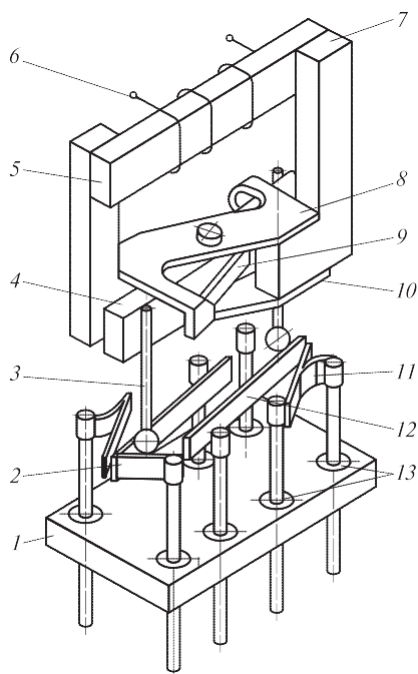
Радиоэлектронды құрылғылардың электрмагнитті релелері ең көп түрлі болып табылады. Оларға жоғарлатылған токтарды да, сонымен бірге төмендетілген токтарды да және кернеулерді де коммутациялау талабы жиі қойылады. Бұл релелердің көп түрлері қатаң шарттарда пайдалануға арналған, яғни тұрақты жылдамдықтың, жиіліктің кең диапазонындағы дірілдің, соққылардың, қоршаған ортадағы температураның елеулі төмендеуінің, атмосфералық қысымның және басқада факторлардың кезінде пайдаланылады.

Бұндай релелердің құрылымын жетілдірілуіне, олардың техникалық және пайдаланылу сипаттамасының жақсаруына, аппаратураны миниатюризациялаудың жалпы процесстері, баспалық монтаждауды кеңінен енгізу және түйістіргішсіз коммутациялау саласындағы жетістіктер ықпал етті. Бір корпуста шынайы электрмагнитті реле де, электрониканың элементтері де (интегралды тізбе, микропроцессор) орнатылған құрылымдар бар және олар аппараттың атқарымдылық және коммутациялық мүмкіндіктерін арттыруға, түйістіргіштердің күйін бақылауды жүзеге асыруға, басқарудың ұтымды режимін жасауға мүмкіндік береді.

Радиоэлектрондық құрылғыларға арналған көптеген қазіргі заманғы релелерге тән құрылымдық ерекшеліктер олардың саңылаусыздығы, теңгерімді зәкірі, түйіспелі тораптардың элементтерінің цокольден шыны «жасшалармен» окшауланған тікелей металл өткізгіштерге бекітілуі, температураға төзімді сымдардың және окшаулағыш материалдардың қолданылуы болып табылады. Бұл елеулі механикалық және климаттық әсер етулердің кезінде реленің сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

Радиоэлектрондық құрылғыларға арналған релелерге тән мысалдардың бірі, екі түйістіргіш түйіні бар РЭС-80 релесі (8.7-сурет) болып табылады.

Түйістіргіш түйін екі ауыстырып қосушы түйістіргіштерден тұрады, олардың әрқайсысында қозғалмалы ажырататын 2 және тұйықтайтын 11 түйістіргіш серіппелері, сондай-ақ қозғалмалы 12 түйістіргіш серіппелері бар. Түйістіргіш серіппелерде тіркелген шоғырландырылған түйістіргіштер жоқ. Төменгі токтар мен кернеуді коммутациялау



8.7-сурет. Электромагнитті реле РЭС-80:

1 — цоколь; 2, 11, 12 — түйістіргіш серіппелер; 3 — итергіш; 4 — якорь; 5 — білік; 6 — орама; 7 — полюстік ұштық; 8 — тақтайша; 9 — қайтару серіппесі; 10 — бағана; 13 — «тамшылар»

үшін түйістіргіш серіппелер алтынның жұқа қабатымен жалатылған. Түйістіргіш түйіндердің аталған бөлшектері цокольден 1 шыны «жасшалармен» 13 оқшауланған өткізгіштерге бекітілген 13.

Реленің магнитті жүйесінде L -пішініндегі екі полюстік ұштық 7, білік 5 және екі жарты ості — шетмойынды якорь 4 бар. Полюстік ұштықтар бағанға 10 және тақтайшаға 8 ерітіп жабыстырылған. Якорьдың нейзильберден жасалған ұштықтары баған мен тақтайшадағы саңылауларға кіреді. Бастапқы күйінде якорь қайтарымды серіппенің 9 тақтайшасының шектеуіш тіреуішіне қысылған. Полюсты ұштықтары бар якорьді құрғаннан кейін ұштықтардың бос ұштарына білікті алдын ала киілген орамамен 6 бірге ерітіп жабыстырады. Түйістіргіш түйіндерді баптап болғаннан кейін магнитті жүйені цокольге орналастырады.

Бұл ретте бағанның 10 ұштарын (8.7-суретте көрсетілмеген) цоколдағы саңылауларға қояды (бұл да көрсетілмеген) және оған ерітіп жабыстырады. Түйістіргіштерді якорьдың бұрылуы кезінде ауыстыру зәкірге ерітіп жабыстырылған итергіштердегі 3 шыны шарлар арқылы жүзеге асырылады.

Релені күйге келтіру (баптау) якорьдың жүрісінің өзгеруімен және итергіштердің иілістерімен жасалады. Күйге келтіріп болған соң магнитті жүйесі бар құрастыру торабын, түйістіргіш түйін пен цоколды, қаптамамен жабады және саңылау қалдырмай дәнекерлейді.

8.3 Жылу қорғанысының релесі

Электрлік тізбектерді номинал токтан 5 —7 есе асып кететін шектен шығу токтарының ұзақ ағымынан қорғау үшін, термобиметалды атқарушы механизмдері бар жылу қорғанысының релесі кеңінен қолданылады. Термобиметалды элементте бір-бірімен қатты біріктірілген, сызықтық өрістетудің а түрлі температуралық коэффициенті бар екі материалдан тұратын биметалды пластина бар. Егер пластинаның бір ұшы бекітілген болса (8.8, *а*-сурет), онда оның бос ұшы мәні α аз материалдың жағына қарай иіледі. Бұл ретте максималды бүгілу

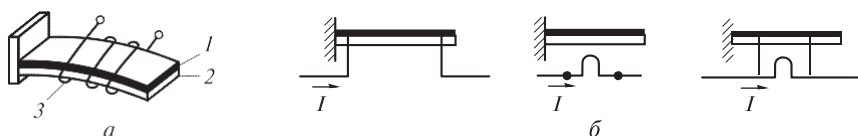
$$\chi_{\max} = \frac{3}{4} (\alpha_1 - \alpha_2) l^2 \frac{\theta}{\theta}, \quad (8.1)$$

мұндағы α_1, α_2 — бірінші және екінші термоактивті материалдардың сызықтық кеңейуінің температуралық коэффициенттері, мысалы хром-никельді болат және темір никель қорытпасы (инвар); l — биметалды пластинаның ұзындығы; θ — биметалды пластинаның температурасының қоршаған ортаның температурасынан асуы; δ — биметалды пластинаның жиынтық қалыңдығы.

Пластинаны қыздыру элементімен жылытудың үш тәсілі бар (8.8, *б*-сурет) : тікелей, жанама және аралас. Жылытудың тәсілін таңдау, ток тізбегімен өтетін мәнімен анықталады.

Кейбір жылу релелерінде (мысалы, ТРН-10, ТРН-25 және басқалар) қыздыру элементтері ауысымдылықпен жасалады, бұл жұмыс токтарының диапазонын елеулі арттырады.

8.9-суретте жылу релелерінің биметалды құрылғыларының жеңілдетілген схемасы ұсынылған.



8.8-сурет. Биметалды пластина қыздырғыш элементпен (*а*) және оның қыздыру тәсілдері (*б*):

1, 2 — термоактивті материалдар; 3 — қыздырғыш элемент

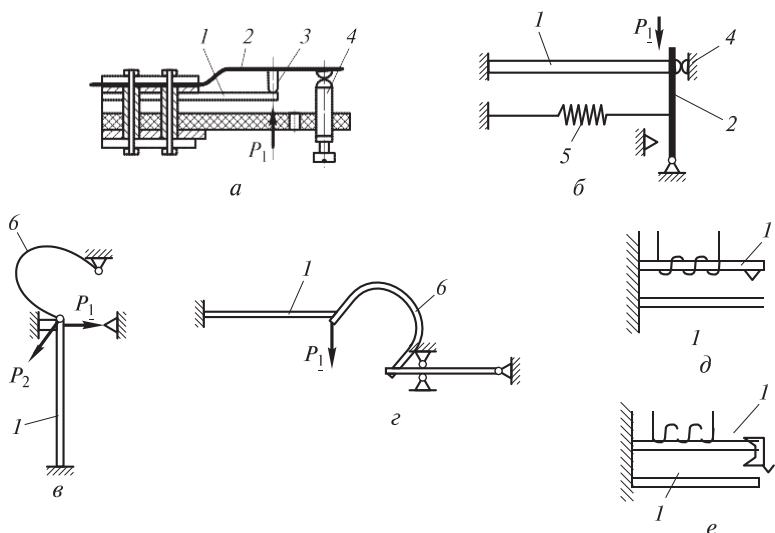
Пластинаны қыздырған кезде 1 (8.9, *a*-сурет) ол күш бағытында иіледі, P_1 және штифтке 3 әсер ете отырып, қозғалмалы серіппелі түйістіргішті 2 қозғалыссыз түйістіргішпен 4 ажыратылғанға дейін жылжытады. Түйістіргіштердің 2 және 4 күйін өзгерте отырып, іске қосу тоғы бойынша реленің тағайындамасын өзгертуге болады. Биметалды пластинаны салқындатқаннан кейін реле бастапқы күйіне келеді. Реленің пластинасын қыздыру тікелей немесе жанама тәсілмен жүзеге асырылады. Бұл құрылғының шапшаңдығы аз.

8.9, *б*-суретте ұсынылған құрастырылымда аталған кемшілік жоқ. Биметалды пластина 1 түйістіргіштерді 2 және 4 тұйықталған күйде ұстайтын ілмектің қызметін атқарады. Қыздыру кезінде пластина иіледі де, серіппелердің 5 әсерімен ажыратылатын түйістіргіштерді босатады. Пластинаны бастапқы қалпына келтіру қолмен жүзеге асырылады.

Одан да үлкен шапшаңдыққа 8.9, *в*-суретте көрсетілген құрастырылым жеткізілген. Табақты түйістіргіш 6 реленің түйістіргіштерін оның қыздырылуы кезінде дамытылған P_1 күші серіппемен дамытылған P_2 күшінен артқанға дейін тұйықталған күйде ұстап тұрады.

Бұнымен бірге пластина P_1 күштің әрекет ету жағына қарай секіре иіліп реленің түйістіргіштерін ажыратады. Жүйенің бастапқы күйіне оралуы пластина суығаннан кейін автоматты түрде болады.

Сипатталған құрастырылымның бір түрі 8.9, *г*-суретте ұсынылған құрылғы болып табылады. Осы жүйеде бір мезгілде пластина мен түй-



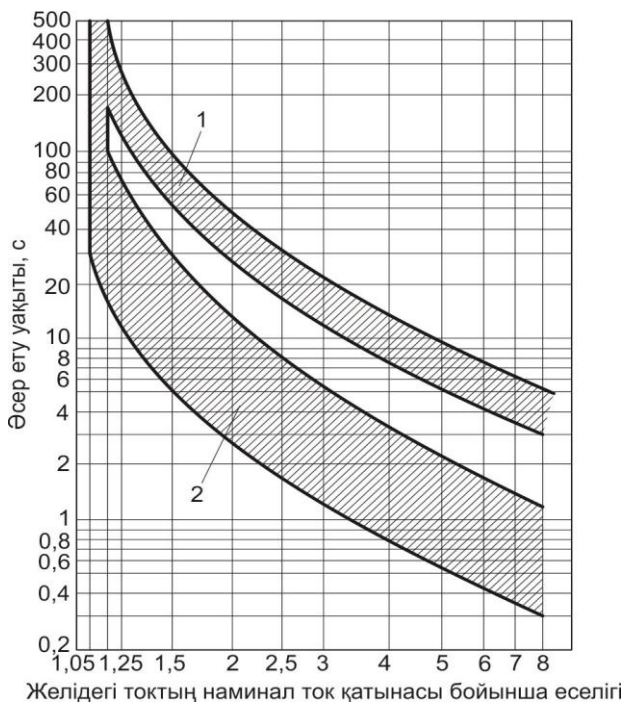
8.9-сурет. Жылу релелерінің биметалды құрылғыларының схемасы (а-е): 1 — биметалды пластина; 2, 4 — қозғалмалы және қозғалыссыз түйістіргіштер; 3 — штифт; 5, 6 — серіппелер

істіргіштердің секіртпелі орын ауыстыруы болады. Жүйенің өзіндік қайтуы бар.

Жылу релесінің сипаттамасына қоршаған ауа температурасының әсерін болдырмау үшін оларда қосалқы биметалды пластинаны қолдану есебінен термоқарымта қарастырылған. 8.9, *д*-суретте көрсетілген құрастырылымда пластинаның бүгілуінің қарымтасы жүзеге асырылған, ал 8.9, *е*-суретте пластинаның күштің қарымтасын орындау нұсқасы ұсынылған.

Термобиметалды пластинасы бар жылу релелері электрқозғалтқыштардың статорлық орамаларын қозғалтқыштың іске қосылу режимінде де, технологиялық шамадан тыс жүктемелерінде де

Тізбектегі токтың номиналды токқа қатысты еселілігі асқын жүктелген токтардың ұзақ өтуінен қорғау үшін кеңінен қолданады. Бұл реле жанама қозғалысты қорғау аппараттарына жатады, себебі, ол қорғала-



8.10-сурет. ТРН-10А релесінің уақыттық-токтық сипаттамасы:

- 1 — жұмысын салқын күйде бастаған реленің уақыттық-токтық сипаттамасының аймағы (қозғалтқыштың қосылуы кезінде);
- 2 — жұмысын ыстық күйде бастаған реленің уақыттық-токтық сипаттамасының аймағы (номиналды токпен қызыдырылғаннан кейін)

тын нысанның температурасының көтерілуіне емес, осы көтерілуді тудырған токқа әсер етеді. Жылу релелерінің кемшіліктері мыналар: реле бойымен өтетін асқын токтарға қарсы жылуға тұрақтылығының аздығы, қорғайтын сипаттаманың реттелмеуі, іске қосу уақытының ұзақтығы, энергияның елеулі жоғалтылуы, реленің іске қосылуының ток пен уақыт бойынша үлкен таралымы, салқындатылу қажеттігі. Жылу релесінің құндылығы мыналар: көлемінің кішілігі, салмағы мен құны, құрастырылымының қарапайымдылығы және пайдаланудағы сенімділігі.

Реленің негізгі қорғаныштық сипаттамасы уақыттық-тоқтық сипаттама болып табылады, яғни, реленің іске қосылу уақытының номиналды токқа қатысты тізбектегі токтың еселігіне тәуелділігі (8.10 сурет).

Қазіргі заманғы магнитті қосқыштар жаңа буынның жылу релелерімен жабдықталады. РТЛ топтамасындағы реледе үшполюсты орындалу, қозғалтқыштың статорлық ораманың сымдарының үзілуі кезіндегі іске қосуды жеделдету, іске қосылмау тоғының баптауышы және ауыстырымсыз қыздыру элементтері. Реледе термоқарымта қарастырылған. Ол жоғары тезәрекеттілікке ие, 200 А дейінгі номиналды токқа есептелген және ПМЛ топтамасындағы қосқыштарды жинақтауға арналған. РТТ (ПМА топтамасындағы магнитті қосқыштар үшін) топтамасындағы реленің жоғарыдағыға ұқсас сипаттамалары бар және 630 А дейінгі номиналды токқа есептелінген.

Бақылау сұрақтары:

1. Электр механикалық реле нені білдіреді? Оның басқару сипаттамасын келтіріңіз.
2. Электр механикалық релелердің қолданыс аясы қандай және олар қандай негізгі қызметтерді (функцияларды) орындайды?
3. Логикалық реле мен өлшеуіш релесінің арасындағы айырмашылық қандай?
4. Реленің тағайындамасы деген не?
5. Бір тұрақты реле мен екі тұрақтылы реленің арасындағы айырмашылық неде?
6. Электрлік реленің неғұрлым көбірек қолданылатын сипаттамасын атаңыз.
7. Реленің түйістіргіштері қандай параметрлермен сипатталады?
8. Термобиметалды элементі бар жылу релесінің жұмыс істеу принциптерін түсіндіріңіз.

ЭЛЕКТРМАГНИТТІ ТҮЙІСПЕЛЕР ЖӘНЕ МАГНИТТІ ҚОСҚЫШТАР

9.1. Жалпы мәліметтер

Түйістіргіш — бұл тиісті электр тізбектерінің артық тоғынан аспайтын, токтардың жеке коммутациясына арналған екі позициялы аппарат. Түйістіргіштің түйіспелерінің тұйықталуы немесе ажырауы қозғалтқыш (электрмагнитті, пневматикалық немесе гидравликалық) жетекпен жүзеге асырылуы мүмкін.

Электрмагнитті түйіспелер кеңінен таралған.

Тұрақты токтың түйіспелері тұрақты ток тізбегін коммутациялайды және ереже бойынша тұрақты ток электрмагнитіне ие. Айнымалы ток түйіспелері айнымалы токты коммутациялайды. Осы түйіспелердің электрмагниті айнымалы немесе тұрақты токта орындалуы мүмкін.

Әр қосуда және ағытуда әсіресе қосулардың үлкен санында ерекше байқалатын түйіспелердің тозуы болады (бұл қазіргі электр жетектерге тән). Сол себепті қосуда дірілді жою және ағытуда доғаның жану ұзақтығының қысқаруына шаралар қабылдайды. Операциялардың үлкен жиілігі түйістіргіштің электрмагнитті механизмінің жоғары механикалық беріктігін талап етеді. Аппараттың қабілеттілігі тозуға беріктігімен сипатталады. Механикалық және коммутациялық тозуға төзімділікті ажыратады.

Механикалық тозуға төзімділік детальдар және оның түйіндерін ауыстыру және жөндеусіз түйіспелерді қосу-ағыту санымен анықталады. Тізбектегі ток бұнда нөлге тең. Қазіргі түйіспелердің механикалық тозуға төзімділігіне өте жоғары талаптар қойылады. Ол $(10...20) \cdot 10^6$ операцияларды құрауы тиіс.

Коммутациялық тозуға төзімділік токпен қосылулар-ағытулар тізбегінің санымен анықталады, одан кейін тозған түйіспелерді ауыстыру талап етіледі. Қазіргі түйіспелер шамамен $(2...3) \cdot 10^6$ операциялардың коммутациялық тозуға төзімділікке ие болуы тиіс.

Жоғары механикалық және коммутациялық тозуға төзімділікпен қатар түйіспелердің салмағы аз және өлшемі шағын болуы тиіс. Доғаның қыздырылған газдарын шығару аймағы барынша аз болуы тиіс, ол барлық орнату өлшемдерін толығымен қысқартуға мүмкіндік береді.

Тозуға барынша қатты ұшырайтын детальдар ауыстыру үшін жеңіл болуы тиіс.

Түйістіргіштің негізгі түйіндері: түйіспелік жүйе, доға сөндіргіш жүйе, электрмагнитті механизм, бұғаттауыш түйіспелер (блок-түйіспелер) жүйесі болып табылады.

Электрмагнитті орауда кернеуді беруде якорь тартылады. Якорьмен байланысты қозғалмалы түйіспеде бас тізбектің тұйықталуы немесе ажырауы жүргізіледі. Доға сөндіргіш жүйе доғаны сөндіруі қамтамасыз етеді, ол түйіспелердің тозуын төмендетеді. Түйістіргіштің өзін басқару тізбегіне қосылатын немесе басқа аппараттармен түйістіргіштің жұмысын келісу үшін пайдаланылатын басты түйіспелерден басқа түйістіргіш бірнеше қосалқы әлсіз токты түйіспелерге (блок-түйіспе) ие.

Түйіспелердің негізгі параметрлері және іске қосқыштар: бас түйіспелердің номиналды тогы, шекті ағытылатын ток, номиналды кернеу, механикалық тозуға төзімділік, электрлі тозуға төзімділік, сағатына қосулардың рұқсат етілетін саны, қосудың өзіндік уақыты болып табылады.

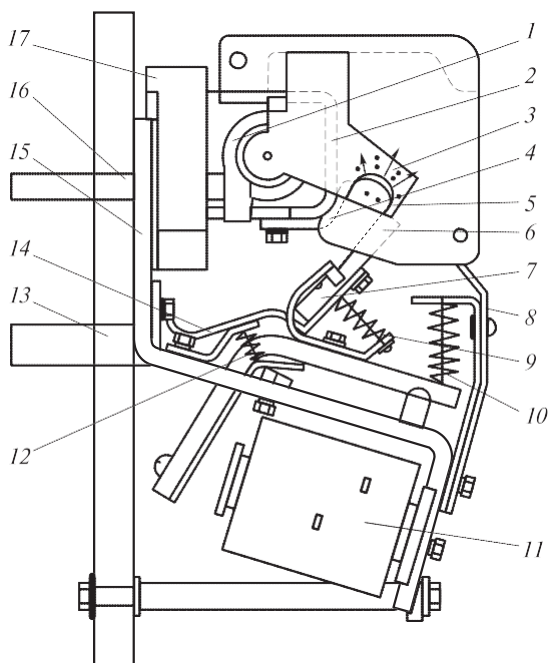
9.2. Тұрақты ток желісінен басқарылатын түйіспелер

Түйістіргіштердің түйіспелері ауыр жұмыс жағдайларына және сағатына операциялардың үлкен санына байланысты ең күшті электрлік және механикалық тозуға барынша ұшырайды. Тозуды азайту үшін басым түрде таралу үшін сызықтық аунамалы түйіспелер кеңінен таралды.

Түйіспелердің дірілін болдырмау үшін түйіспелі серіппе шамамен басудың соңғы күшінің жартысына тең алдын ала басу жасайды. Жалпы қозғалмайтын түйіспені бекіту қаттылығы дірілге үлкен әсер көрсетеді. Бұл тұрғыда КПВ-600 сериялы түйіспелердің құрылымы өте сәтті (9.1-сурет). Қозғалмайтын түйіспе қапсырмаға 2 қатты бекітілген. Доға сөндіргіш шарғының бір ұшы 1 осы қапсырмаға жалғастырылған, екінші ұшы шығарумен 16 оқшаулаушы пластмассалық негізге 17 сенімді бекітілген. Соңғысы берік болат қапсырмаға 15 бекітіледі, ол аппарат негізі болып табылады. Қозғалмалы түйіспе 6 қалың пластина түрінде жасалған. Пластинаның төменгі ұшы тірек нүктесіне қатысты бұрылу мүмкіндігіне ие, оның нәтижесінде пластина қозғалмайтын байланыс бойынша жылжуға қабілетті 4.

Шығару 13 қозғалмалы түйіспемен 6 икемді өткізгіш (байланыс) 14 көмегімен жалғасады. Түйіспелі басу серіппеден 9 туындайды.

Түйіспелердің тозуы кезінде түйіспе сухарін 4 жаңасымен ауыстырады, ал қозғалмалы түйіспе пластинасын 7 180° бұрады және оның зақымданбаған жағы әрі қарай жұмыста пайдаланылады.



9.1-сурет. КРВ-600 сериялы тұрақты ток түйістіргіші:

1 — доға сөндіргіш шарғы; 2, 15 — қапсырмалар; 3 — магнитті үрлеу пласти-
насы; 4 — қозғалмайтын түйіспе; 5 — доға; 6 — қозғалмалы түйіспе; 7 — тірек;
8 — түйіспе-мүйіз; 9, 10, 12 — серіппелер; 11 — орам; 13, 16 — шығарулар; 14 —
иілгіш сым; 17 — негіз

50 А артық токты доғамен негізгі түйіспелерді балқытуды азай-
ту үшін түйістіргіште доға сөндіргіш түйіспе-мүйіз 8 бар. Басқа түй-
іспе-мүйіздің рөлін қапсырма 2 орындайды. Доға сөндіргіш құрылғысы
жолының әсерімен доғаның тірек нүктелері қапсырмаға 2, қозғалмалы
түйіспемен жалғасқан 4 және қорғаныш түйіспе-мүйіз 8 қозғалмалы
түйіспеге 6 тез ауысады. Якорьды бастапқы жағдайға қайтару (магнитті
ағытқаннан кейін) серіппемен 10 жүргізіледі.

Түйістіргіштің негізгі параметрі номиналды ток болып табылады,
ол түйістіргіш өлшемдерін анықтайды. Мысалы, шартты өлшемді топ-
тың түйістіргіші II 100 А; III— 150 А тоғына ие.

КРВ-600 сериялы және көптеген басқа типті түйіспелерге тән ерек-
шелік түйістіргіш корпусымен қозғалмалы түйіспені шығаруды электр-
лік қосу болып табылады. Түйістіргіш қосылған жағдайында магнитже-
тек кернеуде болады. Тіпті ағытылған жағдайда кернеу магнитжетекте
және басқа детальдарда қала алады, сол себепті магнитжетекпен жана-
су өмір үшін қауіпті.

КПВ сериялы түйіспелер ажырайтын негізгі түйіспелермен жасалуы мүмкін. Тұйықталу серіппенің әсерінен, ал ажырау — электромагнит дамытатын күш есебінен болады.

Жұмыстың үзілмелі ұзақ режимінің тоғы түйіспелердің **номиналды тоғы** деп аталады. Бұнда жұмыс режимінде түйістіргіш қосылған жағдайда 8 сағаттан кем емес уақытта болады. Көрсетілген уақыт бойынша аппарат бірнеше рет қосылуы және ағытылуы тиіс (мыс оксидінен түйіспелерді тазалау үшін), осыдан кейін жұмысқа қайтадан кіріседі. Егер түйістіргіш шкафта орналасса, онда номиналды ток суытудың нашарлайтын шарттарынан шамамен 10 %-ға төмендейді.

Жұмыстың ұзақ режимінде үздіксіз қосу ұзақтығы 8 сағаттан асады, түйістіргіштің рұқсат етілетін тоғы шамамен 20 % төмендейді. Бұндай режимде мыс түйіспелердің тотығуынан өтпелі кедергі артады, нәтижесінде түйіспелердің температурасы және түйістіргіш жалпы рұқсат етілетін мәннен асуы мүмкін. Егер түйістіргіш қосулардың кішігірім санымен жұмыс істесе немесе ұзақ қосу үшін арналса, онда түйіспелердің жұмыс бетін күміс пластинамен дәнекерлейді. Күміспен қаптау ұзақ уақыт қосу режимінде түйістіргіштің рұқсат етілетін тоғын номиналды токқа тең сақтауға мүмкіндік береді. Егер түйістіргіш ұзақ қосу режимімен қатар қайталау-қысқа уақытты қосу режимінде пайдаланылса, күміс қаптамаларды қолдану орынсыз болады, себебі күмістің аз механикалық беріктігінен түйіспелердің тез тозуы болады.

Қайталама-қысқа уақытты режимде ұзақ қосуда ПВ = 40 % рұқсат етілетін ток, ереже бойынша, шамамен 120 % номиналды мәнді құрайды. Дайындаушы зауыттың ұсыныстарына сәйкес КПВ-600 сериялы түйістіргішке арналған қайталама-аз уақытты режимнің рұқсат етілетін ток формула бойынша анықталады

$$I_{п-к} = \frac{I_{ном}}{\sqrt{ПВ + \frac{п}{600} ПВ}}$$

бұнда n — сағатына қосылулар саны.

Егер қайталама-аз уақытты режимде доға ұзақ жанса (үлкен индуктивті жүктемені ағытқанда болады), онда түйіспелер температурасы оларды доғамен қыздыру есебінен күрт ұлғаюы мүмкін. Бұндай жағдайларда түйіспелерді ұзақ режимде қыздыру қайталама-қысқа уақыт режиміне қарағанда аз болуы мүмкін.

Ереже бойынша, тұрақты токтың түйіспелердің түйіспелі жүйесі бір полюске ие. Сағатына қосылулардың үлкен жиілігінде асинхронды қозғалтқыштарды реверстеу үшін (1200 дейін) қосарланған түйіспелі жүйе қолданады. Тұрақты ток электромагниті бар КТПВ-500 сериялы түйіспелерде қозғалмалы түйіспелер корпусан оқшауланған, ол аппа-

ратқа қызмет көрсетуді барынша қауіпсіз етеді. Бір полюсті түйіспелер қолданылатын схемамен салыстырғанда екі полюсті түйіспелері бар схема үлкен басымдылыққа ие. Бір түйістіргіштің ақауларында және істен шығуында кернеу тек қозғалтқыштың бір қысқышына ғана беріледі. Бір полюсті түйіспелері бар схемада қозғалтқыштың екі фазалы қуатының ауыр режимінің туындауына әкеледі.

Тұрақты ток түйіспелерінде магнитті үрлеуі бар құрылғылар кеңінен таралған.

Магнитті өрісті жасау тәсіліне байланысты тұрақты магнитпен және орауышты параллель қосумен (кернеу орауышы), магнитті үрлеу орауышын ретпен қосу жүйелерін ажыратады.

Ток орауышын қолданған жағдайда ағытылатын тізбек арқылы өтетін ток одан өтеді. Бұнда индукция ағытылатын токқа пропорционал, ал доға ұзындығының бірлігіне әрекет ететін күш ток квадратына пропорционал. Себебі аз токтар аймағында үрлеу үшін магнитті өрістің қажетті шамасы барынша маңызды, аз токтар аймағында магнитті өрістің қажетті индукциясын тудырмайтын ток орауышы бар жүйенің тиімділігі аз. Осы кемшілікке қарамастан номиналды және үлкен токтарды сөндірудегі жоғары сенімділігі нәтижесінде ток орауышы бар жүйе басым түрде таралды.

Параллель қосуы бар жүйеде магнитті үрлеу орауыш тәуелсіз қуат көзіне қосылады. Жүйемен құрылатын магнитті индукция тұрақты және ағытылатын токқа байланысты емес. Аз токтар аймағында кернеу орауышы ток орауышына қарағанда барынша тиімді, сол доғаның жану ұзындығында аз МҚК талап етіледі, ол энергияны үнемдеуді береді. Алайда кернеу орауышының бірқатар маңызды кемшіліктері бар.

Біріншіден, доғаға әрекет ететін электр динамикалық күштің бағыты ток полярлығына байланысты. Ток полярлығы өзгергенде, ток доғасы өзінің қозғалыс бағытын өзгертеді, сәйкесінше түйістіргіш токтың полярлығын ауыстырғанда жұмыс істей алмайды.

Екіншіден, орауышта қуат көзінің кернеуі болса, оқшаулау осы кернеуге есептелуі тиіс. Орауыш жұқа сымнан жасалады. Осындай орауышқа доғаны жақындығы соңғысының жұмысын сенімсіз етеді (түйіспелердің балқытылған металы орауышқа түсуі мүмкін).

Үшіншіден, қысқа тұйықталуларда орауышқа қуат беретін орауыштағы кернеудің төмендеуі мүмкін. Доғаны сөндіру процесі нәтижесінде тиімсіз ағатын болады.

Көрсетілген кемшіліктерге байланысты кернеудің орауышы бар жүйесі тек 5-тен 10 А дейін кішігірім токтарды ағыту қажет болған жағдайларда ғана қолданылады.

Маңызы жағынан тұрақты магниті бар жүйе кернеудің орауышы бар жүйеден аз ерекшеленеді, бірақ келесі артықшылықтарға ие:

- магнитті өрісті жасауға электр энергиясына шығындар жоқ;

- түйістіргішке мыс шығыны күрт қысқарады;
- ток орауышы бар жүйелердегідей орауыштан түйіспелердің қызуы болмайды;
- тұрақты магниті бар жүйе кернеуінің орауышы бар жүйемен салыстырғанда жоғары сенімділікке ие және кез келген токтарда жақсы жұмыс істейді.

Доғаға әсер ететін магниттік өріс доға сөндіргіш камерада доғаны жылжытатын күш туғызады. Камераның мақсаты доғаны қыздырылған газдары бар аймақты оқшаулау, көршілес полюстер арасының жабылуына кедергі жасау болып табылады. Камераның қабырғаларымен доғаның жанасуы кезінде доға қарқынды салқындайды, оның вольт-амперлік сипаттамасының көтерілуіне және соның салдарынан сәтті сөнуіне әкеледі. Тұрақты токтағы жетегі бар түйіспелерде басым түрде клапанды типті электр магниттер кеңінен таралған.

Қазіргі түйіспелерде механикалық тозуға төзімділікті арттыру мақсатында призмада якорды айналдыру қолданылады. Осылайша, КПВ-600 сериялы түйіспелерде электрмагнитті және түйіспелі жүйені (9.1-сур. қар.), якорды призмаға қысатын арнайы серіппені қолдану $12, 20 \cdot 10_6$ операцияға дейін айналу торабының тозуға төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Призмалық тораптың тозуына қарай якорь және тірек призмасының арасындағы саңылау автоматты түрде таңдалады. Якорьдың және магнитжетектің мойынтіректі қосылысын қолданған жағдайда аппараттың қалыпты жұмысын бұзатын люфтілер туындайды.

Қажетті дірілді және соққыға төзімділікті алу үшін түйістіргіш айналу осіне қатысты бірқалыпты болуы тиіс. Жақсы теңдестірілген жүйенің қалыпты мысалы КПВ-600 сериялы түйістіргіштің электрмагниті болып табылады. Магнит якорі қозғалмалы түйіспе бекітілетін құйрыққа теңестіріледі. Қайтарма серіппе 10 сондай-ақ якорьдың ұшына әсер етеді. Электромагнит орауышы жұқа қабырғалы оқшауланған болат гильзаға оралады, ол жақсы беріктікті қамтамасыз етеді және өзекшемен орауыштың жылулық байланысын жақсартады. Соңғысы орауыштың температурасының төмендеуіне және Түйістіргіштің габариттік өлшемдерінің азаюына жағдай жасайды.

Электромагнитті қосуда қайтару 10 және түйіспелі 9 серіппелер күшінің әсерін жеңеді. Электромагниттің тартылыс сипаттамасы барлық нүктелерде қыздырылған орауышта және 0,85 ном орауышта ең аз рұқсат етілетін кернеудегі қарсы әрекет ететін серіппелердің сипаттамалары жоғары болуы тиіс. Қосу қозғалмалы түйіспенің ауысуының тұрақты өсу жылдамдығымен болуы тиіс. Негізгі түйіспелердің түйыкталуы кезінде баяулау болмауы тиіс.

КПВ-600 сериялы түйістіргіштің электр магнитінің якорына келтірілген қарсы әрекет ету күштерінің сипаттамалары 9.2-суретте көрсетілген. Қосудағы барынша ауыр сәт бас түйіспелердің жанасу сәтін-

дегі қарсы әрекетті болдырмау болып табылады, себебі электромагнит үлкен жұмыс саңылауында айтарлықтай күшті дамытуы тиіс.

Механизмнің маңызды параметрі қайтару коэффициенті $K_{\text{в}} = U_{\text{вкл}} / U_{\text{ср}}$ болып табылады. Тұрақты ток түйістіргіші үшін $K_{\text{в}}$, ереже бойынша аз (0,2-0,3), ол осындай түйістіргішті кернеудің төмендеуінен қозғалтқышты қорғау үшін пайдалануға мүмкіндік бермейді.

Орауыштағы барынша көп кернеу $1,1 U_{\text{ном}}$ аспауы тиіс, себебі үлкен кернеуде якордың соққыларының күшеюінен детальдардың механикалық тозуы ұлғаяды, ал орау температурасы рұқсат етілетін мәннен асуы мүмкін.

600 А номиналды токқа қосарланған түйіспелі жүйесі бар КТПВ типті түйістіргіштерде қажетті күшті дамыту үшін екі параллель жұмыс істейтін электромагнит орнатылады.

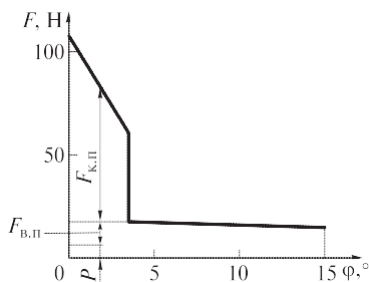
Орамның МҚК азайту мақсатында, сәйкесінше оны тұтынатын қуаттылықпен якордің жұмыс барысын азайтады (8-10 мм). Аз токтарда доғаны сенімді сөндіру үшін 17.20 мм түйіспелер ерітіндісі талап етіледі, жылжу жүйесінің айналу осінен жылжу түйіспесіне дейін жанасу нүктесіне дейінгі қашықтық полюс осінен айналу осіне дейінгі қашықтыққа қарағанда 1,5 — 2 есе үлкенін таңдайды.

Қосудың өзіндік уақыты якордың қозғалыс уақыты және жылжу ағынының мәніне дейін ағынның өсу уақытының қосындысын құрайды. Өзіндік уақыттың үлкен бөлігі ағынның өсуіне кетеді. 100 А токқа есептелген түйіспелерде, өзіндік уақыт 0,14 с құрайды, түйіспелерде 630 А 0,37 с дейін ұлғайтылады.

Ағытудың өзіндік уақыты — түйіспелер ажыраған сәтке дейінгі электр магниттің токсыздану сәтінен бастапқы уақыт. Ол анықталған мәннен жіберу ағынының мәніне дейінгі ағынның түсу уақытымен анықталады. Қозғалыс уақыты, яғни якордың қозғалу сәтінен бастап түйіспелердің ажырау сәтіне дейін елемеуге болады. Орамдағы өтпелі процесс ағынның түсуінде аз көрінеді, себебі орам тізбегі ағыту аппаратымен тез ажырайды. Көрсетілген процесс негізінен магнитті тізбектегі айналымдағы токпен анықталады (басым түрде орауыг болатын цилиндрлік өзекшеде). Болаттың меншікті электр кедергісіне байланысты бұл

9.2-сурет. КТВ-600 сериялы түйістіргішке арналған қарсы әрекет ететін сипаттама:

P — ауырлық күші; $F_{\text{в.п}}$ — қайту серіппесінің күші; $F_{\text{к.п}}$ — түйіспелі серіппенің күші; φ — якорьді бұру бұрышы



токтар ағынның түсуін барынша баялатады. 100 А токқа есептелген түйіспелерде, ағытудың өзіндік уақыты 0,07 с, ал түйіспелерде 630 А — 0,23 с құрайды.

Майлы ажыратқыштардың жетектерінің электр магниттерін ағыту және қосу үшін арналған КМВ сериялы түйіспелерге қойылатын ерекше талаптарға байланысты, көрсетілген түйіспелерінің электрмагнитті механизмі арнайы үзбелі серіппені тарту күштерін өзгерту күштері есебінен іске қосылу және жіберу кернеуін реттеуге жол береді. КМВ сериялы түйіспелер кернеудің маңызды төмендеуінде жұмыс істеуі тиіс. Сол себепті осы түйіспелерде іске қосудың ең аз кернеуі $0,65 U_{\text{ном}}$ дейін төмендеуі мүмкін. Іске қосудың осындай төмен кернеуі оның жоғары қызуы тудыратын ток орам арқылы номиналды кернеуде өтетініне әкеледі. Осыған байланысты орам тек аз уақыттағы номиналды кернеуге ғана қосылуы мүмкін (қосу уақыты 15 с аспауы тиіс).

9.3. Айнымалы ток түйіспелері

Айнымалы ток түйіспелері 100 ден 630 А дейінгі токтарға шығарылады. Негізгі түйіспелер саны бірден беске дейін өзгереді. Бұл жалпы барлық аппараттың құрылымында көрсетіледі. Үш полюсті түйіспелер кеңінен таралған. Түйіспелер санының көп болуы аппаратты қосу үшін қажетті мезеттің және күшеюдің ұлғаюына әкеледі.

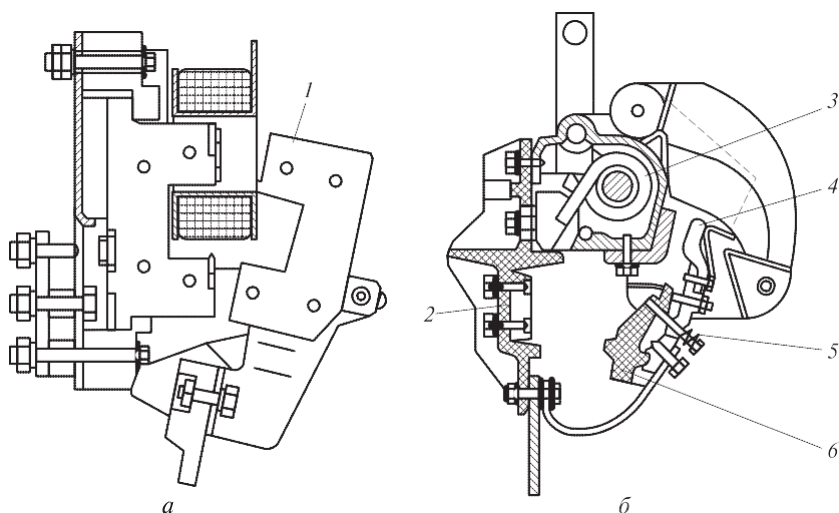
9.3-суретте, а магнитті жүйе бойынша КТ-6000 сериялы түйіспелердің қимасы, ал 9.3-суретте, б — бір полюстің түйіспелі және доға сөндіргіш жүйелері бойынша орналасқан. Қозғалмалы түйіспе 4 серіппемен 5 түйістіргіш білігімен байланысты оқшаулаушы тұтқышта 6 орналасқан. Айнымалы токты барынша жеңіл сөндіру салдарынан түйіспелер ерітіндісі кішігірім болуы мүмкін.

Ерітіндіні азайту айналу осіне түйіспен жақындату мүмкіндігін береді.

Айналу осіне дейін түйіспелердің жанау нүктесінен қашықтықты азайту түйістіргішті қосу үшін қажет электрмагнит күшін төмендетуге мүмкіндік береді, ол өз кезегінде габариттік өлшемдерді және түйістіргіш тұтынатын қуаттылықты азайту мүмкіндігін береді.

Қозғалмалы түйіспе 4 және электрмагнит якорі 1 түйістіргіш білігі арқылы өзара байланысты. Тұрақты ток түйіспелеріне қарағанда КТ-6000 сериялы түйістіргіштегі қозғалмалы түйіспе аунамайды. Аппарат серіппенің әсерімен және қозғалмалы бөліктердің ауырлық күшінен ағытылады.

Пайдалану қолайлылығы үшін қозғалмалы және қозғалмайтын түйіспелер жеңіл өзгертін болып жасалған. Түйіспелі серіппе 5, тұрақты



9.3-сурет. КТ-6000 сериялы айнымалы ток түйістіргіші:

а — магнитті жүйе бойынша қима; *б* — түйіспелі және доға сөндіргіш жүйелері бойынша қима: 1 — якорь; 2 — рейка; 3 — доға сөндіргіш орам; 4 — қозғалмалы түйіспе; 5-серіппе; 6 - тұтқыш 5 — пружина; 6 — рычаг

ток түйіспелеріндегідей алдын ала тартуға ие, оның күші соңғы тартылу күшінің жартысын құрайды.

КТ-6000 сериялы түйіспелердің магнитті және түйіспелі жүйелері оқшаулаушы рейкада 2 бекітілген, рейка құрылымдарды басқарудың кешенді станцияларындағы түйістіргішті пайдалануға мүмкіндік береді.

Әр полюске екі ажырауы бар көпіршелі түйіспелі жүйе кеңінен таралды. Бұндай құрылым қосқыштарда таралды. Оның үлкен артықшылығы икемді байланыстың, доғаның тез сөнуі болып табылады.

Айнымалы ток түйіспелерінде тік жүрісті түйіспелі жүйе, сондай-ақ якордың айналу жүйесі қолданылады. Бірінші жағдайда якорь ілгерілемелі қозғалады.

Қозғалмалы түйіспелер якорьмен байланысты және олар сияқты жолды жасайды. Якорьге түйіспелі серіппелерді беруде иінтіректі жүйенің болмауына байланысты күшті еңсере алмайды. Электромагнит түйіспелі серіппелер және якордың ауырлық күшіне қарағанда (тік орнату түйіспелерінде) үлкен күшке ие болуы тиіс.

Тік жүрісті жүйеде орындалған түйіспелердің көпшілігінде түйіспелі басу күшінің баяу ұлғаюы байқалады, осыған байланысты түйіспелердің ұзақ дірілі орын алады. Нәтижесінде қосу кезінде түйіспелердің қатты тозуы болады. Сол себепті осындай құрылым тек кішігірім номиналды токтарда ғана қолданылады.

Түйіспелерден электрмагнит якоріне күш жіберу тұтқышы бар

көпіршелі жүйесі болатын түйістіргіш ең жетілдірілген түрі болып табылады.

Егер түйістіргіш полюсте бір ажырауға ие болса және ешбір доға сөндіргіш құрылғымен жабдықталмаса, онда белсенді жүктеме жағдайында ($\cos\varphi = 1$) доғаны сөндіру түйіспелер ерітіндісінде кез келген ток және 500 В дейінгі кернеуде шамамен 0,5 мм болады. Индуктивті жүктеме жағдайында ($\cos\varphi = 0,2...0,5$) түйіспелерді осындай ерітіндісімен сөндіру 220 В дейінгі кернеуде орын алады, себебі ол катод маңы аймағындағы электр беріктігін тез қалпына келтіру есебінен болады.

220 В аспайтын көз кернеуінде доғаны сөндіру үшін полюсте бар болғаны бір ажырау қажет. Ешқандай доға сөндіру құрылғылары талап етілмейді.

Егер аппарат полюсінің тізбегінде, мысалы, көпіршелі түйіспені қолдану жолымен екі ажырау жасалса, онда доға 380 В желісінің кернеуіндегі кернеу айналасы электр беріктігі есебінен сенімді сөндіріледі. Сол себепті қазіргі уақытта бір полюстегі тізбектің екі есе ажырауы бар түйіспелер қолданылады. Индуктивті жүктемеде және 380 В көз кернеуінде қалпына келтірілген кернеу мәні катод маңындағы беріктіктен үлкен болады. Доғаны сөндіру бұл жағдайда ток электродтарын қыздыру және доға бағанындағы процестерге байланысты.

Доғаны тиімді сөндіру үшін түйіспелердің тозуын азайту магнитті үрлеудің төмендегі жүйелері үшін пайдаланылуы мүмкін:

- Бойлық немесе лабиринтті жігі бар ток орауышы және доға сөндіргіш камера;
- болат пластиналардан деионды торы бар икемді доға сөндіргіш камера.

Доғаға әсер ететін күш ток орауышымен магнитті үрлеу жүйесінде ток квадратына пропорционал. Сол себепті доғаға айнымалы токта бағыт бойынша өзгеріссіз күш әсер етеді. Ол екілік жиілікпен соғады (сымға әсер ететін электрдинамикалық күш сияқты). Егер тұрақты ток айнымалы токтың қолданыстағы мәніне тең болса, орташа күш тұрақты ток кезіндегідей күшке ие болады. Үрлеу орауышының магнитті жүйесінде шығындар болмағанда және ағын фаза бойынша токпен сәйкес келгенде, көрсетілген арақатынастар әділ. Аталмыш құрылғының тиімділігіне қарамастан, қазіргі уақытта ол ауыр режимде жұмыс істейтін түйіспелерде ғана қолданылады (қосылулар саны сағатына 600 артық). Осы сөндіру әдісінің кемшіліктері: доға сөндірудің магнитті жүйесінің болатта жойылуынан түйіспелердегі шығынның ұлғаюы, ол доға сөндіргіш құрылғылардың маңында орналасқан түйіспелердің температурасының артуына әкеледі, сондай-ақ токтың мәжбүрлі ажырауынан үлкен артық кернеулердің туындау мүмкіндігі (табиғи нөлге дейін) болып табылады.

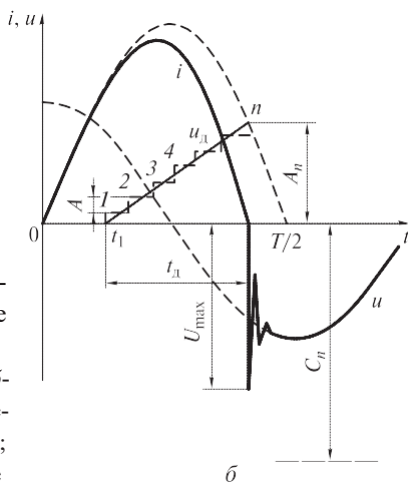
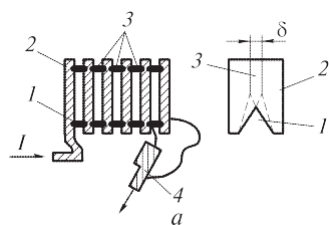
Доғаға әсер ететін күштің өз белгісін өзгертуіне байланысты доғаны

сөндіру үшін айнымалы токтағы кернеу орамы қолданылмайды, өйткені доға сөндірудің магнитті жүйесінен жасалатын ағын ағытылатын токқа қатысты фаза бойынша жылжытылған. Егер ток және ағын әр түрлі белгілерге ие болса, онда күш теріс.

Болат пластиналы деионды торы бар доға сөндіргіш камера барынша кеңінен таралған. Доғаны сөндіруге арналған кернеудің электрод маңы түсуін пайдалану идеясы орыс ғалымы М. О. Долив-Добровольскиге тиесілі. Доға сөндіргіш құрылғының түбегейлі схемасы 9.4,а-суретте берілген. Түйіспелердің ажырауынан кейін туындайтын доға 1 болат пластиналарға 2 параллель орналасқан сына тәрізді қуысқа тартылады. Жоғары бөлігінде доға пластиналармен қиылысады және қысқа доғаларға ажырайды 3. Торға доға кіргенде доғаның қозғалысын тежейтін күштер туындайды. Пластинаның осы күштерін азайту үшін тордың ортасына қатысты жылжыған доға тақ нөмірлермен, одан кейін жұптармен пластиналарды қиып өтеді.

Доға торға тартылғаннан кейін және қысқа доғалар тобына бөлінгеннен кейін тізбектерде 20-30 В құрайтын электродтардың әр жұбында A қосымша түсу туындайды. Тізбектегі кернеуінің төмендеуінен ток табиғи нөлдік мәні (үзік үзік қисық) басталғаннан ерте нөл арқылы өтеді (9.4-суреттегі тұтас қисық, б). Бұнда өнеркәсіптік жиіліктің қалпына келтірілетін кернеуі, ал сәйкесінше және осы кернеудің шегі $U_{\max}$ азаяды.

Егер $C_n > U_{\max}$ болғанда, доға сөнеді, бұнда C —катод маңындағы электр беріктігі. Пластиналар санын тиісті таңдау кезінде n доға нөл арқылы бірінші өтуде сөнеді. Аз ток кезінде катод маңы беріктігі шамамен 300 В, үлкен ток кезінде — 70 В дейін түседі.



9.4-сурет. Деионды торда доғаны сөндіру процесін түсіндіретін схема және график:

а- доға сөндіргіш құрылғының схемасы; б- токтың және доға кернеуінің уақытта өзгеру кестесі; 1 - доға; 2 - болат пластиналар; 3- қысқа доғалар; 4 – қозғалмалы түйіспе

Тор пластинасы коррозияға ұшырамау үшін, оларды мыс немесе мырыштың жұқа қабатымен жабады. Жиі қосылуларда және ағытуларда доғаның тез сөнуіне қарамастан, пластиналардың өте жоғары температураға дейін қызуы, тіпті олардың жануы мүмкін. Осыған байланысты ионсыздандырылған торы бар түйіспелерде сағатына қосулар және ағытулар саны 600-ден аспайды.

ПА сериялы қосқыштардың түйіспелерінде әр полюске екі есе ажырау қолданылады. Түйіспелердің балқуын азайту үшін олар болат қапсырмалармен қамтылған. Доға түзілгенде, оған түйіспелер арматурасында және бұру сымдарындағы токпен доғаның өзара әрекетінен туындайтын электр динамикалық күштер әсер етеді. Деионды тордағыдай доғаны сөндіру үшін ток нөл арқылы өткенде туындайтын катод маңындағы электр беріктігі пайдаланылады. Бұру сымдарының өрістері және болат қапсырма есебінен магнитті үрлеу және екі ажырау 500 В дейінгі кернеудегі түйіспелердің сенімді жұмысын қамтамасыз етеді. 60 А номиналды токқа есептелген түйіспелер, 450 В кернеудегі және $\cos\varphi = 0,3$ қысқа тұйықталудың он есе тоғын ағытады.

Түйіспелер жетегі үшін III-тәрізді немесе II-тәрізді өзекшесі бар электр магниттер кеңінен пайдаланылады. Осындай электр магниттің магнит сымы екі бірдей бөліктен тұрады, олардың бірі қозғалыссыз бекітілген, ал екіншісі түйіспелі жүйемен иінтірек арқылы байланысты. III-тәрізді жүйенің полюстері арасында якордың жабысуын жою үшін электр магниттердің бірінші құрылымдарында саңылау жасалды. Қосуда соққы шеткі полюстерге келеді, бұл олардың айтарлықтай ажыратылуына әкелді. Якорь қисайған жағдайда иінтіректе якордың өткір жиектерінің өзегінің полюсінің бетінің бұзылу қаупі туындайды. Қазіргі түйіспелерде жабысуды жою үшін тізбекке магниттік емес төсем енгізілген. Қосылған жағдайда барлық үш саңылаулар нөлге тең. Ол полюстердің тозуын азайтады, себебі соққы барлық үш полюске келеді.

Қосылған жағдайда магнитті жүйе полюсіне якордің дірілін жою үшін қысқа тұйықталған орамдарды орнатады. Себебі қысқа тұйықталған орамның әсері кіші ауа саңылауында тиімді, полюстердің тығыз жатуы үшін олардың беті өңделуі тиіс. Электр магниттің дірілін азайту бойынша жақсы нәтижелер ПА типті түйіспелерде қол жеткізілуі мүмкін. Онда өзекшені икемді бекіту нәтижесінде якорды өзекшеге қатысты өзіндік орнату мүмкін, онда ауа саңылауы ең аз болады.

Белгілі болғандай, орауыштың индуктивті кедергісінің өзгеруіне байланысты ондағы ток якордың тартылған жағдайында жіберілгенге қарағанда барынша аз болады. Орташа қосу тоғы тартылған жағдайда 10-есе токқа тең деп санауға болады. Үлкен түйіспелер үшін якордың тартылған жағдайында ток 15 есе мәнге жете алады. Егер жіберілген жағдайдағы якорь қандай да бір себептер бойынша одан шыға алмаса,

үлкен іске қосу тоғына байланысты ешбір жағдайда орауышқа кернеуді беруге болмайды (бірдеңемен тежеледі). Көптеген түйіспелердің орауыштары ПВ = 40 % сағатына 600 қосуға дейін жол беретіндей есептелген.

Айнымалы токтың түйіспелерінің электр магниттері сондай-ақ тұрақты ток желісінен қуат алады. Бұл жағдайларда түйіспелерде жылдамдатылған резистормен бірлесе жұмыс істейтін арнайы орауышты орнатады. Соңғысы басқа аппараттың барынша қуатты түйіспелерімен немесе блок-түйіспелі ажырайтын түйіспелермен тұйықталады.

Саңылау азайғанда айнымалы токтың электр магнитінің тартылыс сипаттамасы тұрақты ток электр магнитіне қарағанда, аз тіктікпен көтеріледі. Осының нәтижесінде ол қарсы әрекет ететін сипаттамаға барынша жақын. Нәтижесінде іске қосылу кернеуі жіберу кернеуіне жақын.

Түйіспелердің электр магниттері $0,85 U_{\text{ном}}$ -дан $1,1 U_{\text{ном}}$ дейінгі қуат беру кернеуінің диапазонындағы сенімді жұмысты қамтамасыз етеді. Түйіспелер орауышы тұйықталатын блок-түйіспелері арқылы қуат алатындықтан, онда түйіспені қосу номиналды мәнге дейінгі кернеуді көтергеннен кейін өздігінен болмайды. Айнымалы токтың электр магнитінің іске қосылуы тұрақты ток электр магнитіне қарағанда барынша тезірек. Түйіспелердің өзіндік уақыты 0,03-0,05 с, ал жіберу уақыты — 0,02 с құрайды. Тұрақты ток түйіспелеріндегідей, айнымалы токтың түйіспелердің блок-түйіспелері негізгі түйіспедегі электр магнитпен қозғалысқа келтіріледі.

9.4. Магнитті қосқыштар

Қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштарды іске қосуға арналған түйістіргіш магнитті қосқыш деп аталады.

Ереже бойынша, қосқыш түйістіргіштен басқа «фазаны жоғалту» және артық жүктемелерден қозғалтқышты қорғауға арналған жылу релесін қамтиды. Асинхронды қозғалтқыштардың белгілі бір дәрежедегі үздіксіз жұмысы қосқыштардың сенімділігіне байланысты. Сол себепті тозуға төзімділікке, коммутациялық қабілеттілікке, іске қосылу нақтылығына, қозғалтқышты артық жүктемеден қорғау сенімділігіне, қуатты барынша аз тұтынуға қатысты қатысты жоғары талаптар қойылады.

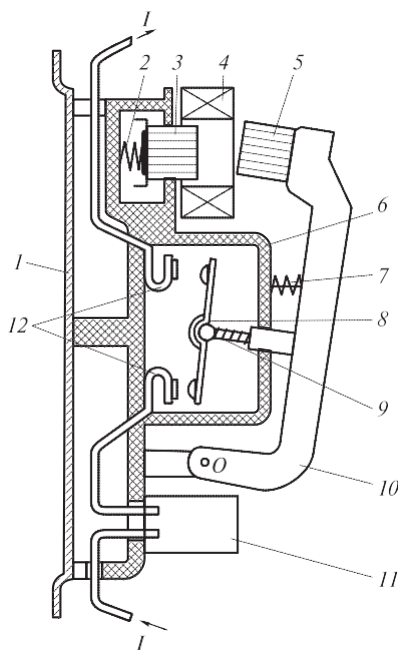
Жұмыс шарттарының ерекшеліктері келесіде. Асинхронды қозғалтқышты қосу кезінде іске қосу тоғы номиналды токтың 6 — 7-есе мәніне жетеді. Түйіспелердің тіпті кішігірім дірілі осындай токта істен тез

шығады. Діріл уақытын азайту үшін түйіспелерді және жылжымалы бөліктерді барынша жеңіл етіп жасайды, олардың жылдамдығын азайтады, басу күшін ұлғайтады. Көрсетілген іс-шаралар, мысалы, 2-106 операцияларға дейінгі электр тозу төзімділігі бар ПА типті қосқышты жасауға мүмкіндік берді.

Зерттеулер 100 А дейінгі токтарда түйіспелердегі күміс қаптамаларды қолдану орынды екенін көрсетті. 100 А жоғары токтарда күміс және кадмий тотығының композициясы жақсы нәтиже береді.

Ағытуда қалпына келтірілетін түйіспелердегі кернеу желі кернеуіне және қозғалтқыштың ЭҚК тең. Ол барлығы $15-20\% U_{\text{ном}}$ құрайды, яғни ағытудың жеңілдетілген шарттары орын алады.

Электр қозғалтқыш желіден іске қосқаннан кейін ағытылатын жағдайлар аз емес. Қосқышқа тек номиналды токқа тең токты қуаттылықтың өте төмен коэффициентінде ($\cos\varphi = 0,3$) және қуат көзінің номиналды кернеуіне тең қалпына келтіру кернеуінде ғана ағытуға тура келеді. Тежелген қозғалтқыштың 50 еселік қосылу-ағытылуынан кейін қосқыш әрі қарай жұмыс істеу үшін жарамды болуы тиіс. Қосқыштың техникалық деректерінде тек оның номиналды тоғын ғана емес, сонымен қатар қосқыш әр түрлі кернеулерде жұмыс істейтін алатын



9.5-сурет. ПА типті магнитті қосқыш:

1 — негіз; 2, 7, 9 — серіппелер; 3 — магнитжетек; 4 — орам; 5 — якорь; 6 — доға сөндіргіш камера; 8, 12 — түйіспелер; 10 — траверса; 11 — қорғаныш релесі

қозғалтқыш қуаттылығы да көрсетіледі. Қосқыш ағытатын ток кернеудің артуымен төмендейтіндіктен, аталмыш қосқыш жұмыс істей алатын қозғалтқыш қуаттылығы номиналды кернеуді ұлғайтумен артады. Барынша көп жұмыс кернеуі 500 В құрайды.

Егер қосқыштың қызмет мерзімін асыру қажет болса, онда қуаттылығы бойынша артығымен таңдау орынды. Қозғалтқыш қуаттылығы азайғанда сағатына қосылулардың рұқсат етілетін саны да артады. Аз қуаттылықты қозғалтқыш айнарудың номиналды жиілігіне тезірек жетеді. Сол себепті қосқышты ағыту кезінде қозғалтқыштың орнатылған номиналды тоғы ажырайды, ол қосқыштың жұмысын жеңілдетеді.

Қосқыштардың кеңінен таралуын ескерсек, ол тұтынатын қуаттылықтың төмендеуі үлкен мәнге ие болады. Қосқышта шамамен 60 % қуаттылық электрмагнитте, ал қалған 40 % — жылулық релеге шығындалады. Электрмагниттегі шығынды төмендету үшін суықтай тапталған болат қолданылады.

ПА типті магнитті іске қосу схемасы 9.5-суретте келтірілген. Қосқыш металл негізге жинақталған 1. Қозғалмайтын 12 және қозғалмалы 8 түйіспелі көпірше типті түйіспелі жүйе доға сөндіргіш камерада 6 орналасқан. Түйіспелі басу серіппемен 9 қамтамасыз етіледі. Қозғалмалы түйіспелер 8 траверсамен 10 жалғасқан, ол О нүктесіне қатысты бұрылуы мүмкін. Траверсаның 10 карама-қарсы ұшында якорь 5 бекітілген, ол магнитжетектен 3 және орамнан 4 тұратын электрмагнитпен тартылады. Магнит жетектің астында сығу серіппесі болады 2, ол электрмагнит іске қосылғанда магнит жетек және якорьдың барынша тығыз жатуын қамтамасыз етеді және осында туындайтын соққыны жұмсартады. Ретті коммутацияланатын тізбекпен жылу қорғаныш релесі 11 қосылған.

Осындай артық жүктеме тоғы кезінде жылу релесі іске қосылады және өзінің түйіспелерімен (9.5-сур. көрсетілмеген) орамның 4 қуат тізбегін ажыратады. Траверса 10 қайту серіппесінің әсерімен 7 оңға қайтады, 8 және 12 түйіспелері ажырайды және негізгі тізбектің ағытылуы болады.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай электр аппараты түйістіргіш деп аталады?
2. Түйістіргіштің тозуға төзімділігі (механикалық және коммутациялық) дегеніміз не?
3. Түйістіргіштің негізгі тораптарын атаңыз.
4. Түйістіргіш қандай негізгі параметрлермен сипатталады?
5. Тұрақты ток түйіспелеріндегі доғаның зиянды әсерін қалай төмендетеді?

6. Тұрақты токтың түйістіргішін ағытудың өзіндік уақыты және косудың өзіндік уақыты немен анықталады?

7. Негізгі түйіспелердің қанша айнымалы ток түйіспелері болуы мүмкін?

8. Тұрақты және айнымалы ток түйіспелеріндегі доғаны сөндіру процестері несімен ерекшеленеді?

9. Айнымалы ток түйіспелеріндегі діріл қалай жойылады?

10. Қандай электр аппараттары магнитті қосқыштар деп аталады? Олардың мақсаты қандай?

11. Магнитті қосқыштың жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.

10-ТАРАУ

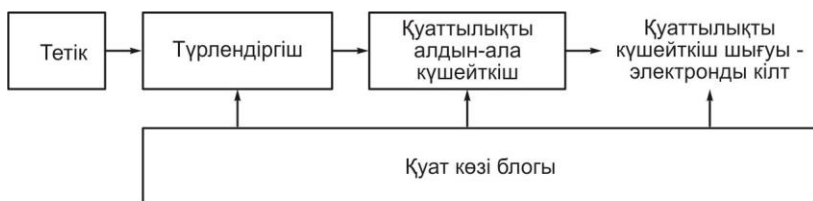
ЭЛЕКТРОНДЫ АППАРАТТАР ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ ПРИНЦИПІ

10.1. Жалпы мәліметтер

XX ғасырдың ең маңызды өнер табысы жартылай өткізгіш аспаптар болып табылады, ол аппарат құрылысына революция жасап, адамзатқа өрлеу жолында үлкен қадам жасауға тамаша мүмкіндік болды. Жартылай өткізгіш құралдарды пайдалану аппараттардың мүмкіндіктерін кеңейтті: олардың беріктілігін арттырды, басқаруға энергия шығынын азайтты, пайдалану уақыты бойынша шектеуді жойды, жиіліктік қасиеттерін арттырды және т.б. Жартылай өткізгіш құралдары көмегімен берілген алгоритмде және пайдалану мерзімін шектеусіз етіп, кез-келген электронды аппаратты жасауға болады. Электрондық аппараттардың іске қосылу мезетін және қадамын дәл бекіту механикалық, электрлік, гидро- немесе пневможолдағы бар электрлік аппараттармен салыстырғанда әлдеқайда жоғары. Егер электрлік аппараттарда уақыт өте келе физикалық қасиеттерінің өзгеруі және құрылым элементтерінің тозуы салдарынан жүктемелерінің өзгеруі байқалатын болса, электрондық аппараттарды барлық қызмет ету уақытында жүктемелер өзгеріссіз сақталады. Электрлік аппараттар құжаттарында өндіруші зауыт ауыстырып қосудың кепілдік санын көрсетеді, одан асып кетсе, аппарат істен шығады. Электрондық аппараттарда мұндай параметр жоқ. Электрондық аппараттарда байланыс жұбының (түйіспелі жұптар) болмауының, электрлік құрылғылардың қызмет ету мерзімі мен сенімділігін айтарлықтай қысқартатын ұшқын шашырауының және электрлік доғаның пайда болуының алдын алады.

Электрондық аппараттар қолданылмайтын ғылым мен техниканың саласы жоқ. Олар тұрмыста да өте кең қолданысқа ие. Электрондық аппараттар бөлек дискреттік жартылай өткізгіш элементтер негізінде орындалады, сонымен қатар оларды жасауда аналогты және цифрлық интегралдық микросхемалар пайдаланылады. Электрондық аппараттардың салыстырмалы түрде жоғары құны оларды пайдалануға және оларға қызмет көрсетуге жұмсалатын шығындардың едәуір азаюымен өтеледі. Оның үстіне технологиялық процесстердің дамуы және шығарылу көлемінің артуы нәтижесінде электрондық құрылғылардың бағасы үнемі төмендеп отырады.

Электрондық аппараттардың кемшілігіне олардың қымбат бағасынан



10.1-сурет. Электрондық аппараттың құрылымдық схемасы

бөлек коммутацияланатын қуатының шектеулілігін жатқызуға болады, қосымша ток көзінің қажеттілігі және радиациялық сәулелену ықпалының кезінде істен шығуы қажет болады.

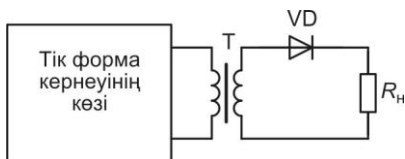
Электронды аппараттың құрылымдық схемасы 10.1-суретте келтірілген. Электрондық аппараттың арнаулына байланысты оның құрылымдық схемасында қандай да бір блок болмауы мүмкін. Мысалы, тұрақты ток тізбегіне арналған кернеу электрондық реледе түрлендіргіш мен қуат блогы болмайды.

Электронды аппараттардың элементтік базасы ретінде резисторлар, конденсаторлар, индуктивтілік орауышы, трансформаторлар, жартылай өткізгіш диодтар, әртүрлі типтегі биполярлық және өрістік транзисторлар, тиристорлар, симисторлар және т.б. қолданылады. Көп жағдайда тізілген элементтер электронды аппараттарда кең диапозонды.

10.2 Ауыстырып-қосу режимінде жартылай өткізгіш диод жұмысы

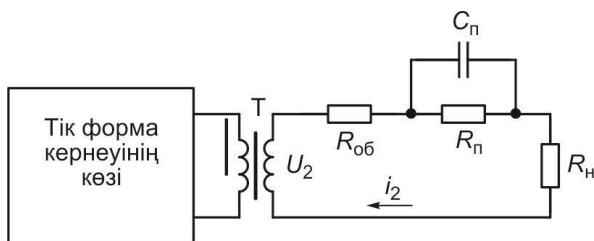
Электрондық аппараттарда жартылай өткізгіш диодтар айнымалы кернеуді тұрақты кернеуге түрлендіргіш ретінде жұмыс жасайды, сонымен қатар ток кернеуінің ұлғаюынан және кері кернеуден қорғау үшін қолданылады.

Диод жұмысының ауыстыру режиміндегі ерекшеліктерін қарастырамыз. 10.2-суретте диодқа тік бұрышты пішіндегі айнымалы кернеу беріледі. Кернеу нольдік мән арқылы ауысқан кезде диод өткізгіш күйден жабық күйге ауысуы керек және керісінше.



10.2-сурет. Диодты тікбұрышты пішінді кернеу көзіне қосылу схемасы:

T — трансформатор; VD — диод; R_n — жүктемелі резистор



10.3-сурет. Тік бұрышты пішіндегі кернеу көзіне диодтың ығысу схемасы:
 $R_{об}$ — p және n аудандарының көлемді кедергілері; R , $C_{п}$ — p — n -ауысуының белсенді кедергісі және сыйымдылығы

Синусоидалы кернеу ықпал еткен жағдайда ол нөлге жақындағанда du/dt туындысы салыстырмай түрде көп емес.

Источник напряжения прямоугольной формы

Тікбұрыш пішінді кернеу көзі

Тік бұрышты пішіндегі кернеу әсер еткен кезде du/dt теория жүзінде шексіздікке ұмтылады. Диод кернеудің бұлай құлауына әртүрлі әрекет етеді.

Диодтарда ағып өтетін процесстерді сапалы және сандық бағалау үшін оның қарапайымдандырылған ығыстыру схемасын пайдаланған ыңғайлы. Бұл жағдайда 10.2-суреттегі тізбек 10.3-суретте келтірілген тізбекке ауысады. Осындай тізбекте жүретін процесстер 10.4-суретте көрсетілген.

0 — t_1 уақыт интервалында трансформатордың екінші орамасынан тік кернеу алынған кезде U_{2np} (10.4, а-сурет), диод пен жүктеме арқылы ток ағып өтеді

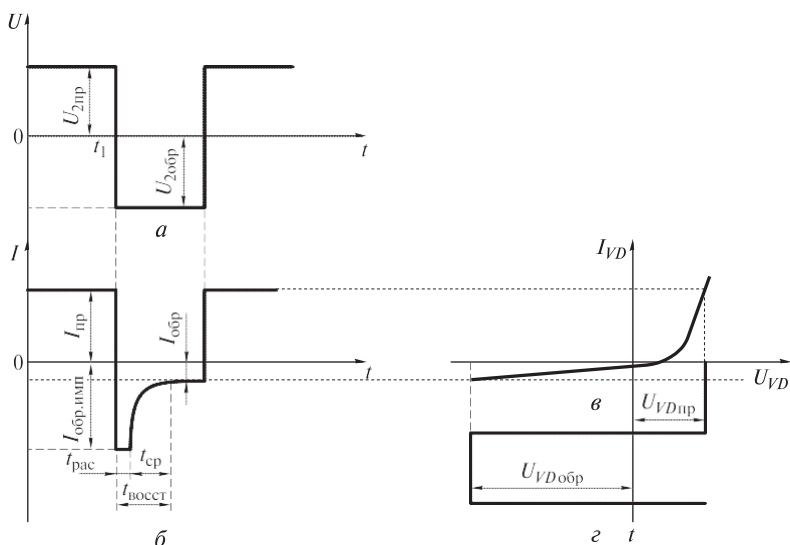
$$I_{np} = \frac{U_{2np} - U_{VDnp}}{R_n},$$

Барлық дерлік диодтарға кернеудің U_{VDnp} тіке құлауы 0,7- 1,5 В аралығында болады, ондай жағдайда $U_{2np} \gg U_{VDnp}$ шарты орындалған кезде ток үшін өрнек келесідей түрге көшеді

$$I_{np} = \frac{U}{R_n}.$$

t_1 уақыт мезетінде кернеу қарама-қарсылығының өзгеруі кезінде, диодтағы ток /обр тең болуы керек. Дегенмен, p — n - ауысуында сыйымдылық $C_{п}$ қайта зарядтала бастайды, уақыттың бірінші мезетінде кері токтың лақтырылуы (импульс) орын алады $I_{обр.имп}$ (10.4, б-сурет), оның өлшемі тек жүктеме кедергісімен шектеледі $R_{qб} \ll R_n$:

$$I_{обр.имп} = \frac{U}{R_n}.$$



10.4-сурет. Қайта қосу режимінде жартылай өткізгіш диодта кернеу мен токтың осциллограммалары:

a — трансформатордың екінші орамасымен шешілетін кернеу графигі; *б* — диод және жүктемеден ағып өтетін ток графигі; *в* — диодтың вольт-амперлік сипаттамасы; *г* — уақыт функциясындағы диодтың тіке және кері кернеу графигі диода; *з* — график прямого и обратного напряжений на диоде в функции времени

Тізбекке берілетін кернеу $U_{2обр} = U_{2пр}$ болғандықтан, онда $I_{обр.имп} = I_{пр}$. Осылайша, үлкен кері токтың ағу уақыты $C_{п}$ өрнегімен анықталады

Бұл уақытты артық $p - n$ -ауысуында артық тасымалдағышының таралу уақыты деп аталады және $t_{рас}$ деп белгіленеді. $t_{рас}$ өткеннен кейін таралу процесі $p - n$ -ауысуында қалған тасымалдағыштар салдарынан аздаған уақыт бойы жалғасады. Осы уақытты кесінді уақыты деп атайды және $t_{ср}$ белгілейді. Жартылай өткізгіш диодының кері кедергісін қалпына келтіру уақыты:

$$t_{вост} = t_{рас} + t_{ср}.$$

Ауыстырып-қосудың үлкен жиілігінде кері токтың тура токқа қатынасы айтарлықтай ұлғаяды, диод өзінің түзеткіш қасиеттерін жоғалтады және Сп сыйымдылығы бар конденсатор ретінде жұмысын бастайды. Сол себепті жоғары жиілікті ауыстыру электрондық аппараттарын жасаған кезде диодтардың жиіліктік қасиеттерін ескеру қажет.

10.3. Транзистор жұмысының негізгі режимі

Транзистор жұмысының негізгі режимі оның екі күйімен сипатталады: транзистор толық жабық болған кезде және бойында ток жоқ болғанда төмендеу күйі және қанық күйі транзистор толық ашық және бойындағы ток жүктеме кедергісінен тәуелді болған кездегі күйі. Бұл ток келесі формуламен анықталады:

$$I_{\text{Кнас}} = \frac{E - U_{\text{КЭнас}}}{R_{\text{н}}} \approx \frac{E}{R_{\text{н}}},$$

Бұл жерде $I_{\text{Кнас}}$ — қанығу режимінде транзистордың коллекторлық тоғы ағып өтетін ток; $E_{\text{к}}$ — кілт схемасының жеткізу кернеуі; $U_{\text{КЭнас}}$ — қанығу режимінде транзистордың коллекторлық ауысуында кернеудің эмитерге түсуі; $R_{\text{н}}$ — транзистордың коллекторлық тізбегіне қосылған жүктеменің кернеуі.

Екі каскадты электронды кілттің принципиялық схемасы 10.5-суретте келтірілген. Бұл режимде транзистор тез әрекет ететін ажыратқыш рөлін орындайды.

Транзистордың типін және маркасын таңдау алдында схеманың негізгі параметрлерін анықтау керек. Жүктеменің кедергісін және жүктеме кернеуін біліп, жүктемедегі токты төмендегідей анықтаймыз

$$I_{\text{н}} = I_{\text{к2}} = \frac{E - U_{\text{КЭнас}}}{R_{\text{н}}}$$

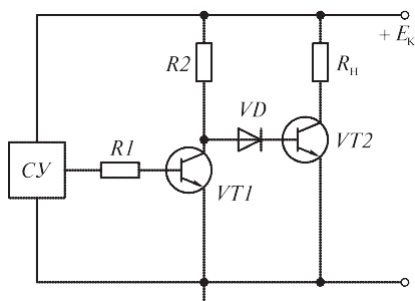
Бұл жерде $I_{\text{к2}}$ — VT2 транзистордың коллекторлық тізбегіндегі ток.

Жеткізу кернеуінің және жүктеме токтарының белгілі мәндері бойынша транзисторды келесі параметрлер бойынша таңдайды: $U_{\text{КЭнас}} \geq 2E_{\text{к}}$; $I_{\text{Кнас}} \geq 2/n$; $U_{\text{БЭнас}}$; β , бұл жерде β — таңдалған транзистордың тоғы бойынша тарату коэффициенті (кернеу мен токтың жоғары мәндері кілт жұмысының сенімділігін арттыру үшін).

Қанығу режимінде транзисторды ұстап тұруға қажет базаның тоғы $I_{\text{б}} = I_{\text{к}} / \beta_{\text{мин}}$ формуласымен анықталады, бұл жерде $\beta_{\text{мин}}$ — транзистордың күшейту (ток бойынша берілу) коэффициентінің ең төмен мәні. Температуралық коэффициентті есепке алғанда, $K = 0,7$ және қанығу коэффициенті $K_{\text{нас}} = 1,5 - 2,0$ болған кезде, транзистор базасының есептеу тоғы

$$I_{\text{брасч}} = \frac{I_{\text{н}}}{\beta_{\text{мин}} K_{\text{т}}} K_{\text{на}}^c,$$

Базаның тоғы электронды кілттің кірісіне келіп түсетін басқару кернеуіне тәуелді $U_{\text{упр}}$:



10.5-сурет. Екі каскадты кілттің схемасы:

$VT1, VT2$ — транзисторлар; БЖ — басқару жүйесі

$$I_B = \frac{U_{\text{упр}} - U_{BЭ_{\text{нас}}}}{R_B}$$

Келтірілген өрнекті $I_{B_{\text{брасч}}}$ және I_B үшін теңестіріп және $VT2$ транзистор базасының тізбегіндегі резистордың $R2$ кедергісін анықтаймыз:

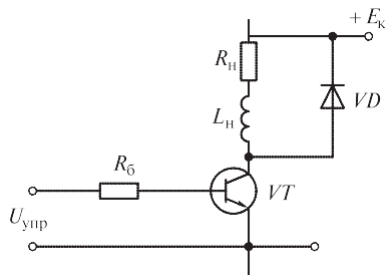
$$R_2 = R_B = \frac{(U_{\text{упр}} - U_{BЭ_{\text{нас}}}) R_{\beta_{\text{н min}}}}{(E_K - U_{KЭ_{\text{нас}}}) R_{\text{нас}}}$$

10.5-суретте электрондық кілт схемасы келтірілген, онда $R_2 = R_B$

$U_{\text{упр}} = E_K$. Бұл схемада $VT2$ транзистордың басқарушы кернеуі ретінде E_K қуат көзінің кернеуі қолданылады.

Екі каскадты электронды кілт схемасында $VT1$ транзистордың қанық күйінің арқасында $VT2$ транзистордың жабық күйін сенімді қамтамасыз етеді, өйткені $VT1$ транзистордың эмиттер-коллекторлық ауысуында кернеудің түсуі $VT2$ транзистор үшін талап етілетін басқару кернеуінен төмен, яғни $U_{KЭ_{\text{нас1}}} < U_{\text{упр2}}$. Кейде екі кернеу мәндері бойынша бірдей болуы мүмкін.

(мысалы, қанығу шегімен жақын). Сол кезде $VT2$ тығыз жабу үшін оның базасының тізбегіне VD диодты қосады. Бұл жағдайда $U_{KЭ_{\text{нас1}}} < (U_{VD} + U_{BЭ2})$. Транзисторларды сенімді бекіту үшін ажырату режимінде база-эмиттерлік ауысуға тірек кернеу көзінен E_o (10.6-сурет) шағын кері полярлық ығысу кернеуін береді.



10.6-сурет. Тірек кернеуінің көзін жабатын транзисторлық кілтті пайдалану схемасы

10.4. Ауыстырып-қосу режимінде транзистор жұмысы

Транзисторлық кілттер көп жағдайда белсенді-индуктивті сипатқа ие жүктемеге жұмыс жасайды (10.7-сурет). Жүктеменің индуктивті құраушысының бар болуы оны сөндірген кезде транзисторда үлкен коммутациялық ток кернеуінің ұлғаюына алып келеді. Бұл ток кернеулерінің ұлғаюы ойық транзистордың эмиттер-коллекторлық ауысуының тесілуіне жеткізу кернеуінің көп есе артуына алып келуі ықтимал. Мысалы, транзистор жабылғанға дейін оның коллекторлық тізбегінде $I_n = 10$ А жүктемелі ток ағатын, бастапқы кернеу $U_{ном} = E_k = 100$ В, транзистор коллекторындағы мүмкін кернеу $U_{кэmax} = 200$ В, транзистор коллекторлық тогының түсу уақыты — 0,5 мкс. Электрмагниттік индукция заңына сай транзисторды жапқан кезде жүктеменің индуктивті құраушысында өзiк индукция ЭДС пайда болады.

10.7-сурет Белсенді-индуктивті жүктемеге жұмыс жасайтын транзисторлық кілт схемасы

$$|e_L| = L \frac{di}{dt} \approx L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Жүктеме индуктивтілігі үшін $L_n = 100$ мкГн

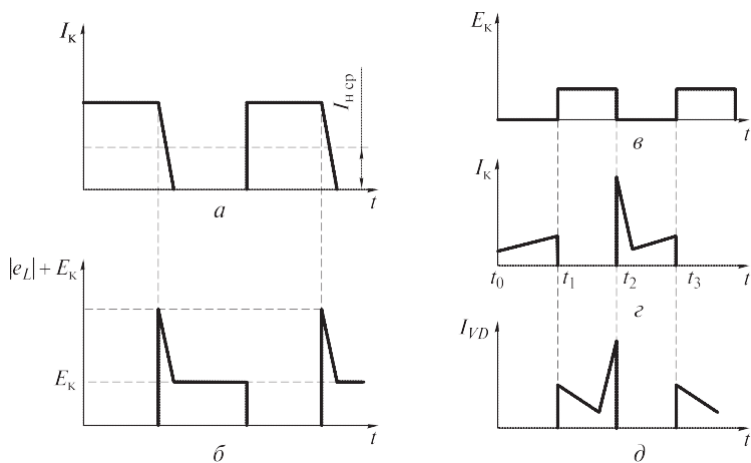
$$|e_L| = 100 \cdot 10^{-6} \frac{10}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 2000 \text{ В}$$

Өздік ЭДС бағыты дәл қуат көзінің E_k ЭДС бағытымен бірдей. Соның салдарынан эмиттерлік-коллекторлық ауысуға рұқсат етілген кернеуден әлдеқайда жоғары кернеу қолданылады да, транзистордың істен шығуы орын алады. Транзисторды сақтау үшін жүктемеге параллель диод VD қосады. Бұл жағдайда транзисторды сөндірген кезде жүктемедегі ток диодпен тұйықтаған тізбек бойымен ағады және транзистордың эмиттерлік-коллекторлық ауысуына қауіпсіз кернеу салынады, оның мәні Кирхгофтың екінші заңына сай анықталады:

$$U_{кэ} = U_k + U_{VD} \sim E_k.$$

Диодты жүктемеге параллель қосу транзистордағы артық ток кернеуінің ұлғаюынан арылауға мүмкіндік береді, сонымен қатар бұл қорғаныс тәсілімен қосу кезінде транзисторда және диодта үлкен импульстік токтар пайда болады. Бұл токтарды өтпелі деп атайды. 10.8-суретте диод VD бар болған кезде және жоқ болған кездегі кернеу мен ток осциллограммалары келтірілген.

Өтпелі токтың пайда болу себебі келесіде. Кезекті басқару импульсін берген кезде транзистор ашылады, бірақ сонымен қатар диод VD өзінің инерциялығына байланысты әлі де өзінің өткізгіш күйінде қала-



10.8-сурет. Транзисторлық кілт элементтерінде ток пен кернеудің осциллограммалары:

a, б — диод *VD* жоқ кезде; *в... д* — диод бар кезде

ды. Оның жабылуы үшін кері кедергіні қайта қалпына келтуруге уақыт керек. Осылайша, бірнеше микросекундтың жартысында *EK* ток көзі қысқа тұйықталуға жақын режимде болады. Диод пен ток транзисторына қауіпті импульс пайда болады, оның көлемі тек көздің, диодтың және транзистордың ішкі кедергісімен шектелген және монтажды жетек кедергісіне тәуелді (10.8, г, д-сурет). Бұл ток диод пен транзистордың бастапқы тоғынан асып түседі және бұл оның істен шығуына алып келеді.

Шығыс каскадтарды қорғау үшін өтпе токтарды шектейтін қосымша элементтер қолданылады. Осы элементтердің кедергісі токтың қысқамерзімдік шыңдарын шектей отырып, салыстырмалы түрде баяу өтіп жатқан жұмыс токтарына әсер етпеуі тиіс. Бұл міндеттерге индуктивті ток жақсы шешеді. Транзистор коллекторы тізбегіне шағын индуктивтілігі $X_{\text{лдр}}$ (10.9-сурет) бар дроссель қосады. Бұл индуктивтіліктің шамасы келесідей есептеледі.

Өтпелі ток $t_{\text{скв}}$ ағып өтетін уақытты біле тұра, қандай да бір эквивалентті синусоидалық токтың жарты кезеңі ретінде қабылдайды.

$$t_{\text{экв}} = \frac{1}{T_{\text{экв}}} = \frac{1}{2t_{\text{скв}}}$$

Өтпелі токтың шектеу деңгейін жүктеменің бастапқы тоғына қатысты тандайды: $I_{\text{скв.огр}} = KI_{\text{н}}$, бұл жерде K — токтың шектелу коэффициенті. Осыдан кейін дроссельдің қажетті индуктивтілік кедергісін анықтайды $X_{\text{лдр}} = E / I_{\text{скв.огр}}$.

$X_{L_{др}} = 2\pi f_{э\text{кв}} L_{др}$ болғандықтан, ізделінген индуктивтілік:

$$L_{др} = \frac{X}{2\pi f_{э\text{кв}}} = \frac{2E t}{2\pi K I_{н}} = \frac{2E t}{2\pi K I_{н}}$$

Дроссель өтпелі токтың кезекті импульсінің шектеуіне дайын болуы үшін, оған дейін болған импульстен сақталған энергияны тарату қажет. Ол үшін дроссельді VD2 диодпен шунттайды.

Транзисторды ауыстырып қосу жұмыс жиілігі эквивалентті жиіліктен көп кіші болғандықтан, дроссельдің индуктивті кедергісі де жұмыс жиілігінде өте аз болады.

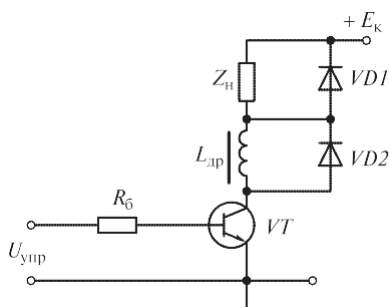
Токтың артық кернеуінен қуаты аз кілттерді қорғау үшін стабилизаторлар мен конденсаторлар қолданылады. 10.10-суретте транзистордың эмиттерлі-коллекторлық ауысуына параллель қосылатын резисторымен R бірге конденсатор C_3 көмегімен транзисторды ток кернеуінен сақтау схемасы келтірілген. Транзисторды қосқан кезде паразитті индуктивтіліктерде жинақталған энергия қорғаныс конденсаторына C_3 беріледі, ол транзисторды ток кернеуінің артуынан қорғайды. Конденсатордың сыйымдылығын C_3 келесі энергетикалық қатынастардан есептейді.

Паразиттік индуктивтілікте жинақталған энергия

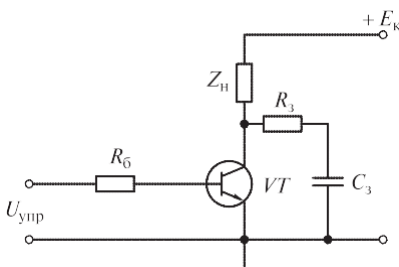
$$W_L = \frac{LI^2}{2}.$$

Қорғаныс конденсаторына берілген энергия $W_c = \frac{C_3 U_{огр}^2}{2}$, бұл жерде

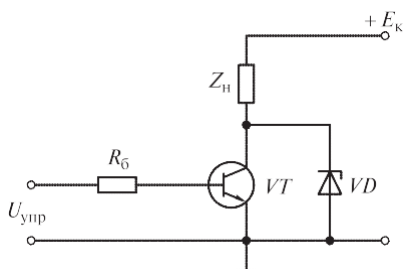
$U_{огр}$ — транзистордың эмиттерлі-коллекторлық ауысуында шектеуші кернеу деңгейі, оның шекті мүмкін кернеумен анықталады $U_{КЭ\text{max}}$.



10.9-сурет. Ток кернеуінің асып кетуінен және өтпелі токтан сақтау транзисторлық кілтінің схемасы



10.10-сурет. Ток кернеуінің асып кетуінен және өтпелі токтан сыйымдылықты сақтау транзисторлық кілтінің схемасы



10.11 сурет. Стабилитрон көмегімен ток кернеуінің асып кетуінен қорғанысы бар транзисторлық кілт схемасы

$U_{\text{огр}} = K_{\text{огр}} U_{KЭ\text{max}}$ қабылдап, бұл жерде $K_{\text{огр}}$ — шектеу коэффициенті, шамамен 0,5- 0,7 тең және W_L және W_C , үшін өрнектерін теңестіріп, келесідей формула аламыз

$$L I^2 = C K^2 \frac{U^2}{U_{KЭ\text{max}}^2 K_{\text{огр}}^2}.$$

Алынған формуланы колданып, қорғаныс конденсаторының сыйымдылығын анықтайды:

$$C_3 = \frac{L I^2}{U_{KЭ\text{max}}^2 K_{\text{огр}}^2}$$

Транзисторды ашқан кезде сол арқылы және шектеуші резистор R_3 арқылы конденсатордың заряды таусылады. Резистор кедергісін R_3 транзистордың коллекторлық тізбегіндегі ток шекті мүмкін импульстік токтан $I_{\text{Кимп}}$ әр нақты транзистордың анықтамаларында берілетін мәннен асып кетпейтіндей етіп таңдайды:

$$R_3 \geq \frac{U}{I_{\text{Кимп}}} = \frac{U}{I_{\text{Кимп}}}$$

Сонымен қатар, транзистордың ашық күйі уақытында конденсатордың C_3 заряды таусылмауы керек, яғни разряд уақытының тұрақтылығы $\tau = R_3 C_3 \leq t_{\text{откр}} / (3 \dots 4)$.

Стабилитрон көмегімен ток кернеуінің асып кетуінен қорғанысы бар транзисторлық кілт схемасы 10.11-суретте көрсетілген. $U_{KЭ}$ кернеуді стабилитронның тұрақты болуына дейін шектейтін VD стабилитрон, транзистордың эмиттерлі-коллекторлық ауысуына параллель қосылған. Стабилитронды келесідей есеппен таңдайды: $U_{KЭ\text{max}} \leq U_{\text{ст}}$, ал стабилитронның тұрақтандыру тоғы бастапқы мәнінен аспауы керек

$$I_{\text{ст,ном}} = (E_K + e_L) R_H$$

10.5. иполярлық транзисторда орындалған кілттердегі шығынды азайту жолдары

Кілттердің электрлік схемалары олардың жұмыс шарттарына және арналуына байланысты болады. Егер кілттің қуаты аз болса, онда каскадтар арасында гальваникалық байланыс бар қарапайым және сенімді схема дұрыс болады (10.12-сурет). Дегенмен, кілтпен коммутацияланатын қуат артқан сайын, осы кілтпен басқарылатын абсолюттік мән де артады. Абсолюттік мән жылу ретінде жоғалады және оның ұлғаюымен кілттік энергетикалық көрсеткіштері мен одан жылуды алу мәселесін арттыру өзекті болады.

Тікелей жүктемеге жұмыс жасайтын транзисторлық кілт үшін (10.13-сурет) транзисторда және қанығу режимінде басқару тізбегінде жоғалтулардың жалпы қуаты:

$$P_{\Sigma} = I_{Kнас} U_{KЭнас} + I_B U_{упр} =$$

$$= I_{Kнас} U_{KЭнас} + I_B U_{БЭнас} + I_B^2 R_{БЭнас} = P_{KЭнас} + I_B^2 R_{БЭнас}$$

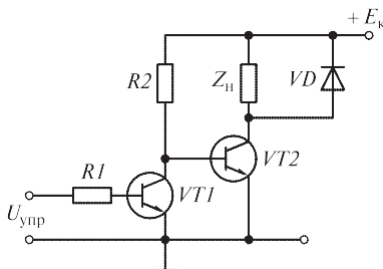
Күш транзисторларының көпшілігі үшін $\beta_{min}^{VT} = 1,5-2,0$, $K \approx 0,7$ и $U_{нас} \approx 1 В$

Онда $I_B = \frac{I_{Kнас}}{\beta_{min}} K_{нас}$

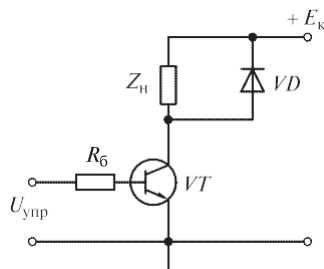
$$P_{\Sigma} = I_{Kнас} (U_{KЭнас} + \frac{K}{\beta_{min}} U_{упр})$$

$$\frac{P_{упр}}{P_{пКЭнас}} \approx 2,25 U_{упр}$$

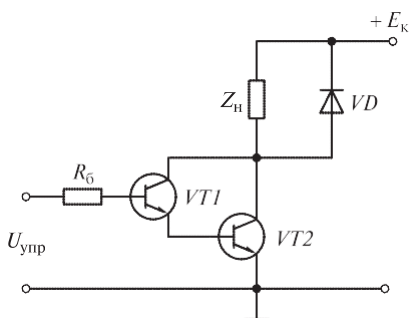
Алынған қатынастан күштік кілтпен басқару кернеуі көп болған сайын, соғұрлым оның басқарылуына көп қуат жұмсалады. Сәйкесінше, бұл кернеуді азайту керек. Дегенмен, өте төмендетуге тағы болмай-



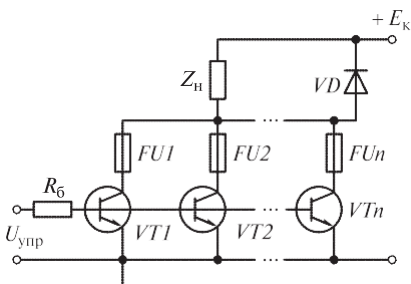
10.12-сурет. Каскадтар арасында гальваникалық байланысы бар транзисторлық кілт схемасы



10.13-сурет. Тікелей жүктемеге жұмыс жасайтын транзисторлық кілттің схемасы



10.14-сурет. Құрама транзистор негізіне құрылған транзистордың схемасы



10.15-сурет. Шығындарды азайту үшін паралель қосылған транзисторлардың схемасы: $FUI \dots FUn$ — сактандырғыштар

ды, өйткені басқару кернеуінің жартысы транзистордың база-эмиттерлік ауысуында түседі де, қанығу режимінде $U_{БЭнас} = 1,0...1,5$ В құрайды. Қанығу тоғының қажет мәні басқарылатын кернеу және база тізбегіне кіретін резистор кедергісінің деңгейімен анықталады:

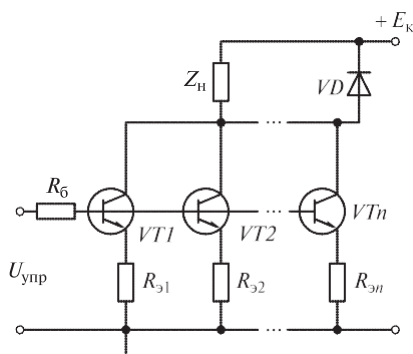
$$I_B = \frac{U_{упр} - U_{БЭнас}}{R_б}$$

Ол үшін $U_{упр} \gg U_{БЭнас}$ шарты орындалуы тиіс. I_c жүзінде $U_{упр} \ll (4...5) U_{БЭнас}$ қатынасы жеткілікті болып табылады.

Басқаруға кернеуді аз жұмсаудың тағы бір жолы кілтті күшейту коэффициентін арттыру болып табылады. Ол үшін құрама транзистор қолданылады. Құрама транзисторда екі биполярды транзистор Дарлингтон схемасы бойынша біріктірілген (10.14-сурет).

Құрама транзистордың ток бойынша беру эквивалентті коэффициенті әр транзистор тоғы бойынша беріліс коэффициенттерін шығару арқыл анықталады, яғни $\beta_{эқв} = \beta_1 \beta_2$. Сәйкесінше құрама транзисторды басқару үшін аз ток және аз қуат қажет. Коэффициенттің артуы есебінен жоғалтулар 10 есе азаяды. Сонымен қатар, ескеретін жағдай база тізбегінде жоғалтудың азаюымен бірге, коллектор тізбегінде шығындар 1,5-2 есе артады, өйткені құрама транзистор қанығу режимінде бола алмайды.

Транзисторлардың паралель қосылуы кілтте шығындарды азайту айтарлықтай ықпал етеді (10.15-сурет). Коллекторлық тізбекте параллель қосылған әр транзистордан барынша ықтимал мәннің 15-20 % құрайтын ток ағуы қажет. Бұл кілтте кернеудің қаныққан режимнен кернеудің түсуіне жағдай жасайды, ал сәйкесінше ондағы шығындар да аз болады. Осылайша, қанша транзистор паралель қосылса, кілтте кернеудің құлауы соншалықты аз болады.



10.16-сурет. Жүктеме үлкен тоғын алу үшін параллель қосылған транзисторлары бар кілт схемасы

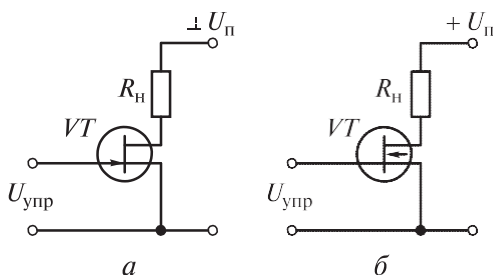
Транзисторларды параллель қосу тек кілттегі шығындарды азайтпайды, сонымен қатар оның жұмысының сенімділігін арттырады, өйткені транзистор коллекторларындағы ағып өтетін ток пайдалануға болатын барынша ықтимал мәнінен аз болады. Әр транзистордың коллекторлық тізбегіне балқығыш сақтандырғыш қосады. Ол кілтке зиян келтірмей, қысқа мерзімдік апаттық режимдерде кез-келген транзисторды сөндіре алады.

Егер транзистордың шекті тоғы жүктеме тоғынан аз болса, транзисторларды 10.16-суретте келтірілген схема бойынша параллель қосады. Бұл жағдайда параллель қосылған транзисторлардың санын келесі шарт бойынша анықтайды: әр транзистордың коллекторлық тізбегінде ағатын ток барынша рұқсат етілетін токтан 50-70 % асатын болуы керек. Транзисторларда параметрлердің шашылуы болады, әр транзистордың эмиттер тізбегіне токты түзету үшін резистор R жалғайды.

10.6. Дала транзисторларындағы электронды кілттер

Дала (униполярлы) транзисторларында орындалған электронды кілттер (10.17-сурет) биполярлы транзисторлар базасындағы кілттер алдында біршама артықшылыққа ие. Ондай артықшылыққа бірінші кезекте:

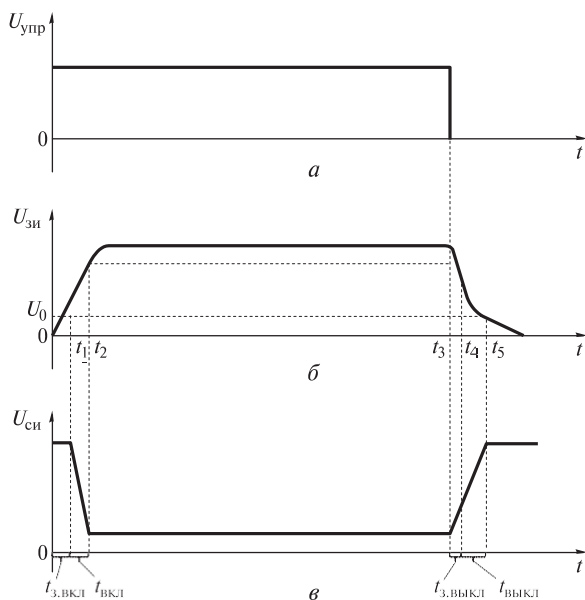
- бірнеше жүздеген мегаом жететін жоғары ішкі кедергі;
- Транзисторды электрлік өріспен басқаратындықтан, басқаруға жұмсалатын энергия шығыны мардымсыз;
- Транзисторда динамикалық шығындарды азайтатын ауыстырудың жоғапры жылдамдығы.



10.17-сурет. p — «-ауысуы бар (а) және окшауланған ысырмамен және n -каналмен (б) басқарылатын дала транзисторларында орындалған кілт схемасы

Бұл кілттердің басты кемшілігі ашық күйдегі дала транзисторларында биполярлық транзистормен салыстырғанда кернеудің құлауы өте жоғары.

Дала транзисторында биполярды транзистор секілді электрод аралық сыйымдылықтары бар: ысырма мен бастау арасында $C_{зи}$, ысырма мен ағу арасына $C_{зс}$, бастау мен ағу арасында $C_{си}$. Дала транзисторында қосқан және сөндірген кезде артық тасымалдағыштардың жинақталуы болмайды, электрод аралық сыйымдылық ауыстырып-қосу процессін-



10.18-сурет. Басқарушы кернеудің (а), ысырмадағы кернеудің (б) және ағу мен бастау арасындағы кернеуді (в) сипаттайтын дала транзисторын ауыстырып-қосу процессін сипаттайтын осциллограммасы

де өз ізін қалдырады, оны ұзаққа созады. Әр дала транзисторының паспорт деректерінде электродаралық сыйымдылығының мәндерін немесе қосу уақыты $t_{вкл}$ мен сөну уақыты $t_{выкл}$ көрсетіледі. Бұл уақыттар биполярлықпен салыстырғанда аз, сол себепті дала транзисторларында динамикалық шығындардың қосындысы аз және олар жоғары жиілікте жұмыс жасайды.

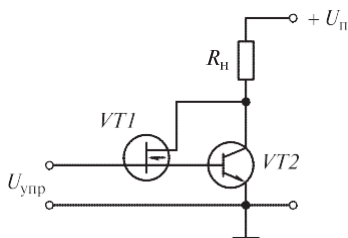
Дала транзисторын қосып-сөндіруді 10.18-суретте көрсетілген осциллограммалар сипаттайды.

Осциллограмманың көрсетілгендей транзистор ысырмадағы кернеу U_0 (уақыт мезеті t_1) шекті мәніне жетпейінше жабық күйде болады.

0 — t_1 интервалды қосылуға кешеуілдеу уақыты $t_{вкл}$ деп атайды. Ары қарай

транзистор сызықтық режимге ауысады және $t_1 — t_2$ интервалында оның қосылуы болады. Сонымен қатар кернеу $U_{си}$ азаяды. Көрсетілген интервалды қосу уақыты $t_{вкл}$ деп атайды. Басқару кернеуін шешкен кезде t_3 уақыт моментінде транзистор сыйымдылықтарын босату процесі басталады. $t_3 — t_4$ интервалы $t_{выкл}$ қосуға кідіріс уақытына сәйкес, интервал $t_4 — t_5$ уақыт — сөндіру уақыты $t_{выкл}$.

Кілттердің энергетикалық көрсеткіштерін арттыру үшін дала транзисторларын биполярлы транзисторлармен бірге құрама транзистор схемасы бойынша қосады (10.19-сурет). Сонымен қоса кіріс транзисторы ретінде кіріс кедергісі үлкен дала транзисторы қолданылады, шығыс транзистор ретінде — қанық режимде эмиттер-коллекторлық ауысуында кернеу аз төмендейтін биполярлы транзистор қолданылады.

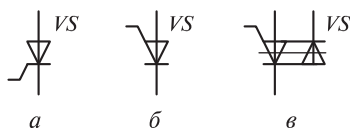


10.19-сурет. Құрама транзистор базасында кілт схемасы составного транзистора

10.7.Тиристорлар және симисторлар базасындағы электронды кілттер

Электронды аппараттардың шығыс каскадтарында басқарылатын тиристорлар базасында жасалған кілттер кең қолданысқа ие. Олар ауысу жиілігі төмен, ал коммутацияланатын қуат жоғары кезде қолданылады. Тиристорды ашу үшін басқарушы токтың қысқа импульсі жеткілікті. Сәйкесінше, тиристорды басқару үшін мардымсыз қуат қажет. Тиристордың басты артықшылықтарының бірі осы болып табылады.

Каскадтық басқарылатын тиристор үшін (10.20, а-сурет) басқару кернеуі U_y басқарушы катод пен электрод арасында орналастырылады,



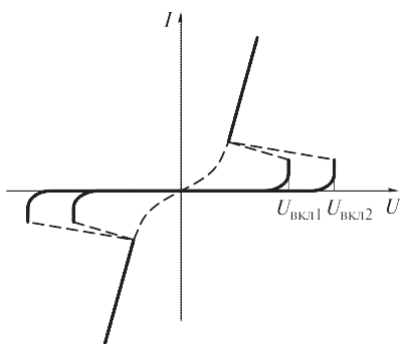
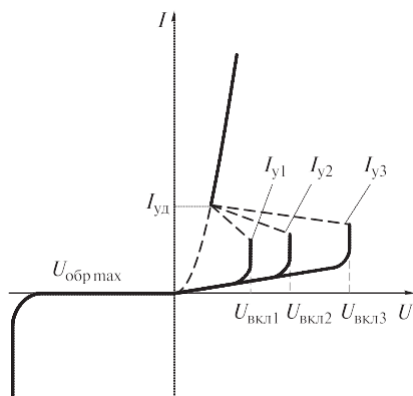
10.20-сурет. Катодпен (а), анодпен (б) басқарылатын тиристорлардың және симистордың (в) графикалық суреті

ал анодтық басқарылатын тиристор үшін (10.20, б-сурет) — анод пен басқарушы электрод арасында орналастырылады. Симистор (10.20, в-сурет) бір-біріне қарама-қарсы жалғанған екі тиристор жиынтығынан тұрады.

Бұл тиристорлар кіріс айнымалы кернеудің әртүрлі полярлығы кезінде ашылады.

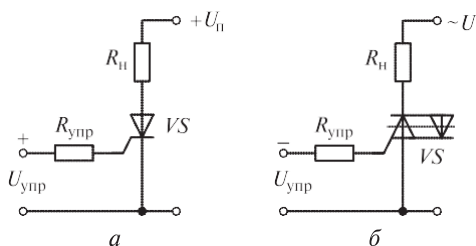
10.21-суретте катод бойынша басқарылатын тиристордың вольт-амперлік сипаттамасының тобы көрсетілген. Штрих сызықтармен көрсетілген аумақтар тиристордың теріс кедергісіне сәйкес келеді. Тиристордың жұмысы мұндай учаскелерде тұрақты емес болады.

10.21-суретте көрсетілгендей басқару тогы I_y өзгерген кезде тиристордың қосылу кернеуі $U_{вкл}$ де өзгереді: басқару тогы үлкен болған сайын, қосу кернеуі соншалық төмен болады. Басқару тогы ең жоғары болған кезде тиристордың вольт-амперлік сипаттамасы түзеткіш диодпен бірдей. Тиристордың жабылуы үшін келесі шарттардың біреуін орындау қажет: тиристорды ашық күйде ұстап тұратын токтың мәнінен оның жұмыс тоғын азайту керек немесе оған кері полярлық кернеу беру керек. Айнымалы токтың тізбектерінің коммутациясына арналған аппараттарда тиристорларды пайдаланған кезде соңғы шарт автоматты түрде орындалады. Тиристорларды бекіту үшін тұрақты ток тізбегінің ком-



10.21 -сурет.
Тиристордың вольт-амперлік

сипаттамасы



10.23-сурет тиристор (а) және симистор (б) негізінде электронды кілттердің схемасы

мутациясы кезінде арнайы схематехникалық шешімдер қолданылады.

Электронды аппараттардың шығыс каскадтарында айнымалы токтың коммутациясы үшін тиристорлардан бөлек симисторлар да қолданылады. Симистордың вольт-амперлік сипаттамалары 10.22-суретте келтірілген.

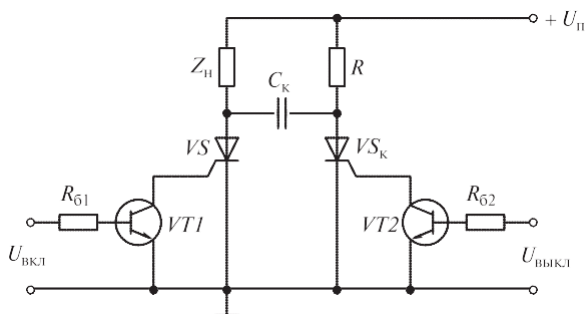
10.23-суретте катод бойынша басқарылатын тиристорлар және симисторлар базасында орындалған электрондық кілттердің схемалары келтірілген.

Электрондық аппараттардың мақсатына байланысты (тұрақты немесе айнымалы токтың тізбектерін коммутациялау) тиристорды басқарудың әртүрлі схемалары қолданылады.

Тұрақты ток тізбегінде кілт жұмысы кезінде тек ашуды ғана емес, бекітуді басқару міндеттері пайда болады. Ол үшін мәжбүрлі коммутациялау кілттері қолданылады. 10.24-суретте келтірілген кілт соның мысалы бола алады.

Электрондық кілт VS тиристор базасында құрылған және Z_n жүктемесіндегі токты коммутациялауға арналады. Тиристордың қосылуын басқаруды биполярлы транзистор $VT1$ көмегімен орындайды оның базасына қосылу кернеуін берген кезде, транзистор ашылады, нәтижесінде тиристор VS да ашылып, қоректендіру кернеуі U_n жүктемеге Z_n қосылады. Тиристорды жабуға қолданатын мәжбүрлі коммутациялау торабы тиристорда VS_k , резисторда R , конденсаторда C_k , биполярлы транзисторда $VT2$ және резисторда R_{B2} құрылады. Жүктемеге кернеу берумен бір мезетте конденсатордың C_k зарядталуы басталады. Заряд тоғы қуат көзінен «оңнан» резистор R , конденсатор C_k және ашық тиристор VS арқылы өте бастайды. Ауыстырып-қосудың төмен жиілігінде C_k конденсатор U_n кернеуге дейін зарядталады, конденсатордың сол жақ пластинасында теріс зарядтар, ал оң жақ бөлігінде— оң зарядтар жиналады. Транзистор базасына $VT2$ қосу кернеуін берген кезде $U_{\text{выкл}}$ транзистор $VT2$ ашылады, ол тиристорының VS_k ашылуына алып келеді.

Нәтижесінде конденсатор C_k тиристорге VS паралель жалғанады және тиристорға кері кернеу беріледі. Тиристор VS жабылады, кернеу

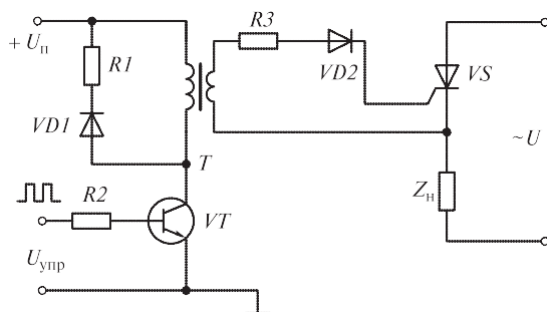


10.24-сурет. Тұрақты ток тізбегін коммутациялауға арналған тиристор негізінде жасаған электронды кілт схемасы

U_{II} жүктемеден ажыратылады және конденсатордың C_K қайта зарядтауы басталады. Қайта зарядтау тогы қуат көзінен «оң» жүктемеге Z_H , конденсаторға C_K және ашық тиристорға VS_K өтеді. Қосылу кернеуін $U_{ВКЛ}$ қайта беру кезінде тиристор VS ашылады, кернеу U_{II} жүктемеге беріледі, осымен бір мезетте қайта зарядталған конденсатор C_K қосалқы тиристорге VS_K параллель жалғанады. Нәтижесінде тиристорге VS_K кері полярлы кернеу беріліп, ол жабылады. Осылайша, конденсатордың C_K және тиристордың VS_K арқасында тиристордың VS жабылуы жүзеге асады.

Барлық электрондық схемалар тұрақты кернеу көзінен жұмыс жасайтын болғандықтан, айнымалы ток тізбегін коммутациялауға арналған электронды аппараттарда күш тиристоры мен тиристордың басқару электродына басқару кернеуін жіберетін тізбек арасында байланысты үзу қажет. Айнымалы ток тізбегінің коммутациясына арналған тиристорлік кілттің принципиалдық схемасы 10.25-суретте келтірілген.

Транзисторда VT және импульстік трансформаторда T импульстік күшейткіш жиналған. Диод $VD1$ және резистор $R1$, VT транзисторды ток кернеуінің асып кетпеуінен қорғау үшін қызмет етеді. Трансформатор T



10.25-сурет. Басқару тізбегі бойынша гальваникалық ажыратуы бар тиристор негізінде жасалған электрондық кілт схемасы

көлемі бойынша жеткізу кернеуін U_n тиристорды басқару импульсінің кернеуімен үйлестіреді және басқару тізбегі мен тиристордың VS күш тізбегінің арасын гальваникалық ажыратуды жүзеге асырады. Резистор көмегімен $R3$ тиристорды басқару тоғының мәні беріледі, ал диод $VD2$ тиристордың басқару тізбегін кері кернеулерден қорғайды.

Тік бұрышты пішіндегі айнымалы кернеуді $U_{\text{упр}}$ беру кезінде транзистор VT осы кернеу жиілігіне тең жиілікпен ашылады және T импульстік трансформатордың бірінші орамасынан айнымалы ток өте бастайды.

Бұл орамада E_1 өздік индукциясының ЭҚК пайда болады, ал екінші орамада өзара индукцияның E_2 айнымалы ЭҚК индукциялана бастайды. E_2 ықпалымен VS тиристордың басқарушы электроды тізбегінде резистор $R3$ және диод $VD2$ арқылы басқару тоғы өтеді. Тиристор VS ашылады және қуат көзінің айнымалы кернеуі U жүктемеге Z_n беріледі.

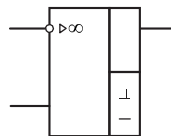
Тиристорды ашық күйде ұстап тұру үшін, сәйкесінше жүктемеде кернеуді ұстап тұру үшін кернеу импульстері барлық берілген уақыт бойы тиристордың басқарушы электродына түсіп отыруы қажет. Басқарушы кернеуді алып тастаған бойда тиристор автоматты түрде жабылады, өйткені белгілі бір сәтте тиристордағы кернеу нөлге тең болады. Z_n жүктемесіне кернеуді беру токтатылады.

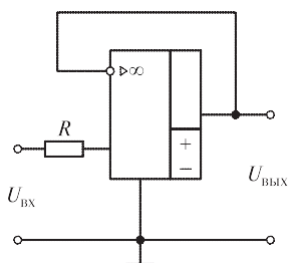
10.8. Электронды аппараттардағы қуатты алдын ала күшейткіштер

Датчиктерден түсетін сигналдарды қуаттылығы бойынша күшейту қажет (әрі қарай 12-тарауды) қараңыз. Ол үшін электронды аппараттарда алдын ала қуат күшейткіштері пайдаланылады. Күшейткіштерге қойылатын талаптарға байланысты олар дискретті элементтерде де (диодтар, транзисторлар, резисторлар және т.б.), сондай-ақ интегралды микросхемалар базасында да орындалады.

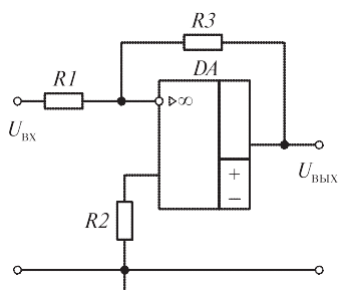
Ең әмбебап интегралды микросхемалардың бірі операциялық күшейткіш (ОК) болып табылады. ОК екі кірісі (инверттеуші және инверттемейтін), бір кіріс және бірнеше қосымша түзету кірістері бар. ОК кірісіндегі дифференциалды каскадтың нәтижесінде ол үлкен кіріс кедергісіне ие, ал дифференциалды каскадта далалық транзисторлар жұптарын пайдалануда ОК кіріс кедергісі бірнеше жүздеген мегаомға жетуі мүмкін. Теріс кері байланысты енгізу ауқымды шектегі ОК кү-

10.26-сурет. Операциялық күшейткіштің графикалық суреті





10.27-сурет. Операциялық күшейткіштегі буферлік каскад схемасы



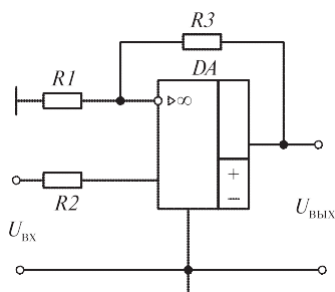
10.28-сурет. Ауқымды күшейткіштің инверттеуші схемасы

шейту коэффициентін өзгертуге мүмкіндік береді — $K_U = K_{U_{\max}} - U = 1$ дейін. Принципиалды схемалардағы ОК графикалық суреті 10.26-суретте ұсынылған.

Электронды схеманың кіріс кедергісі бар датчиктің шығыс кедергісін келісу үшін буферлік каскад пайдаланылады. Буферлік каскадта ОК инверттеуші кіріспен жалғастырылады (10.27-сурет). Қатты теріс кері байланыстың нәтижесінде буферлік каскадты күшейту коэффициенті $K_i = 1$, ал оның кіріс кедергісі бірнеше жүздеген мегаомға жетеді.

Қуаттылығы бойынша кіріс сигналын алдын ала күшейту үшін ОК орындалған **инверттеуші** және инверттемейтін ауқымды күшейткіштерді пайдаланады. Қандай да бір күшейткіш типін таңдау электронды аппарат схемасын қалыптастыру принципіне байланысты. Кіріс кернеуіндегі қарсы фазада шығыс кернеуі өзгертін күшейткіш инверттеуші деп аталады, ал кіріс кернеумен бір фазада өзгертуші шығыс кернеуі бар күшейткіш инверттемейтін деп аталады.

ОК инвертталатын күшейткіштің принципіалды схемасы 10.28-суретте ұсынылған. $R1$ және $R2$ резисторларын бір кедергімен тандайды, ол ОК таңбасына байланысты болды және 100 кОм асуы мүмкін. Көрсетілген резисторлар ОК кіріс токтарын тегістеу үшін қызмет етеді. Теріс кері байланыс тізбегіне $R3$ резисторы қосылған. Инверттейтін кү-



Инверттелмейтін күшейткіштің принципіалды схемасы 10.29-суретте ұсынылған.

шейткіш коэффициенті $R1$, $R3$ резисторларының параметрлеріне байланысты және олардың арақатынасымен анықталады:

$$K_U = \frac{R_3}{R_1}$$

Инверттелмейтін күшейткіштің принципіалды схемасы 10.29-суретте ұсынылған.

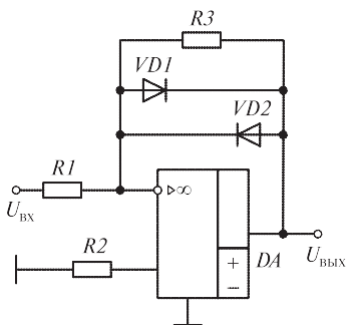
$R1$ және $R2$ резисторлары 11.9-суреттегі схемада көрсетілгендей, бір кедергімен таңдалады және ОК кіріс токтарын тегістеу үшін таңдалады. Теріс кері байланыс тізбегіне $R3$ резисторы қосылған.

Инверттелмейтін күшейткіш коэффициенті $R1$ және $R3$ резисторларының кедергілерінің арақатынасымен анықталады:

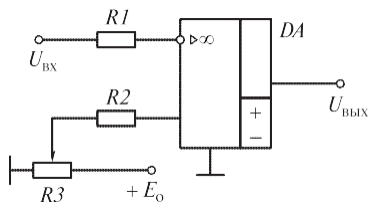
$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{R_3}{R_1} + 1$$

Кейбір жағдайларда, датчиктердің шығыс кернеуі ауқымды шектерде өзгергенде (мысалы, индуктивті датчиктердегідей бірнеше милливольттен ондаған вольтқа дейін) электронды аппаратқа кірісте шектегіш қояды. Бұл құрылғы өзінің шығысында кіріс кернеуін ауқымды өзгерту диапазонындағы схема элементтерінің берілген параметрлерінің кернеуі мәніне дейін кернеуді шектейді. ОК теріс кері байланыс тізбегіне шығыс кернеудің деңгейін беру үшін диодтар немесе стабилитрондарды қосады. Бірінші жағдайда шектегіштің шығысында $U_{\text{шығ}}$ тікелей қосылатын диодтағы кернеудің $U_{\text{пр}}$ түсуіне (тікелей қосылатын төмен вольтті тіктегіш диодта кернеудің түсуінің орташа мәні шамамен 1 В құрайды), ал екіншісінде — стабилитронды тұрақтандыру кернеуіне ($U_{\text{шығ}} = U_{\text{ст}}$) тең болады. ОК орындалған шектегіштің принципіалды схемасы 10.30-суретте ұсынылған.

Жұмысында басқарылатын кернеудің мәнін берілген мәнмен салыстыру талап етілетін электрондық аппараттарда салыстыру схемалары қолданылады. Салыстыру схемалары ретінде ОК орындалған компара-



10.30-сурет. Шектегіш сызбасы



10.31-сурет. Операциялық күшейткіштегі компаратор схемасы

торлар барынша жиі пайдаланылады. Осындай компаратордың принципиалды схемасы 10.31-суретте келтірілген.

Компараторларда кері байланыс тізбегі үзілген және ОК ең жоғары күшею коэффициентіне ие. Инверттелмейтін ОК кірісіне R_2 резисторы арқылы тұрақтылығы жоғары кернеу U_0 тірек кернеуінің көзінен, ал инверттеушіге — R_1 резисторы арқылы датчиктен түсетін кернеу $U_{вх}$ беріледі. Резисторлар R_1 , R_2 ОК кіріс токтарын тегістеуге арналған. Компаратор кіріс кернеуін $U_{вх}$ тірек кернеуімен U_0 салыстырады. ОК қуатының екі полярлық кернеуінде, $U_{вх} < U_0$ болғанда, ОК шығысында жоғары оң кернеу $+U_{вых}$ болады.

$U_{вх}$ кернеуі U_0 кернеуіне тең немесе одан артық болғаннан кейін, ОК шығудағы кернеу секірмелі түрде өзінің полярлығын өзгертеді және $-U$ тең болады. $U_{вх} \geq U_0$ шарты орындалған кезде ОК бір полярлық қоректендіру кернеуі жағдайында компаратордан шығысында нөлге тең болады ($U_{вых} = 0$). Потенциометр схемасы бойынша қосылған айнымалы резистор R_3 , тірек кернеуін U_0 , сәйкесінше, компаратордың іске қосылу шектерін де өзгертуге арналған. Компаратордың аталмыш қасиеті кернеудің электронды релесі сияқты электрондық аппараттарды жасау үшін пайдаланылады.

Бақылау сұрақтары

1. Электронды аппараттардың кемшіліктері мен артықшылықтарын атаңыз.
2. Электронды аппараттың құрылымдық схемасын сызыңыз.
3. Ауысу режиміндегі жартылай өткізгіш диод жұмысының ерекшеліктерін атаңыз.
4. Жүктеме тоғы және кернеуінің белгілі мәндері бойынша жартылай өткізгіш құралдарды қалай таңдайды?
5. Қанығу режимінде транзисторды қолдау үшін қажетті база тоғы қалай анықталады?
6. Бөлу режиміндегі транзисторды жабу тәсілдерін атаңыз.
7. Белсенді-индуктивті жүктемедегі транзистор жұмысының ерекшеліктері қандай?
8. Шамадан тыс кернеулерден қорғау тәсілдерін атаңыз.
9. Транзисторды басқаруға шығынды азайту тәсілдерін атаңыз.
10. Транзисторларды параллель қосу үшін не пайдаланылады?
11. Далалық транзисторларда орындалған электронды кілттердің артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
12. Кілттердің энергетикалық көрсеткіштерін арттыру тәсілдерін атаңыз.

13. Тұрақты ток тізбектерін коммутациялауға арналған тиристор базасындағы электрондық кілт қалай жұмыс істейді?

14. Айнымалы ток тізбектерінің коммутацияларына арналған тиристор базасындағы электронды кілттің жұмысын сипаттаңыз.

15. Операциялық күшейткіштерде буферлік каскадтар үшін не пайдаланылады?

16. Оның элементтерінің мақсатын түсіндіріңіз және инвертациялайтын күшейткіштің принципіалды схемасын сызыңыз.

17. Күшейту коэффициенті қалай анықталады?

ЭЛЕКТРОНДЫ РЕЛЕ

11.1. Кернеудің электронды релесі

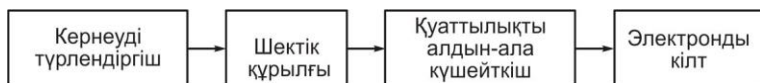
Электрондық кернеу релесінің (ЭКР) негізгі бөліктері кернеу түрлендіргіші, шекті құрылғы (салыстыру тізбегі), алдын ала күшейткіш және шығыс күшейткіші (электрондық кілт) болып табылады (11.1-сурет).

Кернеу түрлендіргіші айнымалы ток кернеуін тұрақты кернеуге түрлендіреді. Мұндай түрлендіргіш ретінде жарты толқын немесе толық толқынды көпір түзеткіші қолданылады. ЭКР тұрақты ток тізбектерінде жұмыс істеп тұрған кезде кернеу түрлендіргіші жоқ.

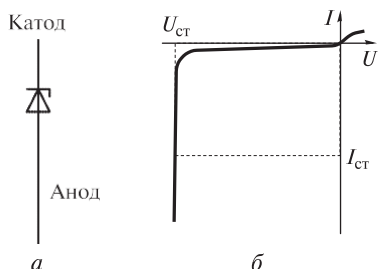
Шекті құрылғылар релелік вольт-ампер сипаттамасына ие жартылай өткізгіш элементтер немесе интегралды микросхемалар көмегімен салыстыру схемалары арқылы жасалады. ЭКР конструкциясында ең жиі қолданылатын стабилитрон болып табылады. Стабилитронның графикалық бейнесі мен вольт-ампер сипаттамасы 11.2-суретінде бейнеленген.

11.2,б-суретінде көрініп тұрғандай, кернеудің белгілі бір мәнінде Уст жабық аймақ күйінен өткізгіш аймаққа өтеді. Бұл сипат ЭКР бөлігі болып табылатын шекті құрылғыны жасағанда пайдаланылады. Іске қосылуды берілген кернеуге реттеу үшін стабилитронмен бірге айнымалы резистор қосылады. Стабилитронға негізделген шекті құрылғы схемасының нұсқаларының бірі 11.3-суретінде көрсетілген.

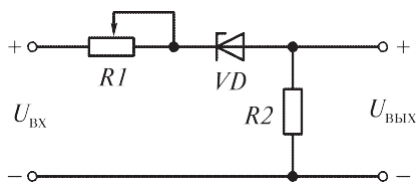
$R1$ кедергісінің көмегімен шекті құрылғының шекті кернеуі орнатылады. Кіріс кернеуі $U_{кр}$ стабилитрон тұрақтандыру кернеуінен аз болған жағдайда, $U_{тұр}$ шекті құрылғының шығуындағы кернеуі $U_{шығ} = 0$. $U_{шығ}$ кернеуі стабилитрондағы кернеу тұрақтандыру кернеуіне $U_{тұр}$ тең не артық мәніне жеткен кезде, стабилитрон өткізгіш күйге өтеді, $R2$ резисторы арқылы I тоғы және шекті құрылғының шығуындағы кернеуі $U_{шығ} = IR_2$ айналады.



11.1 -сурет.



11.2 -сурет. Графикалық кескін (а) және стабилитронның (б) вольт-амперлық сипаттамасы.

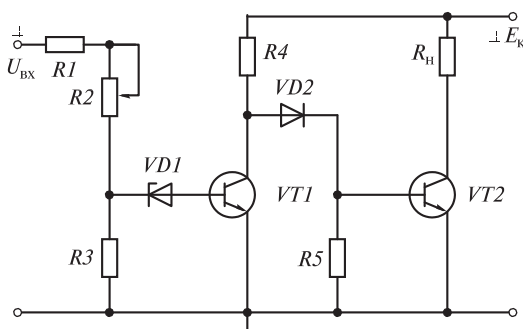


11.3 -сурет. Стабилитронның шекті құрылғысының схемасы

11.4 суретте дискреттік элементтерде жасалған электрондық кернеу релесінің схемасы бейнеленген.

$R1$, $R2$, $R3$ резисторлары кіріс кернеуді бөлгіш болып табылады, онда $R2$ резисторы ЭКР бойынша белгіленген жұмыс кернеуін реттеу үшін қызмет етеді. Шекті элемент ретінде $VD1$ стабилитроны қолданылады. Алдын ала қуат күшейткіші биополярлы $n - p - n$ -транзисторында $VT1$ құрылған, оның коллекторлық тізбегінде $R4$ резисторы орнатылған, бұл транзисторлық $VT1$ коллекторының тоғын шектейді және транзисторлық $VT2$ базалық тоғын орнатады. Алдын ала қуат күшейткішінің шығысындағы кернеуі $U_{КЭ1}$ $VD2$ диоды арқылы $VT2$ транзисторында кілт схемасы арқылы құрылған шығыс қуат күшейткішінің кірісіне беріледі. $VD2$ диоды және $R5$ резисторы $VT2$ транзисторының сенімді жабылуын қамтамасыз етуіне арналған.

$U_{вх} < U_{ст}$ шартында $VD1$ стабилитроны өткізгіш емес күйде болады, $VT1$ транзисторы жабық және оның коллекторында $U_{КЭ2max}$ кернеудің жоғары деңгейі болады. Бұл кернеу $VD2$ диоды арқылы $VT2$ транзисторының базасына жіберіліп, оны ашық күйінде ұстап тұрады. Қуат



11.4 сур. Дискретті элементтердегі ЭКР схемасы

көзінің кернеуі R_H жүктемесіне салынып тұрады. Кіріс кернеуі $U_{кр}$ стабилитрон тұрақтандыру кернеуіне $U_{тыр}$ тең болған кезде, $VD1$ стабилитроны өткізгіш күйге өтеді. Транзисторлық $VT1$ базалық тізбегінде ток I_{B1} ағыны және транзистор $VT1$ ашылады, яғни қанықтыру режиміне өтеді. Қуатты алдын ала күшейткіштің шығысындағы $U_{кө1}$ кернеуі $U_{кэ-1нас} \approx 0,3 - 0,4$ В (транзистордың қанықтылық режимінде эмиттер-коллекторлық өтуінде кернеуінің төмендеуі) тең болады. $R2$ резисторы арқылы $VT2$ транзисторының базасына «жер» шинасы арқылы нөлдік шама жіберіледі және $VT2$ транзисторы жабылады. Нәтижесінде, R_H жүктемесінің қоректендірілуі тоқтайды. Бұл түрдегі ЭКР автокөлік бортында тұрақты кернеу деңгейін қамтамасыз ету үшін вагондар мен тракторлардың борттық генераторлық қондырғыларында қолданылады.

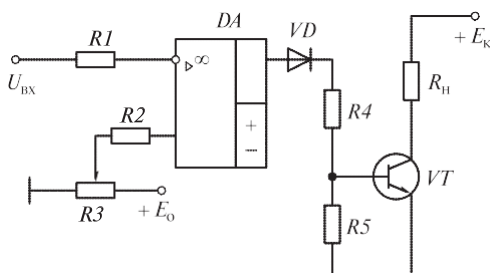
Жоғарыда айтылғандай, ЭКР дискретті элементтерде ғана емес, сондай-ақ интегралдық микросхемаларда да орындалады. 11.5-суретінде операциялық күшейткіш базасында орындалған, салыстыру схемасын қолданатын ЭКР принципіалды схемасы көрсетілген.

ЭКР кірісіне орнатылған операциялық күшейткіш екі функцияны орындайды:

- ОҚ-да жиналған компаратор салыстыру схемасының рөлін атқарады;

- ОҚ базасында алдын ала күшейткіш орындалған.

$R1$ және $R2$ резисторлары ОҚ-ның кіріс токтарын теңестіруге арналған. $R3$ кедергісінің көмегімен ЭКР активтендіру кернеуі орнатылған. Шығу қуат күшейткіші электронды кілт схемасына сәйкес, биполярлы $n - p - n$ транзисторында VT құрастырылады. $R4$ резисторы VT транзисторының қажетті базалық тоғын орнатуға арналған, ал VD диодты және $R5$ резисторы VT транзисторын сенімді құлыптауды қамтамасыз етеді. ЭКР былайша жұмыс атқарады. DA компараторының терістейтін кірісіне $R1$ резисторы арқылы $U_{кр}$ басқару кернеуі, ал терістемейтін кірісіне — тірек кернеуінің көзінен U_0 кернеуі беріледі. $U_{кр} < U_0$ шартымен DA шығуында VD диоды және $R4$ резисторы арқылы VT базасына берілетін, оны ашық күйде ұстайтын кернеудің жоғары дең-



11.5 сурет. Операциялық күшейткіштегі ЭКР схемасы

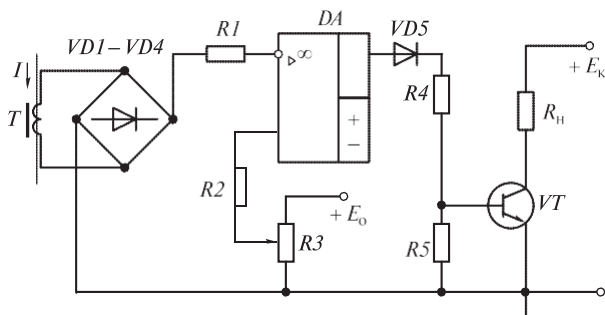
гейі орнатылған. Нәтижесінде жеткізу кернеуі R_H жүктемесіне қосылады. $U_{кр}$ кернеуі U_0 тірек кернеуіне тең не артық болған кезде, DA шығыс кернеуі өз полярлығын өзгертіп, VD диоды жабылады. VT транзисторы да жабылады, себебі оның базасына $R5$ резисторы арқылы нөлдің шама беріледі. R_H жүктемесі қуат алуды тоқтатады.

11.2. Токтың электронды релесі

Электрондық ток релесі ток қабылдағыштарынан тұрады. Тұрақты ток тізбектерінде олардың рөлін кедергілі қабылдағыштар атқарады, сондай-ақ ауыспалы ток тізбектерінде - кедергілі қабылдағыштар әрі ток өлшеу трансформаторлары да атқарады. Кедергілі қабылдағыштар арқылы өтетін ток оған пропорционалды кернеудің төмендеуін туғызады. Бұл кернеудің төмендеуі ЭКР тізбегіне ұқсас схемаға сәйкес құрастырылған электронды ток релесінің кіруіне беріледі. 11.6- суретте токтың электрондық релесінің схемасы көрсетілген. Бұл реле айнымалы ток желісінен жұмыс істеуге арналған.

Электрондық ток релесінің кірісінде T тоғының өлшеу трансформаторы орнатылған. I ауыспалы ток трансформатордың бастапқы орамынан ағып кеткенде, ЭДС айнымалысы екіншіліктен ықпалдандырылып I тоғына пропорционалды болып шығады, ол $VD1 - VD4$ диодтарының көпірлік схемасымен

құрылған түзеткіш арқылы тұрақты кернеуге айналады. $R1$ резисторы арқылы шығатын түзеткіштің кернеуі DA компараторының терістету кірісіне беріледі. $+E_0$ тірек кернеуінің көзінен U_0 тірек кернеуі $R2$ резистор арқылы компаратордың терістетпейтін кірісіне беріледі. $R3$ резисторы арқылы $I_{кр}$ релесінің іске қосылу тоғы қосылады. $I < I_{кр}$ болғанша, компаратордың шығуында $VD5$ диоды және $R4$ резисторы арқылы кернеудің жоғарғы шамасы VT транзисторының шығу базасына негізде-



11.6сурет. Электронды ток релесінің схемасы

ле отырып, оны ашық күйінде ұстап тұрады. Нәтижесінде қоректендіру кернеуі R_H жүктемесіне қосылады.

I тоғы іске қосылу тоғына I_{cp} тең не одан артық болған жағдайда, DA компараторының шығуындағы кернеуі өз полярлығын өзгереді немесе нөлге тең болады (қолданылатын ОК-нің түріне байланысты), $VD5$ диоды жабылып, VT шығыс транзисторының жабылуына әкеледі. R_H жүктемесі қорек алуды тоқтатады.

11.3. Уақыттың электронды релесі

Автоматты түрде басқару желілерінің көбісінің құрамында уақыттың электронды релесі (УЭР) бар, бұл келесідей әр түрлі уақытша функцияларды атқарады:

- қосылуға уақыт іркілісін қалыптастыру;
- сөндірілуге уақыт іркілісін қалыптастыру;
- берілген уақыт аралығына сөну;
- берілген уақыт аралығына қосылу.

УЭР аналогты, әрі цифрлық интегралды схемаларда орындала алады. Уақыт тағайындаушы тізбек ретінде УЭР-да RC -тізбегі қолданылады. R және C шамаларына УЭР уақытша параметрлері байланысты.

Біз білетіндей, R резисторы арқылы U тұрақты кернеуден зарядталатын U_C конденсаторындағы кернеу, мына формула арқылы шығарылады

$$U_C = U(1 - e^{-t/\tau}),$$

Бұнда t — конденсатордың зарядталу уақыты; τ — уақыт тұрақтысы, $\tau = RC$.

Конденсаторды зарядтау процесі 11.7-суретінде бейнеленген график сипаттайды. Бұл процесс $(3...5)\tau$ тең болып тұрған уақытта бітеді деп санауға болады. Қағида бойынша, іске қосылу уақыты үлкен емес — $(1...2)\tau$ уақыт релесін жасау жөн.

Компаратор базасындағы уақыт релесінің схемасы 11.8-суретінде көрсетілген. Бастапқы күйінде S қосқышы төменгі қалпында, ал C конденсаторы шағын $R2$ резисторы арқылы зарядсызданады. Уақыт релесін қосу үшін S қосқышын жоғарғы қалпына қосады. Осы уақыттан кейін C конденсаторының $R1$ резисторы арқылы қуат көзінен зарядталуы басталады.

Конденсатордың кернеуі DA операциялық күшейткішінің терістеу кіруіне беріледі. DA басқа кірісіне реленің уақыт іркілісін анықтайтын $R4$ айнымалы резисторының кернеуі беріледі. Конденсатордың кернеуі осы кернеуге тең болған кезде, реле шығысында кез келген құрылғыны қосуға немесе өшіруге арналған кернеу бірден пайда болады. Бірнеше

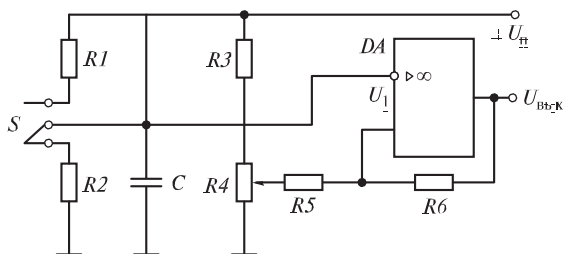
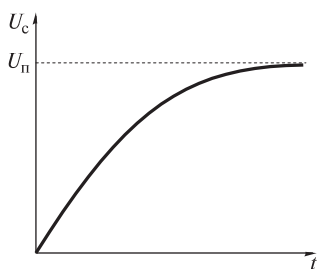
уақыт іркіліс диапазоңдарын алу үшін, бір $R1$ резисторының орнына конденсатордың зарядталу тізбегіне қосыла алатын бірнеше резисторларды қосады. Бұл типтегі уақыт релесі уақыт іркілісі бірнеше ондаған секундтардан аспаған жағдайда әжептәуір кең қолданысқа ие болады.

11.9-суретте цифрлық интегралды схемалар орындалған УЭР принципіалды схемасы көрсетілген. Реленің құрамына $DD1$ инверторы, екі элемент $И—НЕ$ $DD2.1$ және $DD2.2$, VD диоды, $R1—R4$ резисторлары, C конденсаторы және биполярлы $VT n—p—n$ -транзисторы кіреді. Бұл УЭР берілген уақыт аралығында жүктемеге керектендіру кернеуін қамтамасыз етуге арналған. Жасалып жатқан уақыт интервалының ұзақтығы $R3$ резисторының параметрлері мен C конденсаторының сыйымдылығына байланысты. VD диоды екі түрлі қызмет атқарады: 1) $DD2.1$ микросхемасының кіріс тізбектерін C конденсаторының зарядсыздануы кезінде пайда болатын қарсы кернеулерден сақтайды; 2) C конденсаторының зарядсыздану уақытын қысқартады, нәтижесінде реле бастапқы қалпына тезірек келеді әрі оның жиілік сипаттары өседі.

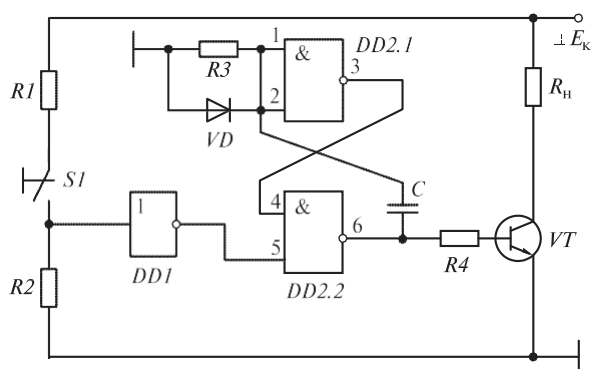
$R4$ резисторы VT транзисторының қанықтыру режиміне өтуін қамтамасыз ететін базаның тоғын қоюға арналған. Резисторы $R1$ және $R2$ резисторлары $S1$ батырмасымен қатар релені күті режимінен уақыт интервалын жасау режиміне өткізу үшін қызмет етеді.

УЭР келесідей жұмыс істейді. Бастапқы күйінде ($S1$ батырмасының байланыстары ажыратылған), $DD1$ инверторының кірісінде нөлдік потенциалы бар ($DD1$ кірісі $R2$ резисторы арқылы «жермен» байланысқан), ал оның шығысында — кернеудің жоғарғы шамасы. Бұл жоғары кернеу $DD2.2$ 5 кірісіне беріледі. $DD2.1$ 1 және 2 кірістеріне бір уақытта нөлдік потенциал беріледі, сондықтан $DD2.2$ 3 шығысындағы кернеу деңгейі жоғары болып тұрады. Бұл кернеу $DD2.2$ 4 кірісіне

Рис. 11.7. График, характеризующий процесс зарядки конденсатора



11.8 сурет. Компаратор базасындағы уақыт схемасы

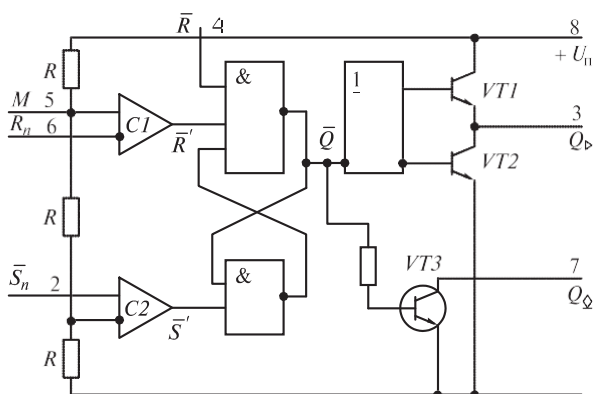


11.9 сурет. Цифрлық интегралды схемалардағы УЭР схемасы

беріледі, нәтижесінде DD2.2 6 шығысындағы кернеу деңгейі төмен әрі VT транзисторы жабық. Rн жүктемесінде кернеу жоқ.

S1 батырмасын қысқа мерзімді басу кезінде DD1 инверторының кірісіне R1 резисторы арқылы жоғарғы шамалы кернеу беріледі. DD1 шығысында кернеу нөлге тең болады, ал 6 DD2.2 шығысында кернеудің жоғарғы шамасы пайда болады. Нәтижесінде R3 резисторы арқылы C конденсаторының зарядталуы басталады, VT транзисторы ашылады да, Rн жүктемесіне қуат көзінен кернеу беріледі. C конденсаторының зарядталуы кезінде зарядтың тоғы ізар R3 резисторында кернеудің төмендеуін туғызады $U = R i_{3 \text{ зар}}$, бұл 1 және 2 DD2.1 шығыстарына беріледі

де, 3 DD2.1 шығысындағы кернеу нөлге тең болып кетеді. Бұл күй R3 резисторындағы кернеудің төмендеуі реле өзінің бастапқы күйіне (VT транзисторы жабық, Rн жүктемесіндегі жеткізу кернеуі жоқ) қайтуын қамтамасыз ететін мөлшерге жеткенге дейін сақталып тұрады. Реле



11.10 сурет. KP1006ВИ1 аналог таймерінің схемасы

уақыт интервалының жасалу процессінде $S1$ батырмасының қайта басуларға жауап қайтармайды. Жүктемеге кернеу берілген интервалдың уақыттық ұзақтығы R_3C тізбегінің параметрлеріне байланысты болады және $T=0,7R_3C$ формуласы арқылы есептеледі. Биополярлы транзисторларда орындалған интегралды микросхемаларды қолданылуы кезінде, R_3 резисторының кедергісі қатаң бекітілген ($R_3 = 1 \text{ кОм}$), сондықтан уақыт интервалының жасалуы кезіндегі шешуші шама болып C конденсаторының сыйымдылығы болып табылады. Далалық транзисторларда орындалған интегралды микросхемаларды қолдану кезінде, R_3 кедергісі барынша үлкен бола алады.

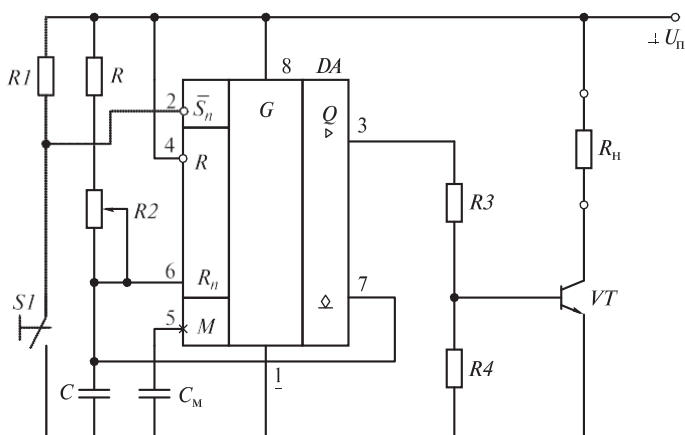
Қазіргі кезде уақыттың электрондық релесін жасау үшін арнайы интегралды микросхемалар жасалып шығарылған. Осындай микросхемалардың бірі КР1006ВИ1 аналогты таймері болып табылады. Оның базасында уақыт интервалдары 10 мкс-дан 1 сағ дейінгі диапазонда болатын УЭР жасауға болады. Таймердің құрамына (11.10-сурет): $C1$ және $C2$ аналогты екі компаратор, асинхронды потенциалды RS -триггер; $VT1$ және $VT2$ транзисторларындағы қуат күшейткіші; ашық коллекторы бар $VT3$ қуатты транзисторы.

Компараторлардың тірек кернеуі үлкен дәлділікпен қойылады:

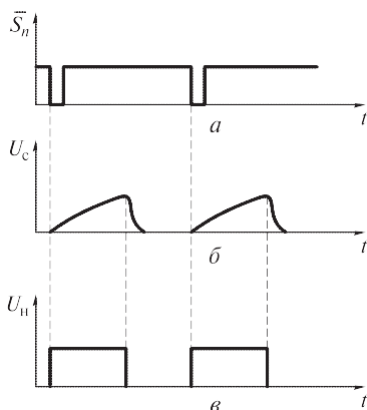
$$U_{oC1} = \frac{1}{3} U_n; \quad U_{oC2} = \frac{2}{3} U_n.$$

$C2$ компараторының жылдам әрекеттігі аз, сондықтан S_n кірісіне берілетін кіріс сигналының ұзақтығы

10 мкс-дан кем болмау керек. S_n және R_n кірістеріне аналогты, әрі цифрлық сигналдарды беруге болады. Таймердің қосымша M модуляциялау кірісі бар. Оған U_m кернеуінің берілуі кезінде таймердің жасайтын



11.11 сурет. КР1006ВИ1 таймеріндегі УЭР схемасы



11.12-сурет.

C (б) конденсаторындағы және (в) жүктемесіндегі S_n (а) кіріс кернеулерінің осциллограммасы

уақыт интервалдарының ұзақтығы осы кернеудің шамасына пропорционалды түрде өзгеріп тұрады.

11.11-суретте КР1006ВИ1 (DA ретінде көрсетілген) таймерінің базасында орындалған УЭР принципі алды схемасы келтірілген. Таймерден басқа, реленің құрамына R , $R1—R4$ резисторлары, C және C_m конденсаторлары, қуатты биополярды $n—p—n$ VT транзисторы және $S1$ батырмасы кіреді. Уақыт сілтеуші тізбек R , $R2$ резисторларынан және C конденсаторынан тұрады. $R3$ резисторы VT шығыс транзисторының I_b ток базасын сілтеу үшін арналған, ал $R4$ резисторы осы транзистордың сенімді бекітілуін қамтамасыз етеді. Бұл УЭР берілген уақыт интервалындағы жүктемеге кернеу беруге арналған. УЭҚ былай жұмыс атқарады.

$S1$ батырмасын басқан кезде УЭҚ кірісіне $S_n = 0$ сигналы беріледі де, таймердың шығысында кернеудің жоғарғы шамасы пайда болады ($Q = 1$). VT шығыс транзисторы ашылады, және U_n жеткізу кернеуі R_n жүктемесіне әкеледі. Осы уақытта таймердегі VT3 қуатты транзисторы жабылады (11.10-суретті қара), нәтижесінде C конденсаторының R және $R2$ резисторлары арқылы қуат көзінен зарядталуы (11.11-суретті қара)

$$U_c = U_n - U_n e^{\frac{1}{(R+R_2)C}}$$

заңы бойынша конденсатордағы кернеу өсе береді. Бұл

$U_c = (2/3)U_n$ мәніне жеткен кезде, таймерде $C1$ компараторы іске қосылып (11.10-суретті қара), таймердің шығысындағы кернеу нөлге тең болып кетеді ($Q = 0$).

VT3 транзисторы ашылып, C конденсаторының тез арада зарядсыздану жүзеге асады. T_n интервалының ұзақтығы мына қатынастан анықталады:

$$T_n = (R + R_2)C I_{n3}.$$

Тендеуден көрініп тұрғандай, T_n импульсының ұзақтығы U_n жеткізу кернеуіне байланысты емес. 11.12-суретте УЭР жұмыс принципі түсіндіруге көмектесетін, оның схемасының әр түрлі нүктелеріндегі кернеудің осциллограммалары берілген.

Берілген уақыт интервалына УЭР-ні баптау үшін $R2$ айнымалы резисторы қызмет етеді.

Бақылау сұрақтары

1. Электрондық кернеу релесінің блоктық схемасын сызыңыз және әр блоктың мақсатын түсіндіріңіз.
2. Шекті құрылғылар жасау үшін қандай жартылай өткізгіш элементтер қолданылады?
3. Шекті құрылғылардың қандай элементтері іске қосылу шегін анықтау үшін қолданылады?
4. Компаратор негізінде шекті құрылғының жұмыс істеу қағидасын түсіндіріңіз.
5. Операциялық күшейткіш базасында УЭР іске қосылу шарты қандай?
6. Шығыс каскадының қандай элементтері шығыс транзисторын жабуға арналған?
7. Токтың электрондық релесінде қандай ток датчиктері қолданылады?
8. Уақыттың электронды релесі қандай қызметтерді атқарады?
9. Цифрлық интегралды микросхемада орындалған уақыттың электрондық релесінің схемасының суретін салыңыз, оның жұмыс қағидалары мен элементтердің белгіленуін түсіндіріңіз.
10. Цифрлық интегралды микросхемаларды орындалған уақыттың электрондық релесінің жасалатын уақыт интервалын қалай санайды?
11. Таймер базасында орындалған уақыт интервалының ұзақтығы схема элементтерінің қандай параметрлеріне байланысты? Бұл интервалдың ұзақтығы қалай саналады?

12-ТАРАУ

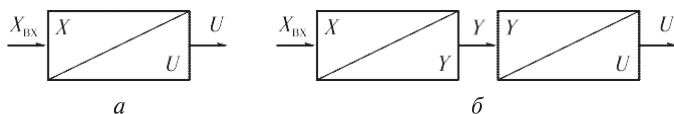
ДАТЧИКТЕР ЖӘНЕ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР

12.1. Жалпы мәліметтер

Өлшеуіш техникалық дамуы электрлік және электрлік емес параметрлерінен тәуелсіз, өлшеудің электрлік әдістерін кеңінен қолдану жолымен жүреді, әртүрлі электронды аппараттарда өлшеу немесе қолдану ұсынылады. Сондықтан, өлшем үшін, электрлік аспаппен өлшенуі мүмкін, физикалық шаманы электрлік шамамен өлшеуге жататын түрлендіруді қамтамасыз ететін түрлендіргіш (12.1-сурет), қажет. Мұндай түрлендіргіш **датчик** деп аталады.

Датчиктің шығу шамасы кернеу (12.1, *а*-сурет) болып табылса, өлшеу жүргізу ыңғайлы болады. Бұл өлшенетін объектіден қандай да бір қашықтықта нәтижелерді белгілеуді жүргізудің қажеттілігімен түсіндіріледі, ал кернеу сымдар арқылы оңай жіберіледі. Өкінішке орай, өлшеуге тиесілі физикалық шамаларды электрлік шамаларға, мысалы кернеуге түрлендіру үнемі мүмкін емес. Мұндай жағдайларды түрлендіргіш екі сатыда орындалады (12.1, *б*-сурет). Бірінші сатыда өлшенетін физикалық шама екінші сатыда электрлік шамаға түрленетін басқа физикалық шамаға түрленеді. Екі сатылы схемаға, мысалы атмосфералық қысымды өлшейтін құрылғы жатады. Мұндай құрылғының бірінші сатысында aneroidті қорап қолданылады, мұнда қатты кернеу құрылады. Атмосфералық қысым өзгеруі, қораптың сығылуына немесе үрілуіне әкеледі, яғни қарапайым потенциометриялық датчиктің көмегімен электрлік шамаға – кернеудің өзгерісіне айналатын, геометриялық өлшемдердің өзгеруіне әкеледі. Ұшақтың биіктікті өлшейтін аспабы, дәл осы принциппен жұмыс жасайды.

Барлық датчиктер екі ерекшеліктерімен сипатталады: статикалық және динамикалық. **Статикалық немесе градустану ерекшелігі** — бұл шығу шамасының статикадағы шығысына тәуелділігі, яғни өлшем бір-



12.1-сурет. Түрлендіргіштердің бір сатылы (*а*) және екі сатылы (*б*) схемалары

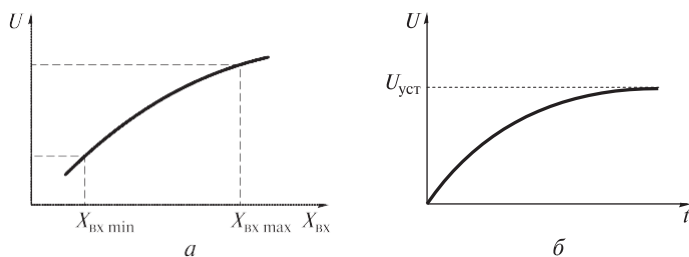
лігінің өзгеруіне байланысты ауыспалы процесстің аяқталуынан соң. Мұндай ерекшелік сызықтық болуы мүмкін, бірақ көбінесе сызықтық емес болып табылады (12.2, *а*-сурет). Шығатын мәннің өзгеру сипаттамасы кіріс мәннен оның артуы мен кемуі бірдей болмаған жағдайда, яғни өзіндік гистерезис байқалса, бірнеше тәуелділіктермен жұмыс жасауға тура келеді (сипаттамалар тобы).

Динамикалық сипаттама кіріс сигналдың өзгеру динамикасын есепке алады. Мысалы, жылулық инерция әсерінен (оның қызуы үшін уақыт керек) температура датчигі кіріс параметрдің- температураның өзгеруі туралы ақпаратты бірдей бермейді. Көп жағдайда динамикалық сипаттамалар сызықты емес болып табылады (12.2, *б*-сурет). Датчиктің шығыс сигналы кіріс сигналға қарағанда тұрақты уақыт бойынша кешігіп жүретін жағдай үшін, датчик сипаттамасы уақыт осі бойынша оңға жылжиды. Осындай тұрақты кешігу кейбір аналогты-сандық түрлендірушілердің схемаларына тән.

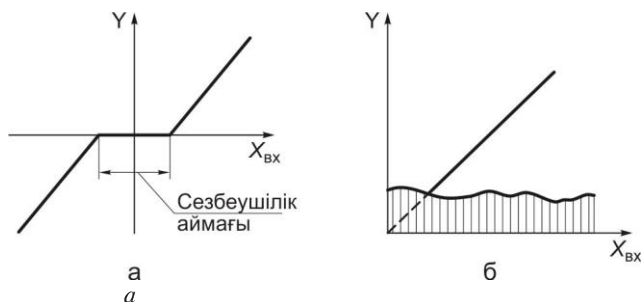
Барлық датчиктерді екі негізгі типке бөлуге болады: **генераторлық** және параметрлік. Генераторлық датчиктерде кіріс мән (температура, орын ауыстыру, айналу жиілігі) тікелей электрлікке (кернеу немесе ток) ауысады. Сонымен қатар сыртқы энергия көзі датчик жұмысына қажет емес.

Параметрлік датчиктерде қандай да бір параметр өзгерсе, кіріс сигнал мәнінің өзгерісінің түрленуі орын алады, мысалы кедергі, соңғы нәтижесінде шығатын мәннің өзгерііне алып келеді. Параметрлік датчиктің жұмысы үшін датчиктің шығысында кіріс параметрге пропорционал, электрлік сигналдың шығуын қамтамасыз ететін сырттан энергия көзі қажет.

Өлшеуіш құрылғыларға қандай да бір тұрақсыздық тән, яғни шығыс мән кезінде өзгермейтін кіріс мән кезінде (дрейф) уақыт бойынша өзгеру. Бөлшектердің, лофттардың немесе гистерезистердің магниттік тізбекте үйкелісінен өлшеу құрылғылары жұмыс жасай бастайды, яғни датчиктің сезімталдығы (12.3-сурет) шегінен асып түсетін белгілі бір кіріс



12.2-сурет. Датчиктердің статикалық (*а*) және динамикалық (*б*) сипаттамалары



12.3-сурет. (а) сезімтал емес аймағы және (б) шуыл болуы кезіндегі датчиктер сипаттамасы

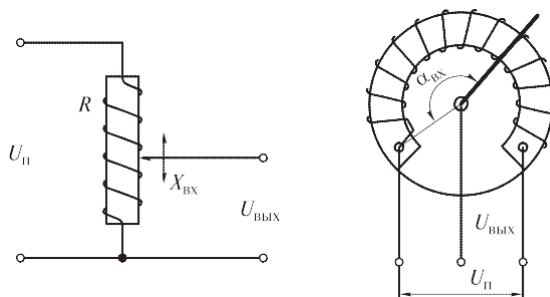
мәнінде шығыс мәнді бере бастайды. Кейбір құрылғыларда сезімталдық шегі өте кіші кіріс мәндерді өлшеу кезінде, өлшеу құрылғыларының тізбегінде ток толқындатуды өлшенетін шама шақырған токпен бірдей болған кезде, «шуылдардың» бар болуымен анықталады. Әдетте, бұл жартылай өткізгіштен тұратын құрылғыларға қатысты.

Датчиктердің кейбір кең тараған түрлерінің құрылысы мен сипаттамасын қарастырамыз.

12.2. Потенциометриялық датчиктер

Потенциометриялық датчик кірісіне қоректендіру кернеуі U_n берілетін, ал шығыс кернеуі $U_{шығ}$ қоректендіруді жеткізу және датчиктің орташа шығысының біреуімен алынатын потенциометрді білдіреді (әдетте, сымды 12.4-сурет)

Шығыс кедергінің $R_{шығ}$ қозғалтқыштың орын ауыстыруынан $x_{вх}$ тәуелділігі потенциометрдің, орам ұзындығы тұрақты бірқалыпты орамасы кезінде төмендегідей формуламен өрнектеледі:



12.4-сурет. Өткізгішті потенциометр түріндегі потенциометриялық датчиктер

Бұл жерде $R_{\text{шығ}}$ — потенциометрдің сыртқы аумағының кедергісі;

$$R_{\text{вых}} = \frac{R}{l} x_{\text{вх}},$$

потенциометрдің толық кедергісі; l — потенциометр орамасының толық ұзындығы.

Келтірілген формула қозғалтқыш орынын ауыстырғаннан кезде кернеудің өзгерісі баяу жүреді деген болжаммен шығарылған (12.5-сурет). Оған тек өткізгіш ораманың орнына реохорд пайдалану арқылы немесе потенциометр корпусына кедергісі үлкен ток өткізгіш материал қабатын (мысалы, графит) қолдану арқылы қол жеткізуге болады. Дегенмен, ток өткізгіш потенциометрлер осы қабатты қозғалтқыштың қажетуы арқылы тұрақты жұмыс жасай алмайды, ал реохордты пайдалану кезінде осынадай потенциометр кезінде алуға болатын шығыс кернеуімен шектеледі. Өткізгішті орамасы бар потенциометриялық датчикте орын ауыстыратын қозғалтқыштың бір орамнан екінші орамға секіруі әсерінен шығыс кернеуі, бір ораманың кедергісімен $\Delta R_{\text{вых}}$ анықталатын сатылық қателік деп аталатын құбылысты туғызады.

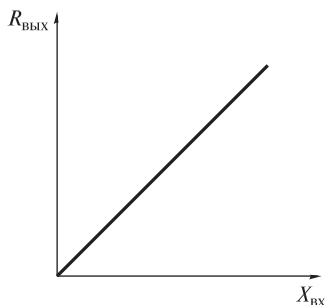
Өткізгіш диаметрі шеңберінде қозғалтқыштың орын ауыстыру тығыз орама кезінде өлшеуіш құрылғының сатылы қатесін $\Delta x_{\text{вх}}$ анықтайды.

Потенциометрлік датчиктерді орау үшін материал ретінде манганин, константан, фехраль қолданылады, ал жауапкершілігі аса жоғары құрылғыларда — платиноиридиевті қоспа қолданылады. Көршілес орамаларды бір-бірінен оқшаулау үшін қышқыл немесе эмаль қабықшамен жабады.

Егер потенциометриялық датчик

кедергісі шексіз үлкен жүктемеге жұмыс жасаса ($R_{\text{н}} = \infty$), шығыс кернеудің потенциометр қозғалтқышының орын ауыстыруынан тәуелділігі келесідей түрде болады:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{н}}}{l} X_{\text{вх}}$$



12.5-сурет. Потенциометриялық датчиктің

сипаттамасы
 $R_{\text{вых}} = f(X_{\text{кіріс}})$

Егер жүктеме кедергісі потенциометр кедергісімен тең болса, онда шығыс кедергінің тәуелділігі, сонымен қатар шығыс кедергінің қозғалтқыштың орын ауыстыруынан тәуелділігі сызықты болмайды.

Потенциометр кедергісінің R жүктеме кедергісіне R_n қатынасын белгілеп датчик шығысында кернеудің қозғалыстың орын ауыстыруынан тәуелділігін аламыз:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U X}{1 + \beta(X_{\text{вх}} - X_{\text{вх}}^2 / l)}$$

Соңғы өрнектен шығысында кернеудің потенциометр қозғалысының орын ауыстыруынан тәуелділігі сызықты емес екенін көрсетеді. 12.6-суретте жүктеме кедергісінің әр түрлі мәні үшін шығыс кернеудің қозғалыстың орын ауыстыруынан тәуелділігі (дәлірек айтқанда $U_{\text{вых}} / U_n$) яғни жүктеменің әр түрлі кедергісі үшін мәні келтірілген.

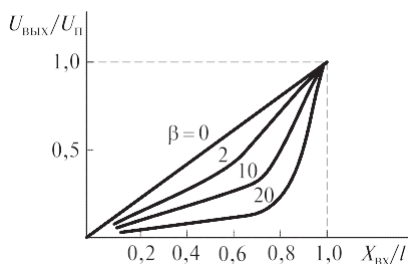
Потенциометриялық датчиктердің динамикалық қасиеті белсенді жүктеме кезінде күшейткіш буынның берілу функциясымен анықталады.

$$W(p) = k = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$$

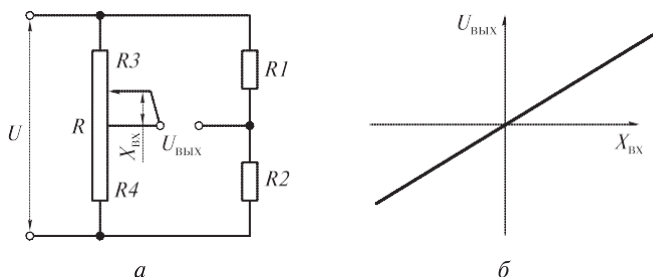
Өйткені кіріс мәннің кез-келген өзгерісі шығыс кернеудің сәйкес өзгерісіне лезде алып келеді. Әрине, динамикалық қасиеттерін анықтаған кезде потенциометрдің өзінің индуктивтілігі ескерілмейді, өйткені ол өте кішкентай және автоматикада қолданылатын салыстырмалы түрде төмен жиілікте әсер етпейді.

Потенциометр орамасының ұзындығын, профильденген каркасқа оның осі бойымен орамамен өзгерте отырып, шығыс және кіріс мәндер арасында әр түрлі тәуелділіктер алуға болады. Мұндай потенциометрлер **функционалдық** деп аталады.

Полярлығы кіріс орын ауыстыруымен өзгерілетін шығыс кернеуді алу қажет болса, ол үшін көпірлік схемаларды пайдаланады, олардың біреуі 12.7,а-суреттер келтірілген. Және потенциометр қозғал-



12.6-сурет. Әр түрлі жүктемедегі потенциометрлік датчик сипаттамалары нагрузках



12.7-сурет. Потенциометрлік датчиктің көпірлік схемасы (а) және сипаттамасы (б)

тқышымен бөлінген R резисторының R_3 , R_4 аумақтарымен және R_1 , R_2 резисторлармен пайда болған шығыс қысқыштар көпір диагоналына кіреді.

Көпір тепе-теңдігінің шарты

$$R_1 R_4 = R_2 R_3.$$

Тепе-теңділік шарты төмендегі өрнектегідей болған кезде, әдетте $R_1 = R_2$ таңдайды.

$$R_4 = R_3 = \frac{1}{2} R.$$

Егер потенциометр сырғағы резистор R ортасына орналасса, онда шығысындағы кернеу, яғни көпірдің диагоналында орналасқан кернеу нөлге тең. Қозғалтқыштың ортадағы күйден ауытқуын кіріс шама деп қабылдағанда, кернеудің $U_{\text{вых}}$ осы ауытқудан $X_{\text{вх}}$ тәуелділігін табамыз (12.7, б-сурет):

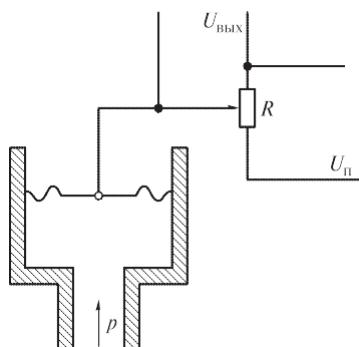
$$U_{\text{вых}} = \pm \frac{U}{l} X_{\text{вх}}$$

бұл ретте біздер жүктеменің кедергісін шексіз үлкен деп есептеп, оның ықпалын ескермейміз.

Потенциометриялық датчиктер габариттік өлшемдерінің және салмағының ал болуына, қарапайымдылығына, дәлдігінің жоғары болуына және тұрақтылығына байланысты әртүрлі автоматтық құрылғыларда кеңінен қолданылады. Мысалы, көптеген автокөліктерде жанармай деңгейін көрсеткіштер жанармай бағында қалтқымен байланысқан осындай датчиктермен жабдықталған. Сонымен қатар, потенциометриялық датчиктер электр жетек көмегімен қандай да бір бөлшекті белгілі бір қалыпта бекіту қажеттілігі туындағанда, сондай-ақ қысым датчиктерінде екінші түрлендіргіш ретінде қолданылады.

Сан-алуан қысым датчиктерінің ішінен қарапайым түрін қарастырайық. Ол корпусқа орналасқан гофрленген иілгіш пластина (12.8-сурет).

Егер датчикке қысым келтірсе (ауа, сұйықтық, газ және т.б.), онда пластина деформацияланады. Бұл деформацияны мысалы потенциометриялық датчик көмегімен кернеу түрінде шығыс сигналға түрлендіруге болады. Датчик гофрленген пластинаға екі жағындағы қысымның әр түрлі болуына әсер ететінін ескеру қажет. Осындай датчиктер автоматтық жүйелерде қысымның белгілі мөлшерін алу үшін және оны сол деңгейде электрондық аппаратпен басқарылатын электрожетек көмегімен ұстап тұру үшін қолданылады.



12.8-сурет. Қысым датчигі

Потенциометриялық датчиктер тұрақты токта да айнымалы токта да жұмыс жасай алады.

12.3. Индуктивтік датчиктер

Индуктивтілік датчиктерінің жұмысы орауыш индуктивтілігіне немесе магниттік тізбек параметрлері өзгерген кезде трансформатордың өзара индуктивтілігіне негізделген. 12.9-суретте қарапайым индуктивтілік датчигі көрсетілген. Ол ауа саңылаулы магнит өткізгіште орналасқан индуктивтілік орауышы. Кіріс мандер (қысым, орын ауыстыру және т.б.) ауалық саңылауды δ өзгертеді, ол өз кезегінде орауыш индуктивтілігінің L өзгеруіне алып келеді. Сәйкесінше тәуелділікті табуға болады $L = f(X_{\text{вх}})$. Саңылауы бар дроссель индуктивтілігі (генри) төменгі формуламен анықталады

$$L = \frac{0,4\pi\omega^2}{R_m + \frac{2\delta}{S}} 10^{-8}$$

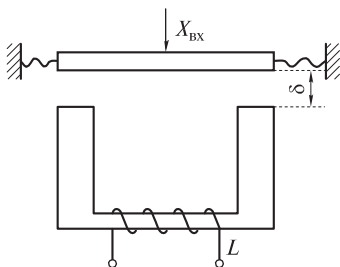
Бұл жерде w — орауыш орамдарының саны; R_m — магнит өткізгішінің магниттік кедергісі; δ — ауалық саңылаудың өлшемі; S — орауыштың көлденең қимасының ауданы.

Дроссельдің толық кедергісі

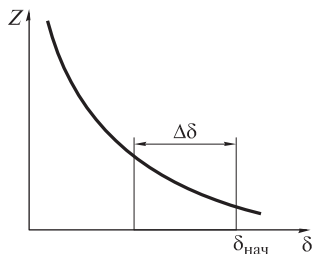
$$Z = \sqrt{R^2 + (wL)^2},$$

Бұл жерде R — дроссельдің белсенді кедергісі; wL — орауыштың индуктивті кедергісі.

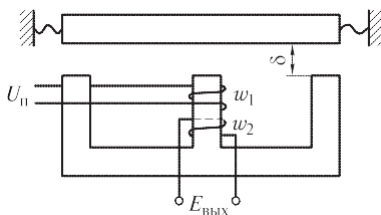
Толық кедергінің ауа саңылауының шамасынан тәуелділік графигі



Сурет-12.9. Қарапайым индуктивті датчик



Сурет-12.10. Индуктивті датчиктің сипаттамасы



12.11-сурет. Трансформаторлық типтегі индуктивтік датчик

12.10-суретте көрсетілген. Келтірілген қисықтық гиперболаны қамтиды.

Әдетте сызықтық аумаққа жақын саңылаудың $\delta_{бас}$ бастапқы мәнінен оның кішіреюі жағына қарай сипаттамасын қолданады.

Трансформаторлық типтегі индуктивті датчик 12.11-суретте келтірілген. Алғашқы орауыш амплитуда бойынша тұрақты айнымалы токпен қоректенеді. Шығыс кернеу екінші орауыштан алынады.

Ауа саңылауының өзгеруі магниттік тізбектің магниттік кедергісінің өзгеруіне алып келеді, сәйкесінше екі орауыштан да өтетін магниттік ағын да өзгеріске ұшырайды. Осылайша, магниттік ағын да, екінші ЭҚК да ауа саңылауына тәуелді, яғни оның кіріс шамасына тәуелді.

Сипатталған датчиктердің кемшіліктері якорь тартылыс күшінің болуы. Ол ауа саңылауының көлеміне, трансформаторлық датчиктегі ЭҚК бастапқы мәніне немесе орауыш арқылы бастапқы токтың өтуіне тәуелді.

Индуктивті датчиктерінің негізгі артықшылықтары - олардың құрылысының қарапайымдылығы, сенімділігі, сырғымалы түйіспесінің болмауы, шығыс қуатының жоғары болуы және өндірістік жиілікте жұмыс жасау мүмкіндігі. Мұндай датчиктер қозғалтқыштың айналмалы моментін өлшеу үшін жылдамдатқыш датчиктер және т.б. ретінде қолданылады.

12.4. Холл датчигі

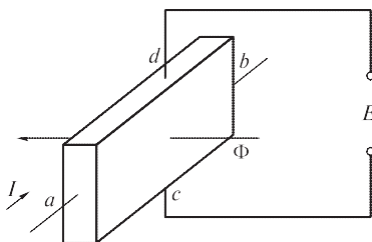
Холл датчигі, индуктивтік датчиктер сияқты магнит ағынының өзгерісіне қарсы әсер етеді. Ол п-типті жартылай өткізгіштен дайындалған, яғни электрондық өткізгіштігі бар пластинаны қамтиды (12.12-сурет). a және b қырларына тұрақты кернеу тіркелгеннен кейін, тізбекте жартылай өткізгіштің бос электрондарының қозғалысы әсерінен ток I пайда болады. Егер осы кезде жартылай өткізгіш пластинаның жазықтығы арқылы магниттік ағын өтсе, ол электрондар ағынын қырлардың біріне ығыстыруға ұмтылады (магниттік ағын белгісіне байланысты c немесе d), бұл құбылыс c және d қырлары арасында ЭҚК пайда болуына алып келеді. Бұл ЭҚК мәні келесі қатынасты беретін B магниттік индукциясымен байланысты.:

$$E = R_x \frac{IB}{h}$$

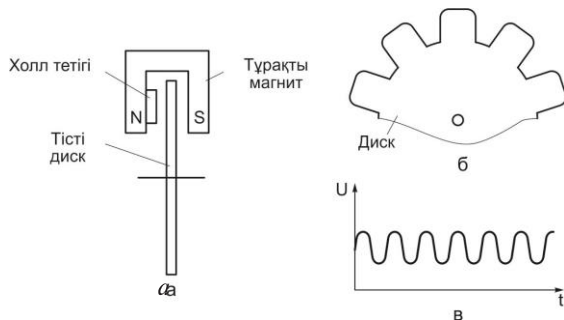
Бұл жерде R_x — жартылай өткізгіш материалына тәуелді Холла тұрақтысы; I — a және b қырлары арасында тізбектегі ток; h — жартылай өткізгіш пластина қалыңдығы.

Егер пластинаның a және b қырларына айнымалы кернеу басылса, c және d арасында ЭДС айнымалысы пайда болады, өйткені пластинада ток өзгерісінен электрондар ағыны жан-жаққа ығысатын болады.

Холл датчиктері қозғалтқыштарды айналдыру жиілігін тұрақтандыру үшін немесе өлшеу жүйелерінде қолданыс табады. Бұл кезде оларды тісті дисктің айналу аймағында немесе соған ұқсас аймақта орналастырады (12.13 а,б-сурет). Әр тіс тұрақта магнитпен пайда болатын датчик пластинасы арқылы өтетін магнит ағынының шамасын өзгертеді, ол өз кезегінде датчиктің шығысында кернеу импульсінің тізбегінің (12.13, в-сурет) пайда болуына алып келеді. Бұл импульстердің сандық жүйеде уақыт бірлігіндегі саны немесе аналықтық жүйеде импульстер кернеуінің мәні айналу жиілігіне пропорционал болатын датчик шығысындағы ақпараттық сигналдар қозғалтқыштар жұмысын басқаратын электронды аппаратқа келіп түседі.



12.12-сурет. Холл датчигінің жұмыс процесін түсіндіретін схема



12.13-сурет. Айналу жиілігін өлшеу жүйесінде Холл датчигі:
a — датчикті бекіту схемасы; *б* — тісті дисктің сыртқы түрі; *в* — датчик шығысындағы кернеу импульсі

12.5.Сыйымдылық датчиктері

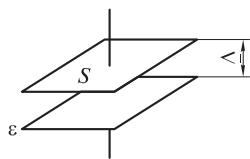
Сыйымдылық датчиктері шын мәнінде конденсатор. Қарапайым конденсатордың сыйымдылығы (12.14-сурет)

$$C = \varepsilon \frac{S}{\Delta}$$

Бұл жерде ε_a — пластиналар арасында орналасқан материалдың абсолютті диэлектрлік өтімділігі; S — пластина ауданы; Δ — пластиналар арасындағы ара-қашықтық.

Көрсетілген кез-келген параметрдің өзгеруі конденсатор C сыйымдылығының өзгерісін тудырады. Электронды схемаларды қолданып, кернеудегі сыйымдылықты түрлендіру өте оңай, ол электрондық аппарат арқылы әр түрлі құрылғыларды басқаруға мүмкіндік береді.

Сыйымдылық датчиктерін бақтағы жанармайды бір деңгейде ұстап тұру үшін немесе өлшеу үшін қолданады. Бұл жағдайда датчикті бір бірінен оқшауланған екі пластиналардан (көп жағдайда бір-бірінің ішінде орналасқан түтікше түрінде болады) жасайды.



12.14-сурет. Қарапайым конденсатор

Бұндай конденсатордың сыйымдылығы пластиналар арасында орналасқан материалдың диэлектрлік өтімділігіне тәуелді.

Олардың мәндері жанармай үшін және ауа үшін әртүрлі. Сәйкесінше конденсатор сыйым-

дылығы жанармай деңгейіне тәуелді.

Сыйымдылық датчиктерді прокат қалыңдығын жанаспай анықтау үшін прокаттау орнағында қолданады. Мұндай датчиктің жұмысы иленетін болат табағының арасында және сол парақтан алыс жатқан конденатор пластинасының сыйымдылығының өзгеруіне негізделген. Егер илеу қалың болып кетсе, пластинаға дейінгі арақашықтақ азаяды, конденсатор сыйымдылығы артады. Сыйымдылықтың өзгеруі электрондық схемамен кернеудің өзгерісіне түрленеді, ол илеу қалыңдығын реттеу механизмін жберуге және илеудің қажет қалыңдығын қалпына келтіруге мүмкіндік жасайды.

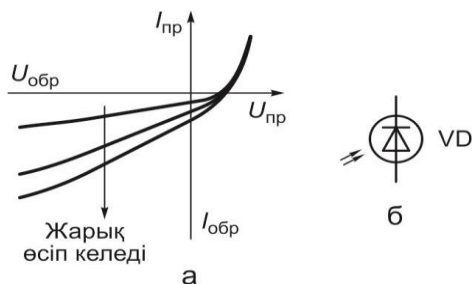
Сыйымдылықты датчикке Кеңес инженері Лев Термен қызық қолданыс тапты. 1920 ж. ол әлемде ең алғаш электрондық музыкалық аспап ойлап шығарды, ол автордың құрметіне «терменвокс» атауын алды. Ол аспапта музыкант қолы мен қадауышты антенна арасындағы сыйымдылықтың өзгеруі музыкалық дыбыстарға түрленді, әуен тоны қол мен қадауыш арасында қашықтыққа тәуелді болды. Өнертапқыш терменвоксте ойнап, көптеген елдерді аралап, концерттерімен ел алдына шығып жүрді. Кейінірек ол АҚШ-та «Телеточ» фирмасының негізін қалады, жарықтандыруды алыстан қосатын, қозғалмалы есіктерді оған жақындаған кезде автоматты түрде ашатын (көптеген дүкендерде қолданылады) сыйымдылық датчиктері бар алыстан басқаратын электронды аппараттар шығарды. Нью-Йорк қаласындағы атақты Синг-Синг абақтысын күзет жүйесімен жабдықтады.

Екінші дүние жүзілік соғыстың соңында Кеңес Одағында жер бетінен 2 м биіктікте авиоциондық бомбаны жарудың басқару жүйесі ойлап шығарылды, бомбаның зақымдаушы әрекетін бірден арттырды. Жүйе негізін бомба мен жер арасындағы сыйымдылықты өлшейтін сыйымдылықты датчик, электронды аппарат құрады.

12.6. Датчиктер негізінде электронды аппараттардың мысалдары

Фотореле. Жарықтануға байланысты қандай да бір операциялар орындайтын электрондық құрылғыны *фотореле* деп атаймыз. Мысалы, фотореле далада қараңғы батқан кезде көше шамдарын жағуды басқара алады, автокөлікте қарсы келе жатқан автокөліктің жарығы түскен кезде жақын жарықты алыс жарыққа автоматты түрде алмастыруда қолданылады. Фотореле күзет құралдарында, теледидарларды және басқа да тұрмыстық техникаларды алыстан басқару жүйелерінде кең қолданылады.

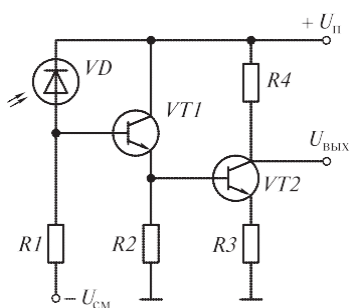
Барлық заманауи фоторелелердің негізі жарықтың артуымен кері



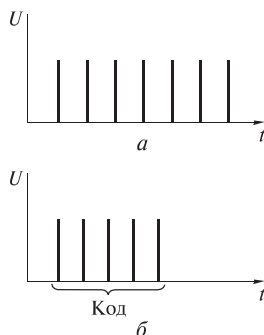
12.15-сурет. Фотодиод сипаттамасы (а) және оның графикалық белгіленуі (б)

ток $I_{обр}$ -сурет) артатын фотодиодтар болып табылады. Қарапайым фотореленің схемасы 12.16-суретте келтірілген.

VD фотодиодтың жарықтығы болмаған кезде VT1 транзистордағы эмиттерлік қайталағыш VT2 транзистор базасына R1 резистор арқылы берілетін ығысудың аз ғана кернеуі $U_{см}$ әсерінен жабық болады. Сәйкесінше транзистор да жабық және ток оның коллекторлық жүктемесі арқылы (резистор R4) ағып өтпейді. Шығысындағы кернеу $U_{вых}$ фотореле қорегінің кернеуіне жақын. Фотодиодтың жарықтануы кезінде оның кедергісі бірден азаяды, VT1 транзистор базасында оң кернеу пайда болады, ол VT2 транзистордың да ашылуына алып келеді. Резистор R4 арқылы коллекторлық ток ағып бастайды және $U_{вых}$ кернеу бірден азаяды. Егер фотореле шығысына электромагниттік релені жалғаса, ол мысалы қараңғы уақыт мезгілінде жарықтану жүйесін іске қоса алады. Сондай-ақ электромагниттік релені R4 резисторының орнына VT2 транзистор жүктемесі ретінде қосуға болады. фотореле шығысында қуатты транзисторларды қолдану, мысалы IGBT типті, электромагниттік реленің бас тартуға мүмкіндік береді.



12.16-сурет. Қарапайым фотореле схемасы



12.17-сурет. импульстік (а) және (б) модуляцияның кодоимпульсті фоторелесі

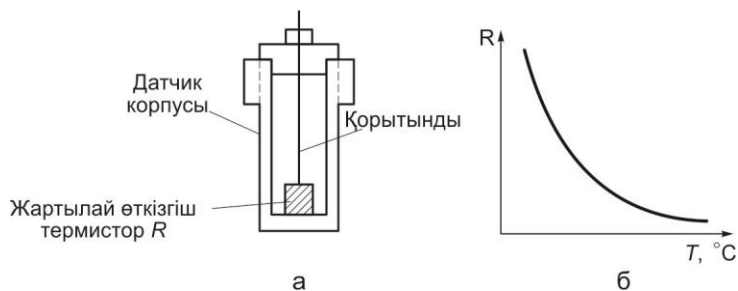
Күзет жүйелерінде және қандай да бір объектілерді қашықтықтан басқаруда әдетте фотодиод жарықдиод көмегімен жарықтанады. Жарықты импульстік модуляцияны жіберу тәсілін қолданады (12.17-сурет, *а*), ал фотореле схемасына фондық жарықтану (күндізгі жарық, электр жарығы және т.б.) ықпалымен пайда болатын тұрақты құраушыны жібермейтін фильтр орнатады. Жарықдиодтар мен фотодиодтар жарық спектрінің әр түрлі аймақтарында жасайтын болғандықтан, мұндай жүйелерде әдетте адам көзіне көрінбейтін инфрақызыл аймақ қолданылады. Егер бірдей интервалмен келе жатқан импульстардың орнына қандай да бір басқа импульстар жиынтығы және арасына бос орын (кодимпульстік модуляция – 12.17-сурет, *б*) жіберсе, онда әртүрлі командалар жіберуге болады (мысалы, теледидардың белгілі бір каналын қосу командасы, теледидар дауысын азайту немесе көбейту және т.б.). Ол үшін қабылдағыш құрылғыда фотореле шығысында кері кодтау құрылғысы тұруы керек (ереже бойынша, арнайы микросхема). Соңғы кезде арнайы микробөлшектер шығарылады, олар фотодиодты және операциондық күшейткішті біріктіреді. Мұндай микробөлшектерде қуат көзі мен фотодиодты қосуға арналған шығыстары бар.

Термореле. Құрылғыларды қызып кетуден сақтау үшін термореле қолданылады, шығыс сигнал тек арнайы датчик арқылы тіркелетін белгілі бір температурада пайда болады. Термореленің шығыс сигналы, мысалы, қызып кеткен кезде қозғалтқышты сөндіріп тастай алады, қызмет көрсетуші қызметкерге штаттық емес жағдай туралы хабарлайды. Осылай, автокөліктерде салқындатқыш сұйықтықтың температурасы көтерілген кезде немесе мотор майы қажет деңгейден асып кетсе, жүргізушінің алдыңғы қалқаншасында орналасқан қызыл индикаторлық лампа (қарапайым жарықдиод) жанады. Жоғары дәлдікті өлшеу аспаптарының қатарында, мысалы, сандық жиілік өлшегіште, бөлек бөліктерінің температурасын тұрақты ұстап тұру қажет. Ол үшін термостат қарастырылған, оның ішіне тұрақты температураны талап ететін аспап бөлігін салып қояды. Термостатты қыздыруды электр жылытқыш құрылғы көмегімен орындайды, ол берілген температураға жеткен кезде терморелені істен шығарады.

Термодатчиктер ретінде термопаралар және терморезисторлер қолданыла алады. Термопара екі бір-бірінен әртүрлі металдар немесе жартылай өткізгіштердің дәнекерленіп қосылуын білдіреді. Олардың бос шеттерінде (дәнекерленбеген) тұрақты токтың ЭҚК туындайды, ол дәнекерлеуші және бос шеттерінің температурасынан тәуелді.

12.18, *а*–суретте жартылай өткізгіш терморезисторы базасында кедергі коэффициентінің теріс температурасымен температура датчигі (КТК) көрсетілген.

Термореленің құрылымдық схемасы 12.19-суретте келтірілген. Реле құрамында температура датчигі (терморезистор), терморезистор ке-

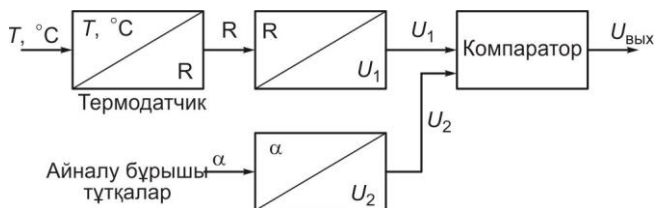


12.18-сурет. Жартылай өткізгіш терморезистор базасындағы температура датчигі (а) және оның сипаттамасы (б)

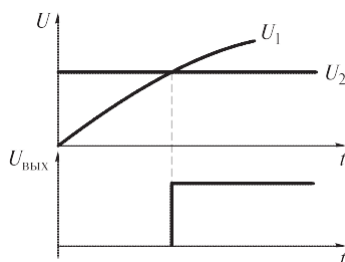
дергісін тұрақты кернеуге түрлендіргіш, термореленің іске қосылуын қамтамасыз ететін термореле және компаратордың іске қосу деңгейін анықтаушы кіреді.

Терморезистор температураның өзгерісін резистор кедергісінің өзгерісіне түрлендіреді. Тізбегіне терморезистор қосылған электрондық құрылғы кедергінің көрсетілген өзгерісін оған компаратордың бір кірісіне түсетін пропорционал кернеуге U_1 түрлендіреді. Іске қосылу деңгейін беруші айнымалы резистор түрінде болады, оның көмегімен соңында температураны анықтайтын кернеу U_2 анықталады, оның көмегімен термореленің іске қосылуы жүзеге асады. Бұл кернеу компаратордың екінші кірісіне беріледі.

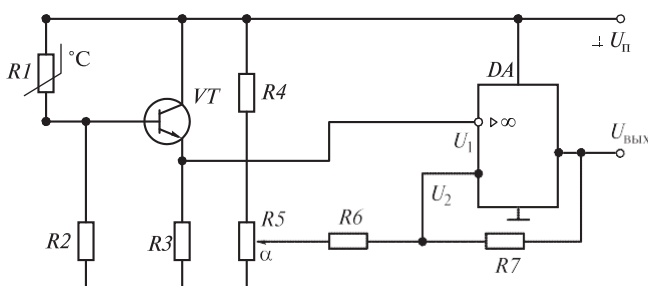
Компаратор ретінде, әдетте операциялық күшейткіштер — күшейту коэффициенті өте жоғары, зауытта дайындалған тұрақты кернеуді күшейту микросхемасы қолданылады. Олардың екі кірісі бар: инвертацияланатын (яғни кернеу полярлығын қарама-қарсы өзгертеді) және инвертацияланбайтын. Кернеу компараторының схемасында операциялық күшейткіштің шығысында тек кіріс кернеулердің қатынасына тәуелді. Мысалы, егер операциялық күшейткіште бір қуат көзінен кіріс кернеу $U_1 < U_2$ болса, шығысындағы кернеу нөлге тең болады, ал егер $U_1 > U_2$, шығысындағы кернеу жеткізу кернеуінің деңгейіне дейін жететін жоғары деңгейде болады (12.20-сурет).



12.19-сурет Электрондық термореленің құрылымдық схемасы



12.20-сурет. Компаратор кірісіндегі және шығысындағы кернеу осциллограммалары



12.21-сурет Термореле схемасы

Сонымен қатар, U_1 кернеу U_2 кернеуден көп болған кезде, нөлдік кернеуден ең жоғары кернеуге көтерілу жылдам орындалады.

Осылайша, термореленің шығысында берілген температураға қол жеткізгенде, термореле шығысында қандай да бір құрылғыны қосуға немесе сөндіруге пайдалануға болатын кернеу пайда болады.

Электрондық реле схемасының бір нұсқасы 12.21-суретте келтірілген. $R1$ және $R2$ резисторлар $VT1$ транзистордың жұмыс нүктесінің таңдауын анықтайтын кернеу бөлгішін тудырады, ол эмиттерлік қайталағыш режимінде қызмет атқарады. Температураның өзгеруі термо-резистор кедергісінің $R1$ өзгерісіне алып келеді, сәйкесінше транзистор режимі де өзгереді. Транзистор эмиттерінен кернеу операциялық күшейткіш DA инвертациялайтын кірісіне түседі. Оның екінші кірісіне термореленің іске қосылуына сәйке келетін, кернеу деңгейін беретін болып саналатын, айнымалы резисторден $R5$ кернеу беріледі. U_1 кернеуі U_2 кернеуінен үлкен болған кезде операциялық күшейткіш шығысында қандай да бір құрылғыны қосуға немесе сөндіруге пайдалануға болатын кернеу пайда болады.

Бақылау сұрақтары

1. Датчиктердің статикалық және динамикалық сипаттамалары нені білдіреді?
2. Генераторлық датчиктердің параметрлік датчиктерден айырмашылығы неде?
3. Потенциометриялық датчиктердің жұмыс принципі түсіндіріңіз.
4. Индуктивтік датчиктердің артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
5. Холл датчигі қалай жұмыс істейді?
6. Сыйымдылықты датчиктерді пайдалану мысалын келтіріңіз.
7. Фатореле жұмыс принципі түсіндіріңіз.
8. Термореледе қандай датчиктерді қодануға болады?

ЭЛЕКТРОНДЫ АППАРАТТАРДАҒЫ ЛОГИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ИМПУЛЬСТІК ҚҰРЫЛҒЫЛАР

13.1. Ақпаратты берудің цифрлық әдістері туралы жалпы мәліметтер

Соңғы уақытта аналогты құрылғыдан цифрлық құрылғыға өту беталысы байқалды. Цифрлық құрылғылар іс жүзінде аналогты құрылғылармен шешілетін барлық міндеттерді шешуге мүмкіндік береді және сонымен бірге өндірісте неғұрлым қарапайым, сенімді және арзан болып табылады.

Әсіресе цифрлық әдістер ақпарат беру құрылғыларында, әртүрлі нысандармен басқару жүйелерінде, автоматикада кеңінен қолданылады.

Сонымен, қазіргі таңда байланыс жүйелерінің цифрлық әдістерге өтуі жүзеге асуда. Спутниктік телевидение де цифрлық режимде жұмыс істейді. Таспалы фотоаппараттардың орнына цифрлық, тіпті ұялы телефон аппараттарына тұрғызылған фотоаппараттар пайда болды. Цифрлық ақпаратты есте сақтау оңай, компьютерлерге және DVD-рекордерлерге енгізуге болады.

Кез келген аналогты сигналдарды, мысалы, адам сөзін қажет жағдайда қайтадан аналогты сигналға түрлендіруге болатын цифрлық кодпен берілген дискреттік сигналдарға түрлендіруге болады. Цифрлық әдістер іс жүзінде кез келген түрдегі сигналдарды түрлендіруге, мысалы ешқандай тербеліс контуринсыз синусоидалық кернеуді алуға мүмкіндік береді. Цифрлық әдістердің ерекшелігі - онда бізге үйреншікті ондық цифрлар пайдаланылмайтындығында. Оларды есте сақтау және жоғарғы сенімділікпен тарату қиын болар еді. Тек екі цифрды пайдалану неғұрлым ыңғайлы: нөл және бір. Екілік деп аталатын есептеудің мұндай жүйесінде нөл цифрына кернеудің болмауы, ал бірге – кернеудің болуы сәйкес келеді және қандай деңгейде екендігі бәрібір.

Іс жүзінде есептеудің екілік жүйесінде барлық заманауи компьютерлер жұмыс істейді, ал кейбір ғалымдардың ойынша адамның миы да екілік жүйеде жұмыс істейді.

Цифрлық құрылғылардағы транзисторлар негізінен кілттік деп аталатын режимде жұмыс істейді: транзистор толығымен жабық (коллектор тогы нөлге тең) немесе қаныққан режимде болады (коллектор тогы ең жоғары).

13.2. Негізгі логикалық элементтер

Барлық дерлік цифрлық құрылғылардың негізін логикалық элементтер құрайды. Олардың ішінен басты үшеуін ажыратуға болады: ЕМЕС, НЕМЕСЕ, ЖӘНЕ. Олардың шартты белгіленулері 13.1-суретте көрсетілген.

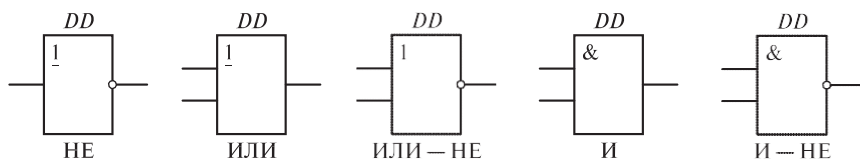
ЕМЕС логикалық элементі $Q = A$ (оқылуы: « A емес») функциясын жүзеге асыруға мүмкіндік береді немесе $Q = 1 - A$, мұндағы A — кіріс мән; Q — логикалық элементтің шығыс мәні. ЕМЕС элементінің кіріс және шығыс мәндерінің байланысы 13.1-кестеде көрсетілген.

ЕМЕС логикалық элементі кілттік режимде жұмыс істейтін бір транзистордың базасында орындалады. Әдетте логикалық элементтер әрқайсысы әртүрлі логикалық элементтердің белгілі бір санынан тұратын микросхема түрінде өнеркәсіпте қойылады.

НЕМЕСЕ логикалық элементі $Q = A + B$ логикалық қосу функциясын жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бұл элемент үшін кіріс және шығыс мәндерінің байланысы 13.2-кестеде көрсетілген.

НЕМЕСЕ операцияларын орындау үшін енді екі транзистор қажет. Олар дайын микросхема түрінде жеткізіледі.

НЕМЕСЕ логикалық элементінің орнына көбінде НЕМЕСЕ—ЕМЕС элементтері пайдаланылады (13.1-суретті қараңыз). Олар өндірісте жеңіл және НЕМЕСЕ элементінің қарама қарсы операцияларын орындайды (яғни, НЕМЕСЕ элементінің шығысында бір болғанда, НЕМЕСЕ—ЕМЕС элементінің шығысында нөл болады және керісінше). НЕМЕСЕ—ЕМЕС элементінің кіріс және шығыс мәндерінің байланысы 13.3-кестеде көрсетілген.



13.1-сурет. Логикалық элементтердің шартты белгілері

13.1-кесте

A	Q
0	1
1	0

13.2-кесте

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

13.3-кесте

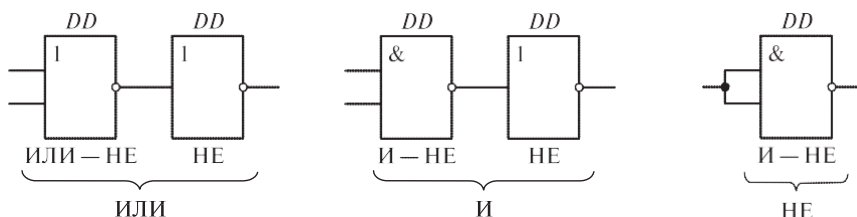
A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

13.4-кесте

A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

13.5-кесте

A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



13.2-сурет. Басқа логикалық схемаларды алуға мүмкіндік беретін логикалық элементтердің байланысуы.

ЖӘНЕ логикалық элементі $Q = AB$ логикалық көбейту операцияларын жүзеге асыруға мүмкіндік береді (13.4-кесте).

ЖӘНЕ операцияларын орындау үшін екі транзистор керек. Тек бір транзисторда шығысындағы сигнал ЖӘНЕ элементі сигналына қарама қарсы болатын (13.5-кесте) ЖӘНЕ-ЕМЕС элементі жүзеге асады (13.1-сурет).

ЖӘНЕ және ЖӘНЕ-ЕМЕС логикалық элементтері өнеркәсіпте арқайсысы құрамында логикалық элементтердің белгілі бір саны бар микросхеманың құрамында шығарылады. Логикалық элементтерді сәйкес түрде байланыстыра отырып, басқа логикалық схемаларды алуға болады (13.2-сурет).

13.3. Логикалық міндеттерді шешудің негізгі ережелері

Қарастырылған логикалық элементтердің көмегімен әртүрлі логикалық міндеттерді шешуге болады, мысалы қандай да белгілі бір кіріс шарттарын орындау кезінде қозғалтқышты немесе ракетаны іске қосуды.

13.6-кестеде көрсетілген кіріс сигналдардың тек белгілі бір амалдарында схеманың шығысындағы кернеу логикалық бірлікке тең болады делік. Берілген тапсырманы шешу логикалық алгебраны (Буль алгебра-

13.6-кесте

A	B	C	Q	ABC
0	0	0	1	ABC
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	1	0	
1	0	0	0	
1	0	1	0	
1	1	0	0	
1	1	1	0	

сы) пайдалануда айтарлықтай жеңілдейді. Шығыс мәні $Q = 1$ тең болатын жолдарда A , B және C кіріс сигналдарын көбейту керек. Егер кіріс мәні (мысалы, A) нөлге тең болса, онда оның теріс мәнін алады (A).

Алынған өрнектерді $Q = 1$ кездегі барлық жолдары бойынша қосады. Нәтижесінде логикалық элементтердің байланысу схемасының құрылуына сәйкес теңдеуді алады.

Келтірілген мысалдағы теңдеу келесі түрге келеді:

$$Q = ABC + ABC.$$

Оны жүзеге асыру үшін үш ЕМЕС элементі, сондай-ақ ЖӘНЕ логикалық көбейту элементтері және НЕМЕСЕ логикалық қосу элементтері керек. Көп жағдайда логикалық алгебра шарттарын қолданып алынған шешімді жеңілдетуге болады. AB жақшаның сыртына шығарамыз және $Q = AB(C + C)$ аламыз. Бірақ жақшаның ішіндегі өрнек әрдайым бірге тең болады, сондықтан соңғы шешім әлдеқайда оңай: $Q = AB$.

Осылайша екі ЕМЕС элементі және бір ЖӘНЕ элементі қажет (13.3-сурет). C кірісі міндеттерді шешуде іске қосылмаған, өйткені ондағы кез келген сигнал Q шығыс мәнге әсер етпейді.

Логикалық алгебра шарттарын қарастырамыз. Олар көбінде кәдімгі алгебра шарттарымен сәйкес келеді, бірақ кейбір ерекшеліктері бар.

Ауыстырымдылық заңы:

$$A + B = B + A;$$

$$AB = BA.$$

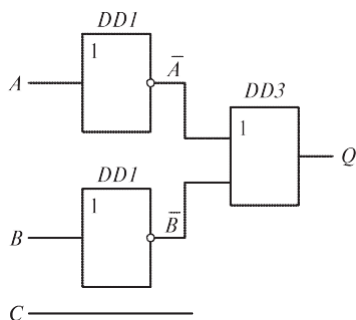
Терімділік заңы:

$$(A + B) + C = A + (B + C);$$

$$(AB)C = A(BC).$$

Үлестіру заңы:

$$A(B + C) = AB + AC;$$



13.3-сурет. Міндеттерді шешуге арналған логикалық элементтердің байланысу схемасы

$A + BC = (A + B)(A + C)$ — кәдімгі алгебра заңдарынан ерекшеленеді. Де Морган заңы:

Бірігу заңы:

$$AB + AB = A.$$

Жұтылу заңы:

$$AB + A = A.$$

Бұдан басқа келесі ара қатынасты ескеру керек:

$$A + 1 = 1; A + A = 1;$$

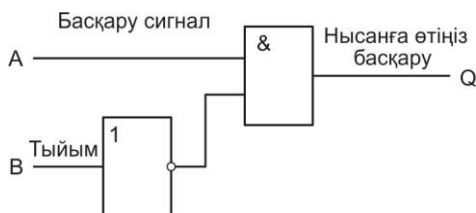
$$A + 0 = A; AA = 0;$$

$$A1 = A; A + A = A;$$

$$A0 = 0; AA = A.$$

Электрлік аппараттар жүйесінде логикалық алгебра элементтерін іс жүзінде пайдалану мысалы ретінде тыйым салу схемасын қарастырамыз. Онда тыйым салудың болмауы кезінде ғана қандай да бір нысанмен басқару мүмкіндігі қарастырылған.

Егер тыйым салу болса, онда кірісіне кез келген сигнал бергенде (нөл немесе бір), шығысында бар уақытта логикалық нөл болады, яғни басқару мүмкін емес. Схемада тек екі логикалық элемент пайдаланылады: ЕМЕС және ЖӘНЕ (13.4-сурет). Тыйым салу схемасы $Q = \overline{BA}$



13.4-сурет. Тыйым салу схемасы

функциясын жүзеге асырады. Мұндай түрдегі схемалар әскери істерде қолданылады. Мысалы, жоғарыдағы бастық ракетаны іске қосуға рұқсат бере алады немесе тыйым сала алады, бірақ ол өзі жібермейді.

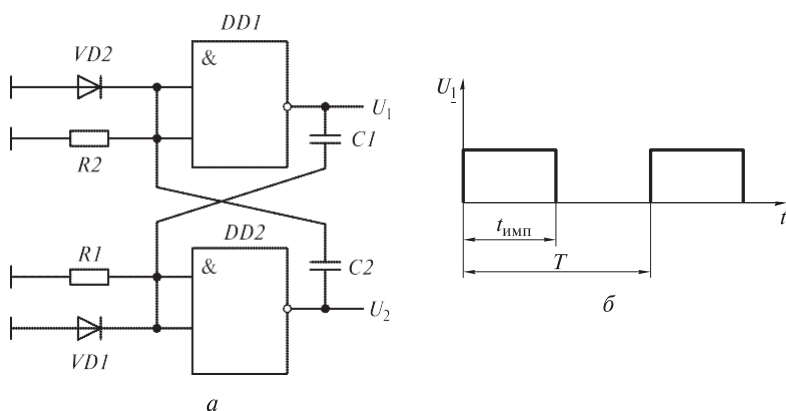
13.4. Электрондық құрылғылар негізінде логикалық элементтер

Логикалық элементтер базасында әртүрлі көптеген электрондық құрылғылар жасалуы мүмкін, әсіресе импульсті генераторлар. **Мультидирілеткіш** деп аталатын осындай генераторлардың бірін қарастырамыз. Ол тікбұрыш түріндегі импульстер қатарын өндіруге арналған және ЖӘНЕ-ЕМЕС екі логикалық элементтерінің көмегімен жасалуы мүмкін (13.5-сурет).

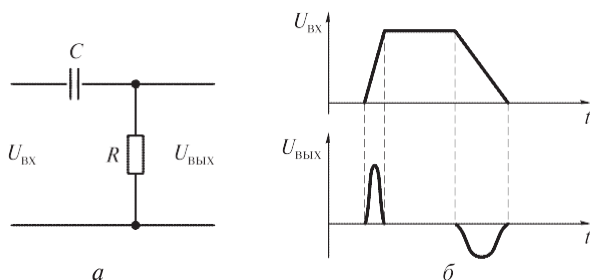
Мультидирілеткіш қосылғаннан кейін логикалық элементтерінің бірінде мысалы *DD1* логикалық бірлік пайда болады делік, яғни қандай да бір U_1 кернеу. Бұл кернеу *C1*, *R1*, тізбегіне беріледі, нәтижесінде *C1* конденсатордың зарядтауы басталады. Зарядтау тоғы

DD2 екінші логикалық элементтің біріккен кірістерінде элементтің шығысында логикалық нөлдің пайда болуын қамтамасыз ететін $U_{\text{кр}2} = \frac{I_1 R_1}{1 + \beta}$ кернеуді тудырады.

Конденсатордың зарядтау тоғы экспоненциалды заң бойынша кемитін болғандықтан, ерте ме кеш пе $U_{\text{кр}2}$ кернеу қабылданатын логикалық бірлік деңгейінен аз болған кезде және ЖӘНЕ — ЕМЕС элементінің жұмыс ережесіне (13.5-кестесін қараңыз) сәйкес оның шығысында логикалық бірлік сигнал пайда болады. Осы кезде *DD2*, *C2*, *R2* шығыс



13.5-сурет. Мультидирілеткіш схемасы (а) және олармен қалыптасатын импульстер (б)



13.6-сурет. Дифференциялаушы тізбектің схемасы (а) және оның кірісі мен шығысындағы кернеудің уақыт диаграммалары (б)

тізбегінің «жер» арқылы $C2$ конденсаторының зарядталуы басталады. $DD1$ кіріс элементінде логикалық бірлік, ал шығысында логикалық нөл шығады. Осы уақыттан бастап $C1$ конденсаторы $VD1$ диод арқылы бәсеңдей бастайды. Қандай да бір уақыт өткеннен кейін $DD1$ кірісіндегі кернеу логикалық бірлік шегінен аз болғанда, элемент шығысында логикалық бірлік болуы жағдайына қайтып келеді.

Сипатталған процестердің нәтижесінде мультидірілдеткіш шығыстарында тік бұрышты үлгідегі кернеу импульстері шығады. Егер конденсаторлардың бәсеңдеу тізбегі біркелкі болса, яғни $R_1 C_1 = R_2 C_2$, онда импульстер қуыстылығы $Q = T / t_{\text{имп}} = 2$. Мұндағы T — импульстар жолы кезеңі; $t_{\text{имп}}$ — импульс ұзақтығы (13.5, б-сурет).

Мультидірілдеткіштер радиолокаторларда, теле-визиялық қабылдағыштарда, автомобильді электрондық құрылғыларда, өлшегіш аппараттарда кеңінен қолданылады. Мультидірілдеткіш көмегімен шамның, дыбыстық сигналдың және т.б. периодты қосылуларын қамтамасыз етуге болады.

Кейде «нашар» импульс формасынан үлкен ұзақтығына (мысалы, кедергісі бар басқарушы сигналдардың) қатысты оның алдыңғы бағытын белгілеу қажеттілігі туады. Мұндай жағдайларда дифференциялаушы тізбектерді жиі пайдаланады (13.6-сурет). Ол үлкен емес сыйымдылықты конденсатор мен резистордан тұрады. Сыртқы жүктемені ескермей, шығысындағы кернеуді есептеуге болады:

Әдетте $U_{\text{кпр}} \gg U_{\text{шығ}}$, ал $U_C = U_{\text{кпр}} - U_{\text{шығ}}$ болғандықтан, $U_C \sim U_{\text{кпр}}$ деп жорамалдауға болады. Онда $I \sim C \frac{dU_{\text{кпр}}}{dt}$. Демек, қажетті дәлдікпен шығыс кернеу келесі формула бойынша анықталады:

$$U_{\text{шығ}} = RC \frac{dU_{\text{кпр}}}{dt}$$

Дифференциялаушы тізбектің қалыпты жұмысы үшін $RC \ll t_{\text{имп.кпр}}$ болуы қажет.

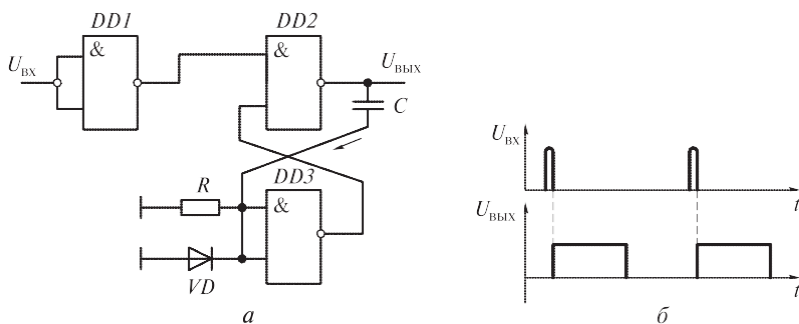
Егер дифференциалаушы тізбектің шығысына тек бір оң импульс

қажет болса, бұл шығысына диодтың теріс импульсті кесетін шектеу тізбегін жалғау керек.

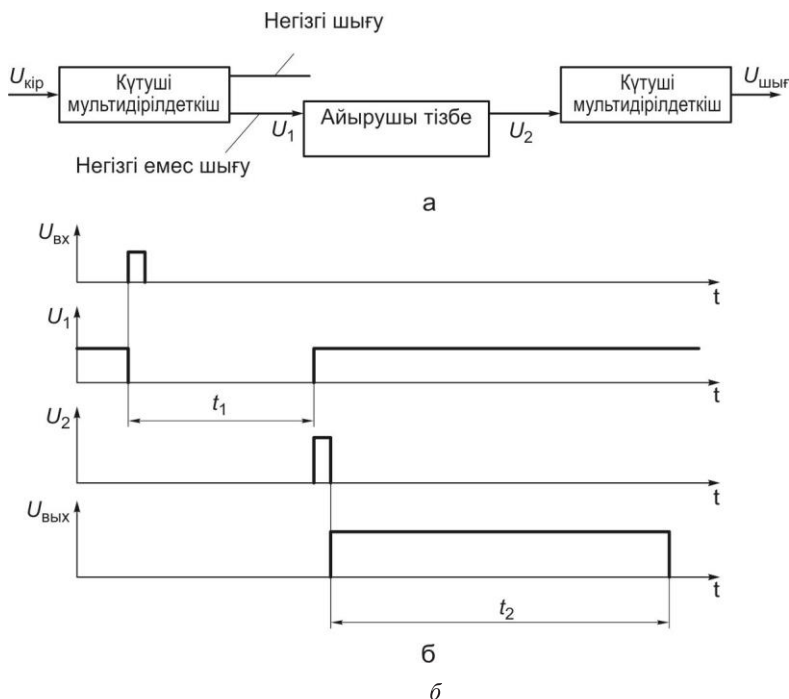
«Бірдірілдеткіш» деген атауға ие құрылғы бар. Ол тек кірісіне импульспен іске қосуды беру кезінде бірлік импульстерді түрлендіреді (ұзындығын қарапайым мультидірілдеткішегідей өзгертуге болатын). Осыдан бұл құрылғының тағы бір атауы— «кідіру мультидірілдеткіші» (импульсті іске қосуды күтетін мультидірілдеткіш). Оның схемасы 13.7, а-суретте келтірілген.

Мультидірілдеткіш үш ЖӘНЕ-ЕМЕС логикалық элементінен тұрады. Оны іске қосу үшін кірісіне оң импульс беру керек. Бастапқы күйінде кірісінде іске қосушы сигнал жоқ, яғни $DD1$ элементінің екі біріккен кірістерінде логикалық нөлдер, ал шығысында логикалық бірлік. Логикалық бірлікке сәйкес келетін кернеу шығысында нөл болатын $DD2$ элементінің кірістерінің біреуіне шығарылады, оның екінші кірісінде логикалық бірлік (логикалық бірлікке сәйкес кернеу) болғандықтан $DD3$ элементі шығысынан тікелей түседі. $DD3$ элементінің кірістерінде бұл уақытта логикалық нөлдер болады. Сипатталған жағдай тұрақты болып табылады.

Егер мультидірілдеткіштің кірісіне оң импульс берсе, онда $DD1$ элементі шығысында логикалық нөл шығады. Ол (жоғарғы, оған сәйкес кернеу) $DD2$ логикалық элементінің кірістерінің біреуіне келіп түседі. ЖӘНЕ-ЕМЕС элементінің ережесіне сәйкес (13.5-кестесін қараңыз) $DD2$ шығысында логикалық бірлік шығады. C конденсаторының зарядталуы басталады, R резистор арқылы ток ағады және $DD3$ элементі шығысында $DD2$ элементінің бір кірісіне келіп түсетін логикалық нөл шығады. $DD2$ осы шығысының арқасында логикалық бірлік мультидірілдеткіштің кірісіне импульстің жіберілуі тоқтағаннан кейін де сақталады. RC тізбегінің тұрақты уақытымен анықталатын уақыт өткеннен кейін $DD3$ элементінің кірісінде логикалық нөл, ал шығысында логикалық бірлік шығады. Ол $DD2$ элементінің бір кірісіне келіп түседі



13.7-сурет. Кідіру мультидірілдеткішінің схемасы (а) және оның кірісі мен шығысындағы кернеулердің уақыт диаграммалары (б)



13.8-сурет. Қосылуында уақыт кідірісі бар құрылғының құрылымдық схемасы (а) және оның кернеуінің уақыт диаграммалары (б)

және $DD2$ шығысында логикалық нөл шығады. Демек кідіру мультидірілдеткішінің кірісіне келетін импульс оның шығысында ұзақтығы RC тізбегінің тұрақты уақытымен анықталатын тікбұрышты импульстердің пайда болуын тудырады (13.7, б-сурет).

Кідіру мультидірілдеткіші пайдаланатын автоматика құралдары белгіленген уақытқа мультидірілдеткіш кірісіне қысқа уақыттық импульс кернеуін беру кезінде схема параметрлерімен анықталатын қандай да бір құрылғыны (есік қоңырауын, сиренаны, пәтер кірісіндегі жарық шамын) қоса алады. Екі кідіру мультидірілдеткішін пайдалану кезінде кіріс импульсінен кейін бірден емес, белгілі бір уақыт өткеннен кейін қандай да бір периодқа басқару нысандарын қосуды қамтамасыз ететін құрылғыны дайындауға болады. Мұндай құрылғының құрылымдық схемасы және оның кернеуінің уақыт диаграммалары 13.8-суретте көрсетілген.

Кірісіне іске қосушы импульстерін беру кезінде U_{BX} бірінші кідіру мультидірілдеткішінің негізгі емес (инверстік) шығысындағы кернеу нөлге тең болады. Бірінші мультидірілдеткіш параметрлерімен анықталатын t_1 уақыт өткеннен кейін оның негізгі шығысында (инверстік) дифференциалды тізбекке жіберілетін секірмелі түрдегі U_1 кернеуі

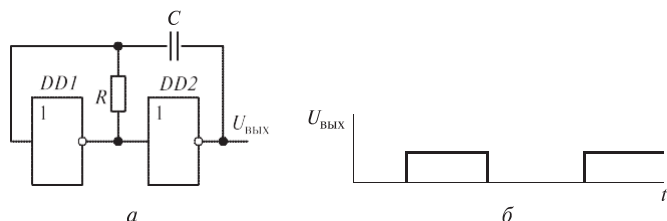
шығады. Соңғысы бұл кернеуден екінші кідіру мультидірілдеткішін іске қосатын U_2 импульсі түріндегі оның алдыңғы бағытын белгілейді. $U_{\text{вых}}$ кернеуі екінші мультидірілдеткіш шығысынан басқару нысанына беріледі. Басқару сигналының ұзақтығы t_2 екінші мультидірілдеткіш параметрлерімен анықталады.

Тікбұрышты импульстер генераторлары ЕМЕС екі логикалық элементтерінің базасында құрылады (13.9-сурет). Мұндай генератордың жұмыс қағидаларын қарастыру кезінде қандай да бір уақыт аралығында $DD1$ элементі кірісінде логикалық бірлік, ал сәйкесінше шығысында логикалық нөл, ал $DD2$ элементінің шығысында — логикалық бірлік, яғни қандай да бір оң кернеу болады деп есептейміз. Бұл кернеу R резистор арқылы C конденсаторының зарядтауын қамтамасыз етеді. R резистордағы оң кернеу шығысындағы кернеумен генератордың күйін сақтайтын $DD1$ элементінің кірісіне түсірілген болады.

Конденсаторды зарядтауына қарай ток R резистор арқылы кернеуі логикалық нөл деңгейіне дейін төмендеу кезіндегі мәнге дейін азаяды. Бұл кернеу $DD1$, элементінің кірісіне берілетіндіктен, бұл элементтің шығысында логикалық бірлік шығады, ал генератор шығысындағы кернеу нөлге тең болады. C конденсаторы бәсеңдей бастайды. Оның сол түйінінде (схема бойынша) логикалық бірлікке сәйкес оң шама пайда болғанша $DD1$ элементі шығысында логикалық бірлік сақталып тұрады.

Конденсаторда логикалық бірлікке сәйкес келетін кернеудің пайда болуынан кейін $DD1$ элементі өзінің күйін өзгертеді және біз қарастырған процесс қайталанатын болады. Соңында генератордың шығысында тік бұрышты импульстер болады. R резисторының кедергісін және C конденсаторының сыйымдылығын өзгерте отырып генерацияланатын импульс ұзақтығын реттеуге болады.

Автоматиканың әртүрлі схемаларында, коммуникациялы цифрлық аппаратураларда, есептегіш техникада екі мәннің бірін (шығысында — логикалық нөл немесе логикалық бірлік) барынша ұзақ сақтай алатын ауыстырып-қосқыш құрылғысы — **триггерлер** кеңінен қолданылады



13.9-сурет. ЕМЕС логикалық элементтер базасындағы импульстер генераторының схемасы (а) және оның шығысындағы кернеудің уақыт диаграммасы (б)

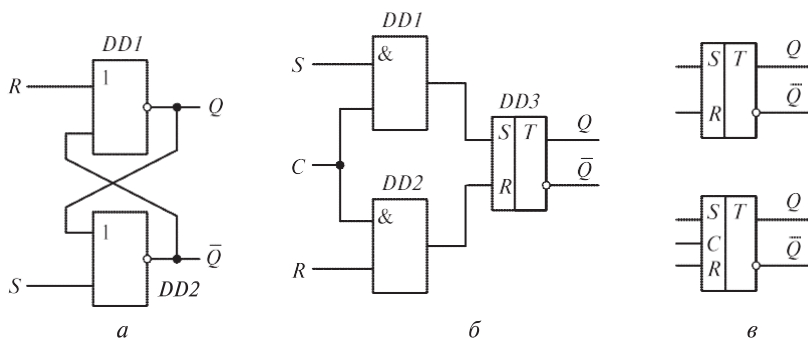
және ол сыртқы сигналдар бойынша бір күйден екіншісіне секіrmелі түрде ауысып отырады.

RS-триггерді (13.10, а, в-сурет) қарастырамыз. Ол НЕМЕСЕ-ЕМЕС екі логикалық элементтерден тұрады және екі шығысы бар: негізгі Q және негізгі емес $\bar{Q}$. Бұл шығыстарында әрдайым сигналдар қарама қарсы, яғни егер негізгі шығысында логикалық бірлік болса, онда негізгі емес шығысында – логикалық нөл және керісінше. Егер S кірісіне логикалық бірлікті берсек, онда НЕМЕСЕ-ЕМЕС элементінің жұмыс ережесіне сәйкес $DD2$ шығысында $DD1$ элементінің кірісіне келіп түсетін логикалық нөл шығады, нәтижесінде $DD1$ шығысында логикалық бірлік орнайды. S белгісі ағылшынның set — орнату сөзінен шыққан. Егер логикалық бірлік сигналын R кірісіне берсек, онда Q негізгі шығысында логикалық нөл шығады. R белгісі ағылшынның reset — түсіру сөзінен шыққан.

Көптеген электрондық құрылғыларда, мысалы компьютерлерде жүздеген және тіпті мыңдаған триггерлер есептеледі. Олардың жұмысын ұйымдастыру үшін олардың барлығы бірдей уақытта жаңа күйге өткені дұрыс.

Мұндай шарттарды қанағаттандыратын триггерлерді синхронды деп атайды. Синхронды RS-триггердің (13.10, б, з-сурет) R және S кірістерінен басқа қосымша синхрондау кірісі C бар. Оның күйіндегі кез келген өзгерістер C кірісінде логикалық бірліктің болуымен жүзеге асады. 13.10, б-суретте көрсетілгендей, RS-триггер схемасы RS-триггерден басқа RS-триггерге C синхрондау кірісінде логикалық бірлік болғанда ғана R және S кірістерінен сигналдарды жіберетін екі ЖӘНЕ логикалық элементінен тұрады.

Ең күрделісі JK-триггер болып табылады. Онда J кірісі RS-триггерінің S кірісіне, ал K кірісі — R кірісіне сәйкес келеді. Егер J және K кірістерін біріктірсе, онда логикалық бірлік түріндегі әрбір кіріс сигнала-



13.10-сурет. RS-триггердің схемасы (а), синхронды RS-триггердің схемасы (б) және олардың шартты белгілері (в, з)

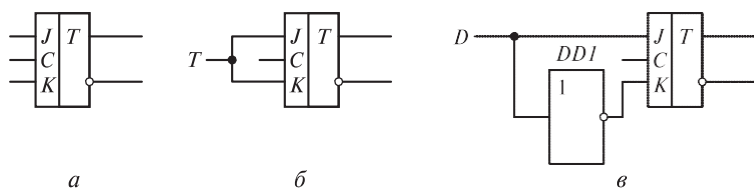
лы шығысындағы сигналды өзгертетін болады (нөлден бірлікке немесе бірліктен нөлге). Триггердің мұндай жұмыс режимі есептік деп аталады. *JK*-триггердің құрамына *RS*-триггермен салыстырғанда, логикалық элементтердің көп саны кіреді. *JK*-триггерлері және олардың түрлендірулері дайын микросхема түрінде шығарылатын болғандықтан, олардың айтарлықтай күрделі құрылымын қарастырудың маңызы жоқ. Синхрондау кірісі бар *JK*-триггер синхронды *JK*-триггер деп аталады (13.11, а-сурет).

Өнеркәсіпте сонымен бірге *T* бір есептік кірісі бар *T*-триггерлер де шығарылады (13.11, б-сурет). Бұл кіріске келіп түсетін әрбір логикалық бірлік триггердің шығысындағы сигналды қарама қарсыға өзгертеді (нөлді бірлікке немесе бірлікті нөлге). *T* мәні ағылшынның toggle — құлау сөзінен шыққан.

D-триггері (ағылшынның delay — кідіру сөзінен шыққан) оның синхрондау кірісіне логикалық бірлік келіп түскеннен кейін ғана шығысына логикалық нөл немесе бірлік келіп түседі. Оның құрамына стандартты синхронды *JK*-триггер және ЕМЕС логикалық элементі кіреді (13.11, в-сурет).

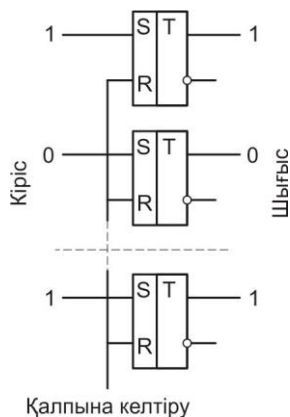
Триггерлерді пайдалану мысалы ретінде екілік сандарды есте сақтауға арналған құрылғы жад регистрі схемасын қарастырамыз. Мұндай регистрлер есептеу техникаларында, байланыс жүйелерінде, автоматика схемасында қандай да бір құрылғының қосылу алгоритмін есте сақтау үшін қолданылады. Жад регистрінде

(13.12-сурет) барлық *R* кірістері біріктірілген *RS*-триггерлер пайдаланылады. *R* біріккен кірісіне логикалық бірлік берілуі барлық негізгі шығыстарында логикалық нөл пайда болуын қамтамасыз етеді. Егер енді регистр кірісіне триггерлер санына тең разрядтар санымен екілік санды берсе, онда кірісіне бірлік келіп түсетін триггерлер өзінің күйін өзгертеді және олардың негізгі шығыстарында логикалық бірлік сигналы пайда болады. Осылайша регистр шығысында кірісіне берілген сан шығады. Кіріс сигналын алып тастағаннан кейін екілік сан регистр шығысы жадында қалып қояды, яғни оның есте сақтауы орын алады. «Түсіру» кірісіне логикалық бірліктің берілуі жад регистрін барлық шығыстарында нөл болатын бастапқы күйіне алып келеді.

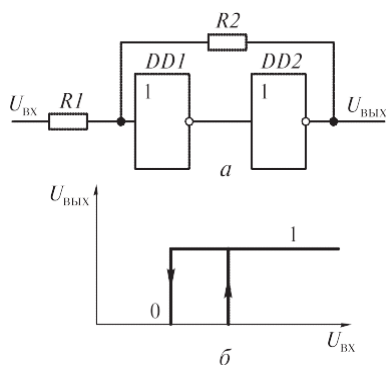


13.11 сурет. *JK*-триггердің түрленулері:

a — синхронды *JK*-триггер; *б* — *T*-триггер; *в* — *D*-триггер



13.12-сурет. Жад регистрі схемасы



13.13-сурет. Шмит триггерінің схемасы (а) және оның сипаттамасы (б)

Автоматика схемаларында *RS*-триггерлер оның *S* кірісіне қысқа мерзімді сигнал беру кезінде қандай да бір атқарушы құрылғының (мысалы, электрлі қозғалтқыш) қосылуын қамтамасыз ететін аралық құрылғы ретінде қолданылады. Ажыратылуы *R* кірісіне қысқа мерзімді сигнал бергеннен кейін жүзеге асады. Қуатты нысандармен басқару үшін триггердің шығысында күшейткіш болуы керек. Мұндай схемада триггер техникада кеңінен қолданылатын релелік қосқыштарды ауыстырады.

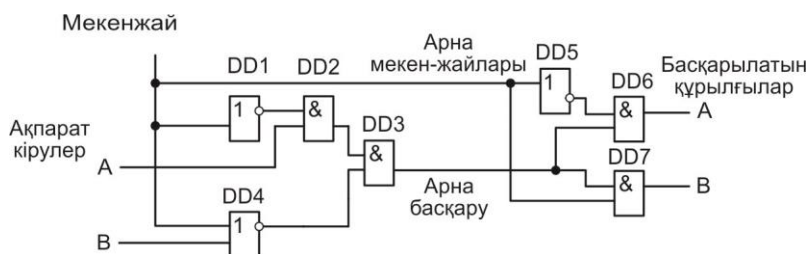
Триггерлердің өзге қызықты түрі Шмит триггері болып табылады. Ол екі тізбектей қосылған *ЕМЕС DD1, DD2* логикалық элементтерден (олар *ИӘ* элементін шығарады) және екі резистордан *R1, R2* тұрады (13.13, а-сурет). Кірісіне кернеу береміз және оны ақырын жоғарылатамыз. Ол логикалық бірлік деңгейіне жеткен кезде *ИӘ* логикалық элементі өзінің күйін өзгертеді және оның шығысында логикалық бірлік сигналы пайда болады. Енді кіріс кернеуін азайтамыз. *DD1* логикалық элементінің кірісіне триггердің шығысынан қосымша кернеу келіп түседі, шығысында нөлдік кернеуге қайтып келуі кірісіндегі аз кернеу кезінде жүзеге асады. Триггер сипаттамасы (13.13, б-сурет) гистерезис тұзағын еске салады. Шмит триггерлері механикалық түйіспесінен кернеудің жеткізілуімен әртүрлі схемаларда түйіспенің дірілдеуінің неғұрлым нақты іске қосылуы мен құбылыстарын жою үшін пайдаланылады.

Қандай да бір нысандармен қашықтықтан басқаруды қамтамасыз ету жиі қажет болады. Сонымен бірге байланыстың жеке каналын пайдалану кез келген басқару тізбектері үшін көп жағдайда орынсыз. Сондықтан бірнеше командалар беруге болатын байланыстың бір каналын

пайдалануға мүмкіндік беретін арнайы әдістер дайындалды. Басқарудың әрбір тізбегіне екілік сан түріндегі өзінің адресін меншіктейді. Бұл адресі арнайы жүйеге енгізу басқарудың сәйкес тізбегін бірыңғай байланыс тізбегі каналына қосады.

13.14-суретте байланыс каналына олардың сәйкес *A* және *B* адрестік нөмірлеріне басқару құрылғыларын қосуға мүмкіндік беретін қарапайым жүйенің схемасы көрсетілген. Жүйеде бірразрядты адрес қарастырылған (0 немесе 1). Егер 0 адресі енгізілсе, онда ЕМЕС *DD1* логикалық элемент шығысында ЖӘНЕ *DD2* логикалық элементінің бір кірісіне берілетін логикалық бірлік шығады. *DD2* екінші кірісі *A* каналының ақпарат көзімен, ал шығысы НЕМЕСЕ *DD3* логикалық элементімен байланысқан. *DD3* шығысындағы және ақпарат қабылдағыш құрылғыға келіп түсетін сәйкес басқару каналындағы *A* сигналы ақпараттық кірісіндегімен бірдей болады (логикалық нөл немесе бірлік). Адрес каналы бойынша берілетін 0 адресі ЕМЕС *DD5* логикалық элементі шығысында 1 сигналына айналады және ЖӘНЕ *DD6* логикалық элементі *A* шығысындағы құрылғыны *A* ақпараттық кірісімен байланыстырады. Егер 1 адресі енгізілген болса, онда *B* ақпараттық кірісі *B* шығысымен байланысатындығына көз жеткізу қиын емес. Жіберілген сигналды сақтау қажет болған жағдайда шығысына бірінші логикалық бірлік кезінде қажетті құрылғыны қосатын, ал екіншіде – оны ажырата-тын есептік триггерлерді қоюға болады

Енді екіразрядты адрес кезінде (00, 01, 10, 11) төрт кірісті басқару тізбектерін өзінің шығыстарымен байланысуын орындауға болады. Әрине, сонымен бірге барлық жүйе жұмысын қамтамасыз ететін логикалық элементтер саны көбейеді. Мұндай жағдайдағы өндіріс үшін құрамына әртүрлі логикалық элементтер кіретін арнайы микросхемалар (мультиплексорлар және демультимплексорлар) шығарылады. Мұндай микросхемаларды пайдалану қағидалары 13.15-суретте түсіндіріледі. Қарастырылып отырған жүйеде төрт ақпараттық сигнал (*A*, *B*, *C*, *D*) және екіразрядты екілік адрес пайдаланылады. Жіберуші жағындағы мультиплексор адреске сәйкес ақпарат көзі бар бір ақпараттық кірісін



13.14-сурет. Басқарудың екі каналды жүйесінің схемасы



13.15-сурет. Мультиплексорды және демultipлексорды пайдаланушы басқару жүйесінің схемасы

ақпараттық каналға қосады. Қабылдағыш жағында ақпараттық каналдан келетін сигнал және адрес каналынан адрес келіп түсетін демultipлексор болмайды. Алынған адреске сәйкес демultipлексор ақпараттық каналды A, B, C, D шығыстарының бірімен байланыстырады. Осылайша ақпарат көзімен сәйкес шығыстарының, яғни A с A, B с B және т.б. байланысы орнайды.

Қарастырылған схемада адрес параллельді түрдегі деп аталатын екі канал бойынша жіберіледі. Екілік санды жіберудің параллельді түрін тізбектіге өзгертуге болады (ол үшін арнайы схемалар болады). Бұл жағдайда адресті жіберу үшін тек бір канал жеткілікті. Көптеген мультиплексорларда басқару кірісі қарастырылған. Оған логикалық бірлік беру кезінде ақпараттық канал жұмысы тоқтатылады.

Бақылау сұрақтары

1. Неліктен логикалық схемаларда екілік есептеу жүйесі қолданылады?
2. Неліктен өнеркәсіпте НЕМЕСЕ — ЕМЕС және ЖӘНЕ — ЕМЕС логикалық элементтері НЕМЕСЕ және ЖӘНЕ элементтеріне қарағанда көбірек шығарылады?
3. Логикалық алгебраның негізгі ережелерін атаңыз.
4. Мультидірілдеткіш дегеніміз не және ол қандай міндеттерді шешуге мүмкіндік береді?
5. Дифференциалаушы тізбек схемасын салыңыз. Ол не үшін қолданылады?
6. Қарапайым мультидірілдеткіш кідіруші дірілдеткіштен несімен ерекшеленеді?
7. RS - және JK -триггерлер арасындағы айырмашылық неде?
8. Шмит триггері дегеніміз не? Оның қолданылуына мысалдар келтіріңіз.

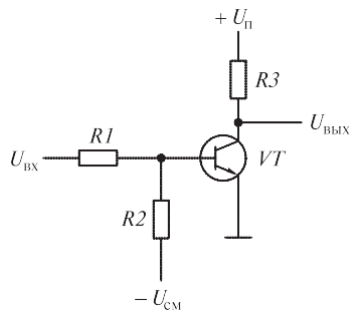
Электронды аппараттар туралы қосымша мәліметтер

Логикалық құрылғылардың схемалық шешімдері. Логикалық және импульстік құрылғыға арналған 13-тарауда олардың принципиалдық электрлік схемалары қарастырылған жоқ. Ол материалды түсіну үшін талап етілмеді. Аталмыш қосымша осыған ұқсас құрылғылармен, олардың жұмыс принциптерімен, оларды есептеу элементтерімен толық танысысы келетіндерге арналған.

ЕМЕС логикалық элементін кілтті режимде жұмыс істейтін бір би-полярлық VT транзисторында дайындайды, (П.1-сурет).

Транзистордың базасына $R2$ резисторы арқылы теріс жылжу кернеуі U_{cm} беріледі, ол схемаға кірісте кернеу болмағанда (логикалық нөл) транзисторды жабады (оның коллекторының тогы нөлге тең). Коллекторда ток жоқ болғандықтан, $R3$ резисторындағы құлау кернеуі (транзистор жүктемесінде) жоқ және коллектор потенциалы жоқ (схеманың шығуындағы кернеу) қуат кернеуіне тең U_n , ол логикалық бірлікке сәйкес келеді. ЕМЕС логикалық элементіне қосылған құрылғының кіріс кедергісі жеткілікті дәрежеде үлкен болуы тиіс. Схеманың кірісіне логикалық бірлікті беру кезінде транзистор ашылады және қанығу режиміне өтеді, бұнда коллектор тізбегінің кедергісі — эмиттер аз болады, ал коллектор тогы — транзистордың нақты типі үшін барынша көп рұқсат етілетін токқа жақын болады. U_n транзисторының қуат көзінің барлық кернеулері $R3$ резисторында төмендейтін болады, ал шығыстағы кернеу логикалық нөлге сәйкес өте аз болады.

Ереже бойынша, ЕМЕС логикалық элементтері микросхемалар түрінде шығарылады, олардың әрқайсысында бірнеше ЕМЕС элементі болады. Осындай микросхемалардың кернеуі 5 В аспайды. Микросхемалардың көпшілігі оң полярлық логикалық сигналдарымен жұмыс істейді. Микроминиатюризация принциптерін кеңінен қолдану үлкен интегралды схемаларды (ҮИЖ) жасауға мүмкіндік береді («үлкен» сөзі микросхемалар өлшемдеріне жатпайды, ол олардың

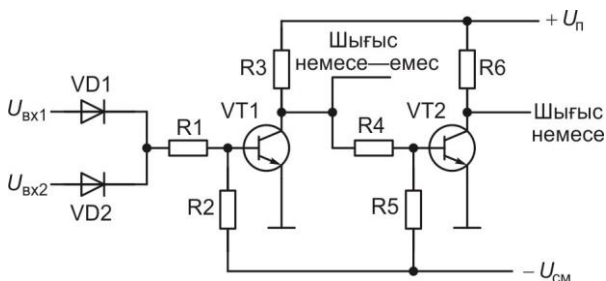


П.1-сурет. ЕМЕС логикалық элементтің схемасы

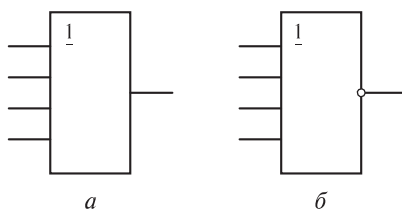
интеграциясының жоғары деңгейін белгілейді), олар толығымен дайын құрылғылармен логикалық схемалардан басқа электронды схемаларды қамтиды. Мысалы, теледидардың жұмысын қашықтықтан басқару пульті, цифрлық инсандық индикациялы сыртқы сағаттардың жұмысын қашықтықтан басқару пультінде, цифрлы индикациясы бар қол сағаттарында, ұялы телефонда бір үлкен интегралдық микросхема бар.

НЕМЕСЕ логикалық элементінің схемасы кем дегенде екі транзистордан (Қ.2-сурет) тұруы қажет. Бірінші $VT1$ транзистор ЕМЕС логикалық элементіндегідей қосылған (Қ.1-суретін қараңыз). Ерекшелігі оның екі кірісі бар, кіріс сигналдар $U_{\text{вх1}}$ және $U_{\text{вх2}}$. $VD1$ және $VD2$ диодтар арқылы транзистордың базасына келіп түседі. Кіріс сигналдар жоқ болған кезде (олардың логикалық нөлге тең болуы) транзистор $VT1$ резистор $R2$ арқылы базаға берілетін ығыстырудың теріс кернеуімен жабық болады. Коллектордың тогы нөлге тең, ал $VT1$ шығысында кернеу ЕМЕС схемасындағыдай қорек кернеуіне жақын, яғни логикалық 1 сәйкес келеді. Егер кірістердің біреуіне логикалық бір берілетін болса (оның үстіне екеуіне де), $VT1$ транзистор ашылады да, оның шығысында логикалық нөл шығады. Кірістердегі диодтар $VD1$, $VD2$ кірістердің біреуіне логикалық бірлік берілген кезде, оған жалғанға қандай да бір құрылғылардың жұмысын бұзатын екінші кіріске түсуін болдырмау үшін қажет.

НЕМЕСЕ логикалық элементі логикалық қосу $Q = A + B$ операциясын орындау керек, оны орындау үшін $VT1$ шығысындағы сигналды интеграциялауы керек, яғни логикалық нөлді логикалық бірлікке, ал логикалық бірлікті логикалық нөлге алмастыру қажет. Ол үшін екінші транзистор $VT2$ қолданылады, оның қосылу схемасы ЕМЕС логикалық элементін білдіреді. $VT1$ транзисторының шығысындағы сигнал логикалық НЕМЕСЕ-ЕМЕС операциясының орындалуын қамтамасыз етеді. Оның орындалуы үшін тек бір транзистор қажет болғандықтан, НЕМЕСЕ-ЕМЕС типті микросхемалары жиі кездеседі. Қажетінше, қарапайым НЕМЕСЕ схемасын қолданып, НЕМЕСЕ ЕМЕС схемасын алу үшін ЕМЕС элементін қосу қажет.



П.2-сурет. НЕМЕСЕ логикалық элементінің схемасы



П.3-сур. Төрт кірісі бар НЕМЕСЕ (а) және НЕМЕСЕ — ЕМЕС (б) логикалық элементтерінің шартты белгілері

Бірқатар тапсырмаларды шешу кезінде $Q = A + B + C + D$ түріндегі функцияны орындау, яғни екі кіріс сигналдарынан көп сигналдарды операциялау қажеттілігі туындайды. Ол үшін бірнеше НЕМЕСЕ логикалық элементін пайдаланбас үшін екі және одан да көп кірістермен НЕМЕСЕ және НЕМЕСЕ - ЕМЕС логикалық элементтерін шығарады (мысалы, төрт кіріс). Бұл элементтердің шартты белгіленулері Қ.3-суретінде келтірілген.

Мұндай элементтердің шартты белгілері П.3-суретте келтірілген.

Логикалық көбейту $Q = AB$ операциясын орындайтын ЖӘНЕ логикалық элементінің схемасының бір нұсқасы П.4-суретте көрсетілді. Кіріс сигналдар болмаған кезде (екі кіріс сигнал да логикалық нөлге тең) транзистор VT $R3$ және $R4$ резисторлары арқылы оның базасына ығысудың теріс кернеуін U_{cm} беру арқылы жабық болады. Базаға әкелінген кернеу резисторынан $R5$ түзілген және $R3$, $R4$ резисторларымен параллель жалғанған кернеу бөлгішінен алынып тасталынады. Транзисторды бекіту режимі ығысу кернеуі мәнін таңдаумен және көрсетілген резисторлардың кедергілер қатынасымен қамтамасыз етіледі. Транзистор шығысындағы кернеу бұл кезде қоректендіру кернеуіне $U_{п}$ тең, ол логикалық бірлікке сәйкес келеді.

Егер схема кірістерінің біреуіне логикалық бірлік берілетін болса, онда тек бір диод жабылады, екіншісі арқылы транзистор базасына теріс кернеудің келіп түсуі жалғаса береді, ол өз кезегінде жабық қала береді. Тек схеманың екі кірісіне де логикалық бірлік берілетін болса, екі диод жабылады және транзистор базасында резистор $R5$ және қорек көзі арқылы келіп түсетін оң кернеу пайда болады. Бұл ретте транзистор ашылады және оның шығысында логикалық нөл пайда болады. Суреттелген процес ЖӘНЕ –ЕМЕС схемасына сәйкес келеді. ЖӘНЕ схемасын жүзеге асыру үшін транзистор шығысына логикалық ЕМЕС элементін қосу қажет.

ЖӘНЕ схемасында екі транзистор болуы қажет, ал ЖӘНЕ –ЕМЕС схемасында тек біреуі қажет болғандықтан, микросхемаларда ЖӘНЕ-ЕМЕС микросхемаларын жиі шығарады (ереже бойынша бір микросхемада олар бірнеше болады).

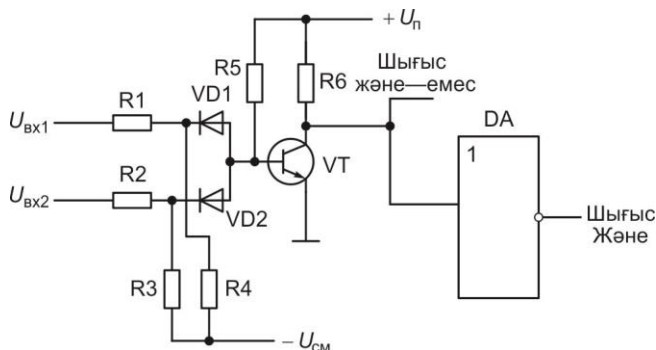
Логикалық элементтер ЖӘНЕ немесе ЖӘНЕ-ЕМЕС екі кірістерден көп кірістері бар микросхемалар да бар.

ЖӘНЕ немесе ЖӘНЕ — НЕМЕСЕ логикалық элементтерінде екіден артық кірісі бар микросхемалар болады. Әр осындай элементте кірісте екі диодтан артық, ал логикалық бірлік (ЖӘНЕ элементінің жағдайында) немесе логикалық нөл (ЖӘНЕ — НЕМЕСЕ) барлық кірісте тек логикалық бірлік болған жағдайда ғана шығыста болады. Төрт кіріс болғанда, ЖӘНЕ элементі $Q = ABCD$ функциясын іске асырады. Сипаттамаларда немесе каталогтарда осындай микросхемаларды 4 ЖӘНЕ деп белгілейді, онда 4 саны кіріс санын көрсетеді.

Логикалық элементтердің бірнеше стандартты қосылыстары бар. Мысалы, тек бір НЕМЕСЕ логикалық элементінің көмегімен жады схемасын іске асыруға болады (П.5-сурет). Ол үшін DD элементінің кірістерінің бірі оны шығысымен жалғайды. Егер кірісте жады схемалары логикалық нөл болса, онда шығыста нөл болады. Жад схемасының кірісінде логикалық нөл болса, онда шығысында логикалық бірлік пайда болады. Егер логикалық бірлікке кіруде нөлге ауыстырса, онда схеманың шығысында кері байланыс есебінен логикалық бірлік қалады. Басқаша айтқанда, есте сақтайтын логикалық бірлік болады. Оны аз уақытта түсіру үшін НЕМЕСЕ элементінен қуатты алу қажет. Жад схемасы механикалық ағыту құрылғыларын пайдаланбай, қандай да бір логикалық схемадан логикалық бірлік кернеуін ала алады.

П.6-суретінде «келісу схемасы» (сәйкестік) схемасы деп аталатын логикалық элементтерді стандартты қосу көрсетілген. Ол келесі тапсырманы шешеді: екі кірісте де не логикалық нөл немесе логикалық бірлік болғанда, схеманың шығысында логикалық бірлік болуы тиіс. Кіріс және шығыс шамалар арасындағы байланыс П.1-кестеде ұсынылған.

Қойылған тапсырманы шешу үшін схема $Q = AB + AB$ функциясын іске асыруы тиіс. Келтірілген теңдеу П.1-кестенің жолдары бойынша жасалды, онда $Q = 1$ (бұл әдіс 13.3-тарауда сипатталған). $Q = 0$ жолдар-



4.П- сурет. ЖӘНЕ логикалық элементінің

ды, жүйе жағдайының кестесінде көрсетпеге де болады. Басым жағдайларда аталмыш әдіс өзін ақтайды, себебі бірліктердің шығыс бағанында әдетте нөлдерге қарағанда аз болады.

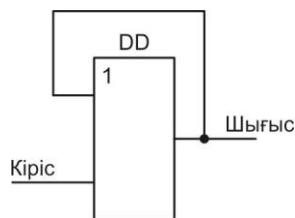
Онда бірліктер көп болғанда теңдеу құрастырудың басқа әдісін пайдалануға болады — шығыста нөл бар жолдарды пайдалануға болады. Егер кіріс сигналы бірлікке тең болса, бұл жолдарда кіріс сигналдарды оның терісін алу керек екенін есте сақтай отырып, жиынтықтау қажет.

Барлық алынған қосындыны одан кейін көбейту керек, ол қорытынды теңдеу береді. Мүмкіндігінше алынған теңдеуді логика алгебрасы ережелерінің 13.3-тарауда келтірілгеннің барлығын пайдалана отырып, оңайлату қажет.

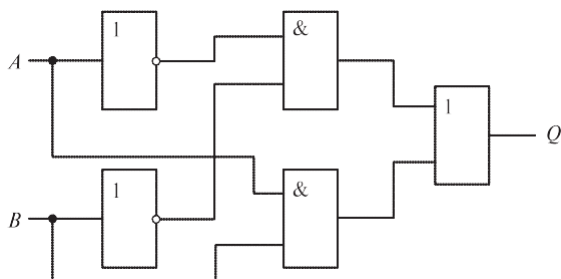
«Шығыста бірлік бойынша» құрастырылған теңдеу $Q = AB + AB$ түріне ие. Көрсетілген функцияны іске асыратын логикалық элементтерді қосу схемасы П.8-суретте келтірілген.

Сәйкестік және сәйкессіздік схемалары кіріс сигналдарының кез келген саны үшін орындалуы мүмкін. Сәйкестіктің ұқсас схемалары қандай да бір қосу кірулердің әрқайсында логикалық бірлік болғанда ғана өтуі тиіс болған жағдайларда пайдаланылады.

«Шығыстағы нөлдер бойынша» жасалған мысалдағы теңдеу, $Q = (A + B)(A + B)$ түріне ие. Көрсетілген функцияны іске асыратын логикалық элементтерді қосу схемасы П.7-суретте келтірілген. Осы келісім схемасында бес логикалық элемент пайдаланылады: екі ЕМЕС элементі, екі НЕМЕСЕ элементі және бір ЖӘНЕ элемент. Сәйкестік схемасымен қатар сәйкестік емес схемасы пайдаланылады. Кіріс және шығыс шамалар арасындағы байланыс П.2-кестесінде ұсынылған.



П.5-сурет. Жад схемасы



П.6-сурет. $Q = AB + AB$ функциясын іске асыратын келісу схемасы
«Шығыстағы нөлдер бойынша» жасалған мысалдағы теңдеу, $Q = (A + B)(A + B)$ түріне ие.

П.1-кесте

A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

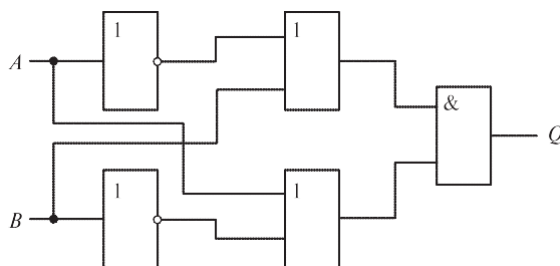
П.2-кесте

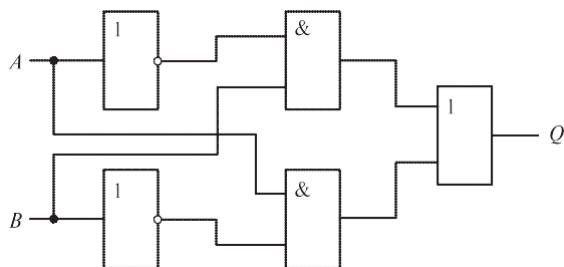
A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Егер әр бірлік қандай да бір өзінің күрделі жүйесінің дұрыстығын сипаттаса (аталмыш кіру үшін), демек тек барлық блоктардың дұрыс болғанда ғана жұмысқа барлық күрделі жүйені қосуға болады. Мысалы, ғарыштық кемені жіберу кезінде тек ұшу үшін маңызды әр түрлі құрылғылардың көбі дұрыс болғанда ғана қозғалтқыштарды іске қосу мүмкін. Америкалық автомобильдердің кейбір типтерінде тек егер барлық жолаушылар және жүргізуші қауіпсіздік белбеуін тақса ғана қозғалтқыштың іске қосылуы мүмкін. Бұнда белбеулер тек жолаушылар бар отырғызу орындарында ғана тағылуы тиіс. Ол үшін автомобилдің әр отырғызу орнында жолаушылардың болуын тіркейтін қосымша датчиктерді қояды.

Көп жағдайларда егер екіден артық кіріс саны бар NEMECE және ЖӨНЕ логикалық элементтерін, сондай-ақ NEMECE - EMEC және ЖӨНЕ – EMEC элементтерін пайдаланса, логикалық элементтерді қосу схемасын оңайлатуға болады.

Триггерлер. Электроникада, атап айтқанда электронды аппараттарда триггерлер кеңінен қолданысқа ие болды — екі тұрақты күйі бар құрылғылар. Қарапайым, бірақ кеңінен қолданылатын, ЖӨНЕ- EMEC екі элемент базасында жасалған RS-триггер 13-тарауда қарастырылды. Тек бір RS-триггердің базасында IGBT-транзисторымен үйлесімде (ол туралы толығырақ әрі қарай қараңыз) электрмагнитті қосқышты алмастыратын электр қозғалтқышты басқару жүйесін құруға болады (П.9-сурет). Сәйкесінше S және R кірістеріне қосылған S1 («Іске қосу») және S2 («Токтату») батырмалардың көмегімен триггерді одан шыққан-

П.7-сурет. $Q = (A+B)(A+B)$ функциясын іске асыратын келісім



П.8-сурет. $Q = AB + A\bar{B}$ функциясын іске асыратын сәйкессіздік схемасы

да логикалық бірлік немесе логикалық нөл болатын күйге ауыстыруға болады.

Триггердің шығысынан әр логикалық бірлік кернеуі IGBT-транзисторының ысырмасына беріледі, транзистор ашылады және электр қозғалтқыштың жұмысын қосады.

JK-триггер төрт НЕМЕСЕ — ЕМЕС логикалық элемент базасында (П.10-сурет, а), яғни екі НЕМЕСЕ — ЕМЕС элементтің стандартты RS- триггеріне қосылуы жолымен нақты жасалуы мүмкін (П.10-сурет, б).

JK-триггерінің базасында оның кіруіне түсетін импульстерді есептеуді жүзеге асыратын екілік есептегіш жасалуы мүмкін (П.11-сурет). Қажет болғанда екілік сан ондыққа ауыстырылуы мүмкін.

Осы мақсаттар үшін логикалық элементтер базасында құрылған ауыстырудың арнайы схемалары қызмет етеді. Олар, сонымен қатар, барлық калькуляторлар мен компьютерлерде қолданылады.

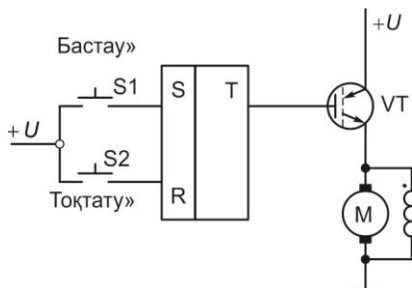
Екілік есептеуіш іштен жанатын қозғалтқыш білігін айналдыру жиілігін шектеу жүйесінде қолданылуы мүмкін. Мұндай жүйеде уақыт бірлігінде айналу жиілігі датчиктерімен (мысалы, Холл әсері негізінде жұмыс жасайтын) берілетін импульстер саны есептеледі. Бұл мән айналу жиілігінің рұқсат етілген ең жоғары санымен салыстырылады. Егер қозғалтқыш білігінің айналу жиілігі рұқсат етілген саннан көп болса, қажет болғанда ұлғаятын басқару сигналы өндіріледі. Көрсетілген сигналдың берілуі отынды бүрку жүйесінің форсункасының сөнуіне алып келеді, нәтижесінде қозғалтқыштың айналу жиілігі төмендей бастайды. Сипатталған құрылғы әдетте бір шағын микросхема түрінде орындалады, оның құрамында көптеген логикалық элементтер болады.

D-триггерлер шығысқа логикалық бірліктің кіріс сигналын немесе C синхронизация кірісінде логикалық бірлік болған кезде логикалық нөл береді. Көбінесе синхронизация сигналы кернеу импульсін білдіреді. Қандай да бір құрылғыда жүздеген логикалық элементтердің бірге жұмыс жасауы үшін олар синхронизация сигналына өте дәл әсер етуі керек. Логикалық элементтердің ең жоғары жұмыс дәлдігі олар син-

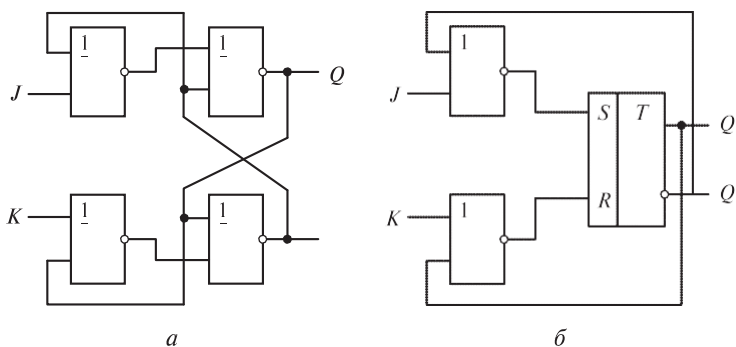
хронизация импульсінің алдыңғы немесе артқы фронты бойынша іске қосылғанда қамтамасыз етіледі. Мұндай синхронизация кейде динамикалық деп аталады, потенциалдыққа қарағанда синхрондау кірісінде тек кернеу өлшемі рөл атқарады. *D*-триггерлердің шартты белгісі синхронизацияның әртүрлі нұсқаларымен П.12-суретте көрсетілген. П.13-суретте келтірілген уақыт диаграммалары *D*-триггер *D* кірісінен синхронизация кезінде импульстің артқы фронты арқылы сигналды шығысқа қалай беретінін қадағалауға мүмкіндік береді. Көріп тұрғанымыздай шығысында логикалық нөл синхронизацияның екінші импульсінің артқы фронты бойынша пайда болады.

Қашықтықтан басқарудың электронды жүйелері. Өндірісте және тұрмыста электрлік және электрондық құрылғыларды кеңінен енгізу оларды басқару үшін көптеген сымдық байланыс каналдарын пайдалану қажеттілігіне әкеп соқты. Нәтижесінде кәсіпорындардағы жұмыс орындары, тұрғын үй ғимараттары сымдарға толды. Мысалы, автобустарда қозғалтқыштың артқы жағында орналасуына байланысты килограммнан асатын сымдарды пайдалануға тура келеді.

Автобустың артынан алдына қарай келетін олардың бұрамаларының диаметрлері кей кездері бірнеше сантиметрлерден асып жатады. Ұшақтарда одан да күрделі. Бұл жерде сымдардың жалпы ұзындығы ондаған километрлерді құрайды. Мультиплекстік электрлік құрылғы тәсілін пайдалану, оның үстіне барлық ақпарат бір ақпараттық каналмен берілген кезде жағдайды жақсартады. Мұндай жүйеде кез-келген хабарламалар кодталған түрде жоғары жиілікте беріледі, яғни байланыстың радиотехникалық тәсілі қолданылады. Дегенмен, оны басқару оператор бір орында отырған кезде көп жағдайда әртүрлі жерлерден немесе объектінің қозғалысы кезінде жүргізілетіндіктен, қандай да бір объектілерді сымдарды қолданып басқару әрқашан ыңғайлы бола бермейді. Бұл жағдайда радиоканалды пайдалануға тура келеді немесе (арақашықтық алыс болмаса) байланыстың инфракызыл каналын қолдану қажет.



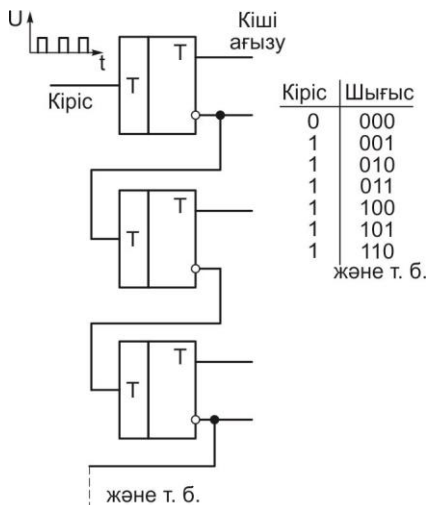
П.9-сурет. Электр қозғалтқышын басқару жүйесінің түйіспесіз жүйесінің схемасы



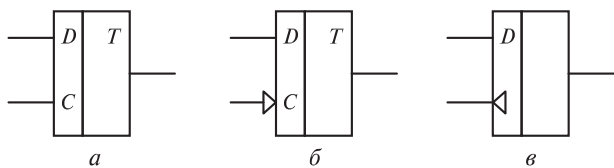
П.10-сурет. JK-триггерінің схемасы:

a — NEMECE — EMEC логикалық элементтерінің төрт шартты белгісін пайдаланумен суреттелген; *б* — RS-триггерінің шартты белгісі және NEMECE — EMEC логикалық элементтерінің екі шартты белгісін пайдаланумен бейнеленген

Мысал ретінде қандай да бір объектіні инфрақызыл канал көмегімен қашықтықтан мультибағдарламалық басқару жүйесін қарастырамыз. Ақпарат тарату көзі ретінде мұндай жүйелерде жарықдиодтар, ал қабылдағыш ретінде—фото-диодтар жиі қолданылады. Ақпаратты тарату инфрақызыл канал бойымен жүргізілу жиіліктің кең диапазонында (өте төменнен бастап) орындалуы мүмкін болатындықтан, модуляцияны пайдаланудың қажеті жоқ. Дегенмен, көп каналдық байланыс кезінде қолданылады. Берілетін жақтан байланыстың алыстығын арт-



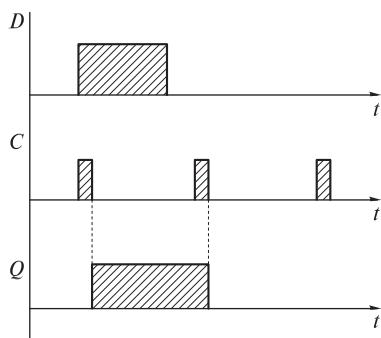
П.11-сурет. ТТ-триггер базасында қос есептеуіш схемасы



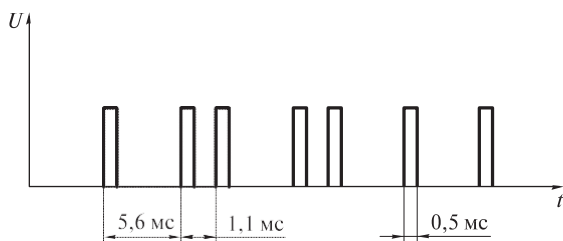
П.12-сурет. Потенциалды (а), алдыңғы фронт (б), артқы фронт (в) бойынша синхронизациямен D-триггерлерінің шартты белгісі

тыру үшін паралель қосылған бірнеше жарықдиодтар жиі қолданылады. Бұған қарамастан, байланыстың инфрақызыл каналмен қамтамасыз етілетін алыстығы көбінесе 10...15 м аспайды. Кедергілердің негізгі көзі осы кезе фондық жарықтандыру болып табылады. Бұл кедергілермен күресудің негізгі тәсілі күш сәулесімен немесе электр шамдарымен фондық жарықтану салыстырмалы түрде баяу өзгереді. Қабылдаушы жақта сәйкес келетін сүзгілерді орнату көп жағдайларда осындай кедергілердің алдын алуға көмектеседі. Пайдалы басқарылатын сигналдың уақыт бойынша өзгеру жиілігі (мысалы, импульстерді қадағалау жиілігі) фондық жарықтанудың өзгеруімен байланысты жиіліктерден айтарлықтай жоғары болуы шарт.

Инфрақызыл каналдың бұзылуы қабылдау фотодиодтарына жоғары қарқындылығы бар күн сәулелері тікелей түскенде орын алуы мүмкін. Көбіне осындай байланыс каналдарында ақпаратты беру үшін импульстерді кодтық жіберу пайдаланады. Біздің мысалда кодтық импульсті модуляциясы бар қайта шифрлаушы сигналдардың қабылдау құрылғысы пайдаланылсын. Нөлді беру бір импульспен, ал екіншісі - екеуімен жүзеге асырылады. Импульстер ұзақтығы және олардың арасындағы уақыттық интервалдар қатаң белгіленген болуы тиіс. П.14-суретте 01100 жөнелтімін беруге арналған реттілік көрсетілген.



П.13-сурет. Артқы фонд бойынша синхрондаумен D-триггерінің кірісіндегі және шығысындағы сигналдар



П.14-сурет. 01100 коды бар импульстер жүйесі

Электр аппараттарын басқару жүйесінің берілетін бөлігі батырмалы басқарудан, ақпаратты беруді кодтау жүйесінен және күшейткіштен тұрады, оның шығысында жарық диоды болады (П.15-сурет). Қандай да бір батырманы басуға байланысты кодтау жүйесі кодты импульсті модуляцияның көмегімен белгілі бір санды әзірлейді. Импульстер реттілігі күшейіп, жарықдиодқа беріледі. Қабылдау құрылғысының дешифраторы кедергінің әсерін азайту және түсетін кодтарды тануға арналған. Ол бірнеше логикалық элементті және микропроцессорды қамтиды (П.16-сурет).

Қабылдау құрылғысының жұмысын барынша толық қарастырайық.

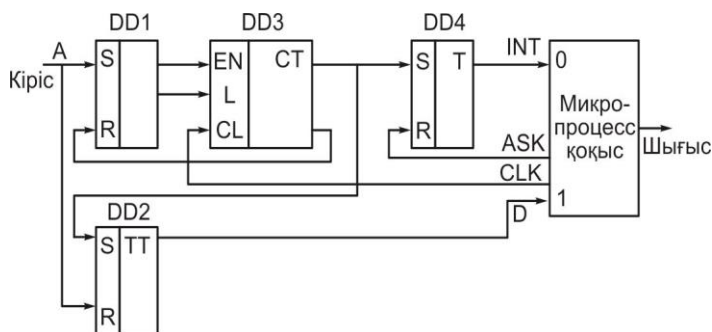
Үзіліс кезінде дешифратордың A кірісінде сигнал жоқ (логикалық нөл). $DD1$ және $DD4$ триггерлері 0 күйінде болады. $DD1$ триггерінің инверттеуші шығысынан логикалық бірлік $DD3$ есептегішінің L кірісіне түседі және оны 0 күйіне қояды.

A кірісіне берілген бірінші импульс, $DD1$ триггерін 1 күйіне ауыстырады; бұнда $DD3$ есептеуші микропроцессордан оның CL кірісіне түсетін импульстерді есептеуді бастайды.

1,1 мс кейін CT есептеуіштің кірісінде сигналдың логикалық бірлігі қалыптасады, ол $DD2$ триггерінің рұқсат етілген кірісіне C түседі. Өйткені дешифратордың A шығысында бұл уақытта сигнал болмағандықтан (әрбір импульс ұзақтығы 0,5 мс тең болса), онда $DD2$ шығысында логикалық нөл болады. $DD4$ триггері 1 күйінде болады. Сигналдың логикалық бірлігі оның шығысынан INT микропроцессорына түседі, ол бұл сигналды логикалық нөлді қабылдау сигналы ретінде сақтайды.



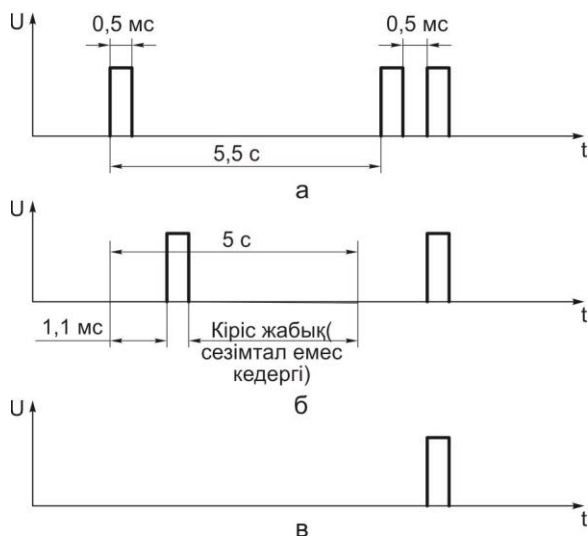
П.15-сурет. Беруші құрылғының құрылымдық схемасы



11.10-сурет. Қабылдау құрылғысы дешифраторының схемасы

Микропроцессор бір мезгілде ASK шығысынан өз сигналымен DD4 триггерді 0 күйіне орнатады. 5 мс өткеннен кейін төменгі DD3 шығу есептеуіші DD1 триггерін 0 күйіне аударатын сигналдың логикалық бірлігін қалыптастырады. Нәтижесінде DD3 есептеуіші 0 күйіне оралады. Дешифратор жаңа импульспен жұмысқа дайын. Барлық қаралған кезеңде схема кедергілерге төзімді.

Егер A кірісіне екі импульс түссе, онда біріншісі жоғарыда сипатталғандай DD2 триггерді ашады, ал екіншісі S шығысына түседі. Нәтижесінде, DD2 шығысында логикалық сигнал бірлігі пайда болады, ол



П.17-сурет. Дешифратор схемасындағы импульстердің пайда болу тәртібі:
 а — дешифратордың A кірісіндегі сигналдар; б — DD3 есептеуішінің шығысындағы сигналдар; в — DD2 триггер шығысындағы сигнал

П.18-сурет. IGBT-транзисторын шартты белгілеу
(E — эмиттер, C — коллектор, G — ысырма)



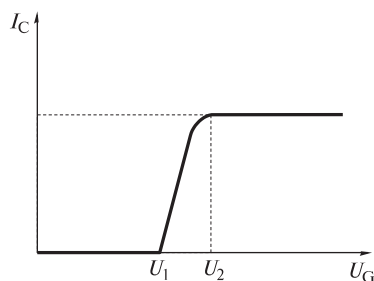
D микропроцессор шығысына түседі және сигналды қабылдау бірлігі ретінде сақталады.

Дешифратор схемасында пайдаланылатын есептеуіш микропроцессордан шығатын импульстарды санау үшін және 1,1 және 5,0 мс кейін өз шығыстарынан логикалық бірлік сигналдарын беру қажет.

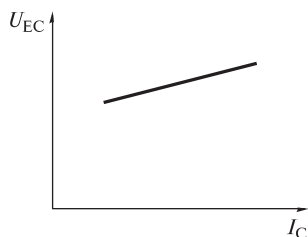
Кейбір элементтерде импульстік сигналдардың пайда болу реті 17.П-суретінде көрсетілген.

Дешифратордың салыстырмалы күрделілігіне және шынайы құрылғыларда болып жатқан процесстерге қарамастан, барлық схема элементтері бір микросхемаға біріктірілген. Микропроцессордың шығысында екілік сандар түрінде дешифраторға сигнал түседі, ол осы санға сәйкес (адрес) шығыстарының бірінен логикалық бірлік сигналын береді. Бұл сигнал электр аппараттарының біріне түседі (әдетте қандай да бір механикалық түйіспелерсіз электрондық тип), ол қандай да бір объектілермен басқарылады. Дешифратор өнеркәсіпте микросхемалар түрінде шығарылады.

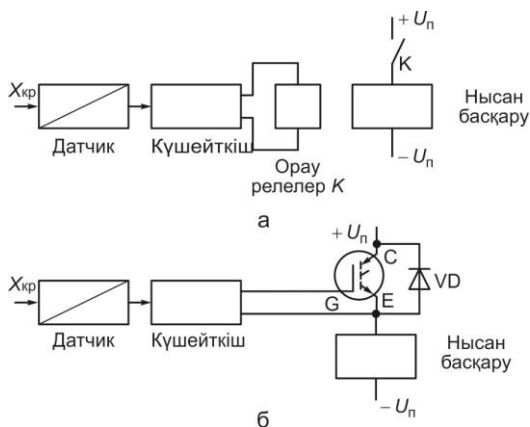
IGBT-транзисторлар. Әр түрлі құрылғыларды басқару үшін (қосу және сөндіру) электрмагнитті реледен басқа жартылай өткізгіш құралдарды— транзисторлар және тиристорлар пайдалануға болады (кейде тринисторлар деп те аталады). Бұнда түйіспелерді қолдану толығымен жойылады, ол олардың габариттік өлшемдері және салмағын азайтып, басқару жүйелерінің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Өкінішке орай, транзисторлардың көпшілігі, көптеген жағдайларда тиристорлар да үлкен кернеулерде жұмыс істей алмайды және үлкен токтарды коммутациялай алмайды. 1990-жылдардың басында «IGBT-транзисторлары» деп аталған жаңа типті транзисторлар пайда болды, яғни оқша-



П.19-сурет. IGBT-транзистор ысырмасындағы кернеуден коллектор тогының тәуелділігі



П.20-сур. IGBT-транзисторының сыртқы сипаттамасы



П.21-сурет. Электрмагнитті релені (а) және IGBT-транзисторды (б) пайдаланумен басқару схемалары

уланған ысырмалы биполярлық транзисторлар (Insulated Gate Bipolar Transistor). Қазіргі уақытта олар өзінің деректері бойынша әдеттегі транзисторлардан да, басқарудың және коммутациялық шығындардың аз қуаттылықтарына, артық жүк беріктігі және коммутациялардың жоғары жылдамдығына ие болып тиристорлардан да асып түседі.

Құрылымдық IGBT-транзистор әр түрлі типті өткізгіштік жартылай өткізгіш бірнеше қабаттар үйлесімін құрайды. Мәнісі жағынан ол биполярлық транзистор және МОП-транзистор (оқшауланған ысырмамен далалық транзистор) үйлесімі болып табылады. Онда үш шығару бар: эмиттер, коллектор (биполярлық транзистор сияқты) және ысырма (МОП-транзисторы сияқты) бар. Көбіне осы шығарулар E, C, G латын әріптерімен белгіленеді (П.18-сурет).

Транзисторды басқару ысырмадағы кернеудің өзгеруімен жүзеге асырылады. Толығымен ашылған транзисторда кернеудің тік түсуі биполярлық транзисторлардағыдай мардымсыз. Параллель IGBT-транзисторлар әдетте кері бағытта шағын диодты қосады, ол индуктивтіліктің болуымен туындаған кері токтың өтуі үшін транзисторды сөндіруде қажет шағын диодты қамтиды (тізбектегі индуктивті жүктемедегі ток өзгере алмайды, сол себепті диод болмағанда транзисторда үлкен кернеулер пайда болуы мүмкін).

IGBT-транзисторының маңызды сипаттамасы коллектор-эмиттер тізбегіндегі ысырмадағы кернеуден ток тәуелділігі болып табылады (П.19-сурет). Осындай транзисторлар көбіне кілтті режимде жұмыс істейтін болғандықтан (толығымен ашық немесе толығымен жабық), онда транзистор жұмысының режимінің өзгеруі болатын ысырмадағы

кернеу деңгейлерін білу маңызды. П.19-суретінде көрсетілгендей, транзистор U_1 кернеуінде ашыла бастайды, ол коллектор – эмиттер тізбегіндегі токтың пайда болуына әкеледі. U_2 кернеуде транзистор толығымен ашылады және V_c ток ең жоғары мәніне жетеді. IGBT-транзисторының сыртқы сипаттамасы П.20-суретінде келтірілген. Ол коллектор тоғына байланысты транзистордағы кернеудің өзгеруін көрсетеді.

Қазіргі IGBT-транзисторлар 1000 А артық токтарда және 6 кВ артық кернеулерде жұмыс істей алады.

Қандай да бір объектілермен (құрылғылармен) басқару тізбегіне IGBT-транзисторын қосу өте қарапайым жүзеге асырылады. Алдын ала құрылғыны шығарудан электромагнитті реленің орамының орнына кернеу (фотореле, жарық релесі, ток шектеуіші және т.б.) транзисторға тікелей әкеледі (ысырма және эмиттер арасында, ысырмаға «қосу»), электромагнитті реле түйіспелерінің орнына коллектор және эмиттер шығарулары пайдаланылады (П.21-сурет). IGBT-транзистордың ысырмасының тізбегіндегі ток өте аз (әдеттегі далалық транзистордағыдай), бұл тізбек қуатты мүлде тұтынбайды, сол себепті электр аппаратының тізбегіндегі қуатты күшейткішті пайдалану қажеттілігі жойылды.

Кейде транзистормен басқарылатын тізбекке қызмет көрсетуші персонал тізбектің ажырауын көруі және қандай да бір регламенттік жұмыстарды өткізуге қорықпауы үшін қолмен іске келтірілетін ажыратқышты қосу керек.

IGBT-транзисторлар электромагнитті релеге қарағанда әлі қымбат, бірақ олардың жоғары сенімділігі мен ұзақ мерзімділігінің арқасында мұндай транзисторлары бар электр жабдықтарды орнату және пайдаланудың жиынтық шығыстары төмен болып шығады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Буткевич Т.В.* Основы теории электрических аппаратов / Т. В. Буткевич. — М. : Жоғары мектеп, 1970.
2. *Коробков Ю. С.* Электромеханические аппараты автоматики / Ю. С. Коробков, В.Д.Флора. — М. : Энергоатомиздат, 1991.
3. *Родштейн Д.А.* Электрические аппараты : оқулық / Д.А.Родштейн. — Л. : Энергоатомиздат, 1989.
4. Силовые IGBT-модули : материалы по применению. — М. : Додэка, 1997.
5. *Флоренцев Ф.Н.* Современная элементная база силовой электроники / Ф.Н.Флоренцев, Ф.И.Ковалев. — М. : Энергоатомиздат, 1996.
6. *Чунихин А.А.* Электрические аппараты. Общий курс / А.А.Чунихин. — М. : Энергоатомиздат, 1988.
7. *Шоффа В. М.* Анализ полей магнитных систем электрических аппаратов / В.М.Шоффа. — М. : МЭИ баспасы, 1994.
8. Электрические и электронные аппараты : учебник / Ю.К. Розановтың ред. — М. : Энергоатомиздат, 1998.

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	3
---------------	---

1-тарау. Электр аппараттарының магнитті тізбектері	4
---	----------

1.1. Тұрақты токтың магнитті тізбектері.....	4
1.2. Айнымалы токтың магнитті тізбектері	14
1.3. Тұрақты токпен магнитті жүйелер	17

2-тарау. Электр түйіспелері және электр тізбектерінің коммутациясы	24
---	-----------

2.1. Электр түйіспелері туралы жалпы мәліметтер	24
2.2. Түйіспелердің жұмыс режимдері	28
2.3. Түйіспелер материалдары	32
2.4. Түйіспелер конструкциясы	34
2.5. Коммутациялық аппараттардағы электр доғасының түзілуі	40
2.6. Тұрақты ток доғасы	44
2.7. Магнитті өрістегі электр доғасы	50
2.8. Белсенді тізбекті сөндіру кезіндегі айнымалы токтың жану және сөндіру процесстері	51

3-тарау. Электр аппараттарындағы жылу процестері	54
---	-----------

3.1. Электрлік және магнитті тізбектердегі шығындар	54
3.2. Электр аппаратының пайдалы әсер коэффициенті	55
3.3. Электр аппараттарындағы жылу берілісі	57
3.4. Электр аппараттарындағы жұмыстың негізгі номиналды режимдері және температураның ықтимал артуы	59
3.5. Алуан түрлі режимдер кезінде электр аппараттарының қызуы	62

4-тарау. Резисторлар және сақтандырғыштар	68
--	-----------

4.1. Резисторлар және резисторлар жәшіктері	68
4.2. Балқығыш сақтандырғыштардың міндеттері және жұмыс істеу принциптері	72

4.3.	Төмен кернеулі сақтандырғыштардың конструкциясы	77
4.4.	Жоғары кернеулі сақтандырғыштардың конструкциясы	80

5-тарау. Сөндіргіштер және ажыратқыштар 84

5.1.	Айырғылар және ауыстырып-қосқыштар	84
5.2.	Төмен вольтты сөндіргіштер	86
5.3.	Жоғары вольтты сөндіргіштер	92
5.4.	Ажыратқыштар, бөлгіштер және қысқа тұйықтаушылар	95
5.5.	Реакторлар және электр тогын ажыратушылар	99

6-тарау. Басқару аппараттары 101

6.1.	Басқару батырмалары	101
6.2.	Команда бақылаушылары	102
6.3.	Жол сөндіргіштері және микросөндіргіштер	104
6.4.	Әмбебап ауыстырып-қосқыштар	107
6.5.	Пакеттік сөндіргіштер және ауыстырып-қосқыштар	107

7-тарау. Электр аппараттарының электрмагнитті механизмдері 112

7.1.	Тұрақты ток электрмагнитін тартқыш күштер	112
7.2.	Айнымалы ток электрмагнитін тартқыш күштер	118

8-тарау. Электрмеханикалық реле 123

8.1.	Жалпы мәліметтер	123
8.2.	Электрмагнитті реле	131
8.3.	Жылу қорғанысының релесі	135

9-тарау. Электрмагнитті түйіспелер және магнитті қосқыштар 139

9.1.	Жалпы мәліметтер	139
9.2.	Тұрақты ток желісінен басқарылатын түйіспелер	140
9.3.	Айнымалы ток түйіспелері	146
9.4.	Магнитті қосқыштар	151

10-тарау. Электронды аппараттарын орнату принципі 155

10.1.	Жалпы мәліметтер	155
10.2.	Ауыстырып-қосу режимінде жартылай өткізгіш	

диод жұмысы	156
10.3. Транзистор жұмысының негізгі режимі	159
10.4. Ауыстырып-қосу режимінде транзистор жұмысы	161
10.5. Биполярлық транзисторда орындалған кілттердегі шығынды азайту жолдары	165
10.6. Дала транзисторларындағы электронды кілттер	167
10.7. Тиристорлар және симисторлар базасындағы электронды кілттер	169
10.8. Электронды аппараттардағы қуатты алдын ала күшейткіштер	173
11	Т
арау. Электронды реле	178
11.1. Кернеудің электронды релесі	178
11.2. Токтың электронды релесі	181
11.3. Уақыттың электронды релесі	182
12-тарау. Датчиктер және түрлендіргіштер	188
12.1. Жалпы мәліметтер	188
12.2. Потенциометриялық датчиктер	190
12.3. Индуктивтік датчиктер	194
12.4. Холл датчигі	196
12.5. Сыйымдылық датчиктері	197
12.6. Датчиктер негізінде электронды аппараттардың мысалдары	198
13-тарау. Электронды аппараттардағы логистикалық және импульстық құрылғылар	204
13.1. Ақпаратты берудің цифрлық әдістері туралы жалпы мәліметтер	204
13.2. Негізгі логистикалық элементтер	205
13.3. Логикалық міндеттерді шешудің негізгі ережелері	206
13.4. Логикалық элементтер базасындағы электронды құрылғылар .	209
Қосымша	219
Әдебиеттер тізімі	234

Оқу құралы

**Девочкин Олег Васильевич,
Лохнин Вячеслав Васильевич,
Меркулов Рэм Всеволодович,
Смолин Евгений Николаевич**

Электр аппараттары

Оқу құралы

5-басылым, стереотиптік

Редактор *Е. М. Зубкович*
Техникалық редактор *Е. Ф. Коржуева*
Компьютерлік беттеу: *Л. М. Беляева*
Корректорлар *ТВ. Кузьмина, И.А. Ермакова*

Бас. № 105113055. Баспаға қол қойылған 28.05.2015. Формат 60 x 90/16.
Гарнитура «Newton». Офсеттік баспа. Қағаз офс. № 1. Баспа қызметі беті-15,0.
Таралымы 1 000 дана. Тапсырыс №

«Академия» баспа орталығы ААҚ,
www.academia-moscow.ru
129085, Мәскеу, Мир даңғылы, 101В, 1-күр.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.
25.05.2015жылғы Санитарлық-эпидемиологиялық қорытынды
№ РОСС RU. АЕ51. Н 16679

Ульяновский Баспа үйінде басып шығарылды.