

В.Ю.ШИШМАРЁВ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКАЛЫҚ ӨЛШЕМДЕР

Оқулық

220703 «Технологиялық үдерістер және өндірісті автоматтандыру (салалар бойынша)», 230113 «Компьютерлік жүйе және кешендер» мамандықтары, «Электротехникалық өлшемдер» оқу пәні бойынша орта кәсіптік білім беру бағдарламаларын іске асыратын білім беру мекемелеріндегі оқу үдерісінде оқу құралы ретінде қолдану үшін «Білім беруді дамытудың федералдық институты» Федералдық мемлекеттік автономиялық мекемесімен (ФМAM «БДФИ») ұсынылған.

Рецензияны тіркеу нөмірі №662,
18 желтоқсан, 2012 жыл. «БДФИ» ФМAM.

2-басылым, стереотипті



Мәскеу
«Академия» Баспа орталығы,
2014 жыл

ӘОЖ 621.3(075.32)

КБЖ 31.2ші723

Ш657

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

Пікір білдірушілер:

Мәскеу ғарыштық машинажасау техникумы арнайы пәндерінің

14-санатты оқытушысы, радиоэлектрондық аспаптардың

пәндік комиссия төрайымы *Т.В.Киселева*,

«Мәскеу электрмеханика және автоматика институты» ААҚ бас маманы, техника ғылымдарының кандидаты *В.И.Галкин*

Шишмарев В.Ю.

Ш657 Электротехникалық өлшемдер: кәсіптік орта білім беру мекемелерінің

студенттеріне арналған оқулық / В.Ю.Шишмарев. — 2-басылым, стереотиптік. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2014ж. — 304б.

ISBN 978-601-333-370-0 (каз)

ISBN978-5-4468-1397-1 (рус)

Физикалық шама, бірліктері, эталоны, бірлік жүйесі туралы негізгі түсініктер келтірілген. Электротехникалық өлшемдердің әдістері мен өлшем құралдардың классификациясы ұсынылған. Өлшем мен өлшеу аспаптарының метрологиялық көрсеткіштері мен қателіктері қарастырылған. Электрөлшеуіш аспаптардың өлшеуіш тізбектері және механизмдердің жұмыс принциптері ұсынылып, схемалары көрсетілген. Тоқ, кернеу, қуат, электр тізбек параметрлері мен компоненттері, топтастырылған параметрлі электрондық тізбектерді, жартылай өткізгіш аспап пен интеграл микросхема, амплитудалық-жиіліктік сипаттамаларын өлшеу үшін типтік электрөлшеуіш аспаптардың құрылымдық схемасы мен жұмыс принциптері мазмұндалған. Стандарттық өлшеуіш сигналдарды қалыптастыруға арналған аспаптар мен өлшеуіш үлгілік аппаратурасы сипатталған. Өлшеуішті автоматтандыру мәселелері талданған.

Оқулық 220703 «Технологиялық үдерістер және өндірісті автоматтандыру (салалары бойынша)», 230113 «Компьютерлік жүйе және кешендер» мамандықтары бойынша ОКББ ФМСБ талаптарына сай

«Электротехникалық өлшемдер» жалпы білім беру пәнін игеру үшін қолданылуға болады.

Орта кәсіби білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

ӘОЖ 621.3(075.32)

КБЖ 31.2ші723

ISBN 978-601-333-370-0 (каз)

ISBN978-5-4468-1397-1 (рус)

© Шишмарёв В.Ю., 2013

© «Академия» білім беру баспа орталығы, 2013

© Рәсімделу. «Академия» баспа орталығы, 2013

ШАРТТЫ БЕЛГІЛЕР

- АӨА — автоматтық өлшеуіш аспап
ААР — амплитуданы автоматтық реттеуші
АСТ — аналогты-сандық түрлендіргіш
АЖС — амплитудалық-жиілік сипаттама
АЭА — аналогты-электрөлшеуіш аспап
ДЖП — деректер жинау платасы
ДТӨ — дифференциал-трансформаторлық түрлендіргіш
ЖЖ — жоғары жиілік
ЖСҚ — жедел сақтаушы қондырғы
ИӨЖ — икемді өлшеуіш жүйе
КГ — кернеу генераторы
КБ — кернеуді бөлгіш
КӨЖ — компьютерлік-өлшеуіш жүйе
МС — метрологиялық сипаттама
ОК — операциялық күшейткіш
ОКА — орташа квадраттық ауытқу
ӨЕК — өлшеуіш-есептеуіш кешен
ӨДТ — өтемдік- дифференциал трансформатор
САТ — сандық-аналогтық түрлендіргіш
СӨА — сандық өлшеуіш аспап
СГ — сигнал генераторы
ССГ — стандартты сигнал генераторы
ТЖГ — тербеліс жиілігінің генераторы
ТЖСі — төменгі жиілік сүзгісі
ТТЛ — транзисторлы-транзисторлық логика
ТСҚ — тұрақты сақтаушы қондырғы
ТЖЖ — тым жоғары жиілік
СӨКГ — сызықтық өзгертін кернеудің генераторы
ФЖС — фазажиілік сипаттама
ШСБК — Шама мен салмақ бойынша басты конференция
ЭҚКш — электрқозғалтқыш күш
ЭСО — электрондық-сәулелік осциллограф
ЭСТ — электрондық-сәулелік түтік

Зерттеу зертханаларындағы өлшеуіш аспаптар және жүйелер адам қызметінің көптеген салаларына, соның ішінде өнеркәсіп пен көлік салаларына енгеніне ұзақ уақыт өтті. Олар көптеген техникалық нысандар мен жүйелерді әзірлеу, құру және пайдалануда кеңінен қолданылады. Өнеркәсіптің барлық саласында электротехникалық өлшемдер мен аспаптар айтарлықтай молынан қолданыла бастады. Осыған байланысты «Электртехникалық өлшемдер» оқу пәні техникалық әр түрлі мамандықтарды меңгертін студенттердің оқу жоспарына енгізіліп отыр. Сонымен қатар, соңғы онжылдықта электртехникалық өлшеуді қажет ететін нақты әдістер мен технологиялар химия, биология, медицина, ауыл шаруашылығы және басқа да салаларда кеңінен қолданыс тапты.

Электртехникалық өлшем мен аспаптар саласындағы қандай да бір деңгейдегі білімді осы саланың болашақ мамандары игерулері қажет.

Соңғы жылдары экономиканың дамуы сапаға қойылатын талаптардың жылдам көтерілуімен тығыз байланысты. Сапа түрлі әдістермен өндіріс үздіксіздігі мен қарқыны, өнім өзіндік құны, оның шығару көлемі, еңбек өнімділігі және өндірістің бір қатар үдерістерінің тиімділігіне әсер етеді. Өнімдердің жоғары сапасы тұрғындар тарапынан күнбе күн өсіп жатқан сұранысты қанағаттандыруға, сонымен қатар халықаралық байланыстың дамуы мен тұрақтылығына септігін тигізеді.

Сапаның көптеген көрсеткіштерін бақылау өлшеуіш аспаптардың еншісіндегі ең бастыміндет. Өлшеуіш аспаптар мен жүйелер өндіріс үдерісінің ажырамас бөлігіне айналған жағдайда өнімдердің жоғары сапасына қол жеткізілмек. Сонымен қатар сапаны көтеруге деген қажеттілік өлшеуіш техникаларының тиімділігіне жоғары талаптар қойып отыр, сондықтан сапаны қамтамасыз ету және өндіріс үрдісіндегі өлшеуіш техника өзара тығыз байланысады.

Өлшеуіш аспаптар және жүйелер, сонымен қатар электрөлше-

уіштер де қоғамның шынайы қажеттіліктерімен тығыз байланыста тарихи дамыған болатын.

Өндірістік үдерістерді басқаруды автоматтандыру құралдарының кеңінен таралуымен сипатталып, барлық өлшеу техникаларының мейлінше өркендеуіне әкелген ғылыми-техникалық революция (XX ғасыр және XXI ғасырдың басы) болды.

Заманауи механикаланған, ішінара немесе толықтай автоматтанған және жоғары дәрежеде өндірістік, өнеркәсіптік өндірістер бақылау мен өлшеу жүргізуде салыстырмалы түрде көп шығын шығару арқылы қызмет етеді. Өлшеудің сапасы, беріктігі мен жылдамдығына қойылатын талаптар тұрақты түрде өсіп отырады. Бірқатар физикалық шамаларды өлшеу диапазоны соңғы 20 жыл ішінде бірнеше ретке кеңейді.

Өнеркәсібі дамыған елдерде бақылау мен өлшеуге кететін еңбек көлемі барлық қоғамдық өндірістегі еңбек сыйымдылығының орта есеппен 10-15% құрайды. Өнеркәсіптің кейбір, мысалы электртехникалық, көлік, аспап және радиоаппарат жасау салаларында, электртехникалық өлшемдер негізгі болып саналады.

Соңғы жылдары өлшеуіш техникадағы мейлінше сапалық өзгерістер микроэлектроникадағы жетістіктердің арқасында болып жатыр. Өлшеу құралдарының құрамына өлшеу және деректерді өңдеу үдерісін автоматты басқаруды қамтамасыз ететін, яғни осы құралдарға «зияткерлік» қасиет дарытатын микропроцессорлар ене бастады.

Электрөлшеуіш техникаларындағы интегралдық микроэлементтік қызметтегі түрлі датчиктердің әзірленуіне байланысты жаңа қосымшалар мен даму болашағына жаңа мүмкіндіктер туындай бастады. Сандық өлшеуіш техника да кеңінен қолданыла бастады. Бақылау міндеттерінің тұрақты түрде кеңеюіне және күрделенуіне байланысты, қазіргі кезде жеке аспаптар ғана емес, сонымен қатар қажетті дәлдікпен түрлі шаманы өлшеуді қамтамасыз ететін кешендер, сонымен қатар кейбір жағдайларда өлшеуіш ақпарат беру, өңдеу, әрі тіркеумен қамтамасыз ететін өлшеуіш жүйелер де айтарлықтай жиі қолданылады. Осылайша, аспаптар мен өлшеуіш жүйелерді игеру және зерттеу мәселелері осы жүйені өңдеушілер үшін ғана емес, тұтынушылар үшін де өте өзекті болып отыр.

1 ТАРАУ

ӨЛШЕМ БІРЛІКТЕРМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ МЕМЛЕКЕТТІК ЖҮЙЕСІ

1.1. ФИЗИКАЛЫҚ ШАМАЛАР ӨЛШЕУ НЫСАНЫ РЕТІНДЕ

Негізгі және туынды деп бөлінетін физикалық шамалар өлшеу нысаны болып табылады. *Негізгі шамалар* бір-біріне тәуелсіз, алайда олар *туынды* деп аталатын басқа да физикалық шамамен байланыс орнату үшін маңызды. Мысалы, Эйнштейн формуласындағы негізгі шама салмақ, ал туынды шама — энергия. Негізгі шамаларға өлшеудің негізгі бірліктері сәйкес келеді, ал туындыларға сәйкесінше — туынды сәйкес келеді. Негізгі әрі туынды бірліктердің жиынтығы *физикалық шама бірліктер жүйесін* құрайды.

Бірлік жүйесінің алғашқыларына метрлік жүйе жатады, мұнда ұзындықтың негізгі бірлігі метр, ал салмақ бірлігі¹ — шамамен +4°C температура кезіндегі химиялық таза судың 1 см³ салмағы — грамм (кейін — килограмм). 1799 жылы метр мен килограммның прототиптері (эталоны) дайындалған болатын. Осы екі бірліктен басқа метрлік жүйе өзінің бастапқы нұсқасында аудан бірлігін (ар — қырлары 10 м шаршының ауданы), көлем (стер — қырлары 10 м куб көлемі) және сыйымдылықты (литр — 0,1 м қабырғалы куб сыйымдылығы) да қамтыған. Осылайша, метрлік жүйеде негізгі және туынды шамаға бірліктердің нақты бөлінуі әлі болмаған.

Бірліктер жүйесінің түсінігіретінде негізгі және туынды жиынтығының алғаш рет 1832 жылы неміс ғалымы К. Ф. Гаусс ұсынған. Бұл жүйедегі негізгі бірлік ретінде қабылданғандар: ұзындық бірлігі — миллиметр, салмақ бірлігі — миллиграмм, уақыт бірлігі — секунд. Бірліктердің бұл жүйесі *абсолюттік* деп аталған.

¹ XVIII ғ. «салмақ» және «масса» түсініктері ажыратылмаған және бірдей шаманы білдірген

Өлшеудің халықаралық ортақ жүйесін құру мақсатында физикалық шама бірліктерінің басқа да жүйелерін түрлі елдің ғалымдары ұсынған болатын. Алайда қазіргі кезде кейбір елдер өз елінде тарихи тұрғыдан қалыптасып қалған өлшем бірліктермен өлшеуді әлі де болса жалғастырып келеді, мысалы, Ұлыбритания, АҚШ пен Канадада салмақты өлшеудің негізгі бірлігі фунт, осы орайда айта кететіні «британдық империялық шамасы» мен «ескі винчестерлік шама» жүйелері арасындағы мөлшер әр түрлі. Әлемдік тәжірибеде Бірліктердің халықаралық жүйесі (ИЖ) мейлінше кеңінен таралған.

1.2. ФИЗИКАЛЫҚ ШАМАЛАР БІРЛІГІНІҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ЖҮЙЕСІ

1954 жылы Шама мен салмақ бойынша басты конференцияда (ШСБК) халықаралық қатынаста қолданылуға қажетті негізгі алты физикалық шама анықталған болатын: метр, килограмм, секунда, ампер, Кельвин градусы және свеча. 1960 жылы осы конференцияда Бірліктердің халықаралық жүйесі — SI қабылданды. Жүйенің аббревиатурасы французша атаудың бас әріптерінен құралған: «Système International d'Unités» — интернационалдық жүйе (ИЖ). Келесі жылдары ШСБК отырыстарында біршама толықтырулар мен өзгерістер енгізілді, нәтижесінде жүйеге негізгі жеті бірлік, екі қосымша және бірқатар физикалық шамалардың туынды бірліктері енді. Сонымен қатар негізгі бірліктердің келесі анықтамалары әзірленді:

- ұзындық бірлігі — *метр* — секунд $1/299\,792\,458$ үлесі кезінде вакуумда жарықтың өтетін жол ұзындығы;
- салмақ бірлігі — *килограмм* — килограммның халықаралық прототипінің салмағына тең салмақ;
- уақыт бірлігі — *секунд* — сыртқы өрістен ұйытқу болмаған жағдайда цезий атомы-133 негізгі қалпысәйкес келетін өте жұқа екі деңгей арасындағы өтетін сәулелену $9\,192\,631\,770$ кезеңіне тең уақыт;
- электр тогы күшінің бірлігі — *ампер* — өзара әрекеттесу күші $2 \cdot 10^{-7}$ Н тең өткізгіштің әр аумағында 1 м ұзындықты құратын, вакуумда бір-бірінен 1 м қашықтықта орналасқан, дөңгелек көлденең қиманың аз ғана ауданының және шексіз ұзындықты қос параллель өткізгіш бойынша өту кезіндегі өзгертпейтін токтың күші;

- термодинамикалық температура бірлігі — *кельвин* — судың үштік нүктесінің термодинамикалық температурасының $1/273,16$ бөлігіне тең термодинамикалық температура. Термодинамикалық температурадан басқа Цельсий температурасын (бірлігі — градус Цельсий) қолдануға болады;
- заттектің сан бірлігі — *моль* — $0,012$ кг көміртек 12 атомында болатын құрылымдық элементтері болатын жүйенің заттек саны;
- жарық күшінің бірлігі — *кандела* — $540 \cdot 10^{12}$ Гц жиілікте монохромдық сәулеленетін көздің белгіленген бағытындағы жарық күші, оның жарығының энергетикалық күші осы бағытта $1/683$ Вт/орт құрайды.

Негізгі ИЖ басқа жазық және денелік бұрыштарды өлшеугесәйкесінше қажетті қосымша бірліктер — *радиан* және *стерадиан*, сонымен қатар кеңістік пен уақыт, механикалық, электрлік, магнит, жылу, жарық әрі акустикалық шамалардың туынды шамалары, және иондаушы сәуле саласындағы туынды бірліктер болады. Ресейде сәйкес мемлекеттік стандартты енгізу арқылы ИЖ ресми түрде 1963 жылы қабылданған болатын.

1.3. ӨЛШЕМДЕР ТУРАЛЫ НЕГІЗГІ ТҮСІНІКТЕР

Өлшем деп арнайы техникалық құралдар көмегімен тәжірибелік жолмен физикалық шаманың мәнін анықтау үдерісін айтамыз. Осы кезде алынатын ақпаратты *өлшеуіш* деп атаймыз.

Өлшем нысаны туралы белгілі бір ақпарат зерттеу жүргізгенге дейін белгілі болуы шарт, ол өлшеудің тиімділігін арттырушы маңызды фактор болып саналады. Өлшем нысаны туралы осындай ақпаратты *априорлық* деп атайды. Бұл ақпарат толықтай болмаған жағдайда өлшеу мүмкін болмайды, себебі ненің өлшеуі керек екені белгісіз, сондықтан өлшеудің қажетті әдістері мен құралдарын тандау мүмкін болмайды.

Өлшеу нәтижесінде алынған ақпарат өлшем нысанында екі формада бола алады: белсенді және белсенді емес. *Белсенді емес ақпарат* — нысанды сипаттаушы деректердің жиынтығы. Мысалы, мұндай ақпаратқа қоректендірукөзі кернеуінің шамасы жатуы мүмкін. Егер қандай да бір құбылыстың энергетикалық сипаттама формасы болса, оны *белсенді* ақпарат деп атаймыз. Осындай энергетикалық құбылыстар *сигнал* деп аталады. Ақпаратты беруде қолданылатын электрлік, оптикалық және акустикалық сигналдар осының мысалы бола алады.

Біз қарастыратын физикалық шаманың мәнін анықтауда өлшеу нәтижесі аналитикалық қатынас түрінде берілуі мүмкін, ол *метрологияның негізгі теңдеуі* деген атаумен белгілі:

$$A = kA_0,$$

мұндағы A — өлшенетін физикалық шама мәні; k — үлгіге қатысты өлшенетін шаманың қатынасы; A_0 — үлгі ретінде қабылданған шама мәні.

Өлшеу принципі дегеніміз өлшеулер негізделген физикалық принциптердің жиынтығы, мысалы қуатты өлшеуде Холл әсерін немесе электр кернеуді өлшеуде Джозефсон әсерін қолдану.

Өлшеу әдістері — өлшеу принциптері мен құралдарын қолданудың жиынтығы. Бұл жалпы анықтаманы іс жүзінде көп жағдайда қолданылатын өлшеу құралдарына ғана жатқызады, мысалы, жиілікті өлшеу әдісін жиілік өлшеуіш, кернеуді – вольтметр, ток күшін – амперметрмен және т.т. өлшеуге жатқызады.

Өлшем әдістерін *өлшеу әдістемесінен* ажырата білу керек, әдістеме өлшеуді өткізу жалпы немесе кезеңдік жоспарынан, яғни өлшеудің мақсатты тәртібін, операцияның жүйелілігін және дұрыс өткізілуін анықтайтын операцияны өткізу ережелері мен ретінен тұрады.

Өлшеу нысаны — нақты физикалық нысан, оның бір не бірнеше өлшенетін физикалық шамамен сипатталатын қасиеті бар.

Техникалық әдебиеттер және нормативтік құжаттарда *өлшем алгоритмі* деген тіркес жиі қолданылады, физикалық шаманың бастапқы мәнін өлшеуді қамтамасыз ететін операцияны орындау тізімі мен тәртібі туралы нақты нұсқаулық деп түсіну керек.

Өлшеу нақтылығы өлшеу нәтижесіне деген сенім дәрежесімен анықталып, өлшенетін шаманың нақты мәні көрсетілген шекте болуымен сипатталады. Аталмыш мүмкіндікті сенімділік деп атайды.

Өлшеу дұрыстығы — метрологиялық сипаттама, ол өлшеу нәтижелерінің нөлге жақындығын, аталмыш жүйелік қателіктерді көрсетеді.

Өлшеу нәтижелерінің шығуын өлшеу сапасын анықтайды және бірдей жағдайда, бірдей әдіс-тәсілдермен қайталап орындалатын бірдей шамалардың өлшеу нәтижелерінің бір-біріне жақындығын көрсетеді.

Өлшеу нәтижелерінің жаңғыртылуы өлшеу сапасын сипаттайды және әр түрлі жерлерде, әр түрлі операторлармен, бірақ бірдей жағдайларға келтірілген бірдей шамалардың өлшеу нәтижелерінің жақындығын көрсетеді.

Өлшенетін шаманың мәнін анықтаушы тәжірибелік процедура ретіндегі өлшемдер түр-түрлі болады. Оларды белгілі бір қасиетіне байланысты классификациялайды, мысалы, өлшеу нәтижесін алу тәсіліне қарай тура және жанама деп бөлінеді.

Физикалық шаманың бастапқы мәні тек тәжірибелік деректен ғана тұратын өлшемдерді *тура* деп атаймыз. Аралық өзгертулер өткізілмейтін өлшемдерді көп жағдайда тура деп танымыз. Мысалы, кернеу мен ток күшін вольтметр және амперметр секілді электрөлшеуіш аспаптармен өлшеу жатады. Өлшеу тәжірибесінде тура өлшемдер өте кең таралған. Математикалық тура өлшемдерді мына қарапайым формуламен сипатталады:

$$A = x,$$

мұндағы A — өлшенетін шама; x — өлшеу жолымен анықталған және өлшеу нәтижесі деп аталатын шаманың мәні.

Тура өлшеу шамалары мен осы шама арасындағы белгілі бір тәуелділік негізінде қарастырылатын шаманың мәнін табатын өлшеуді *жанама* деп атайды. Жанама өлшеуді келесі формуламен сипаттауға болады:

$$A = (x_1, x_2, \dots, x_m),$$

мұндағы $x_1, x_2, \dots, x_m$ — өлшенуші A шамасының қарастырылған мәнімен белгілі функционал тәуелділікпен байланысқан шаманы тура өлшеу нәтижелері.

Жанама өлшеулер өлшеу тәжірибелеріне тән, мысалы қуатты амперметр — вольтметр әдісімен өлшеу, контур сыйымдылығы мен индуктивтілікті тура өлшеу нәтижелері бойынша тербеліс контурының резонанстық жиілігін анықтау.

1.4. ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ ТҮРЛЕРІ

Тәжірибе кезінде шаманың бірлігін өлшеуде техникалық құралдар қолданылады да, *өлшеу құралы* деп аталып белгілі бір мөлшердегі қателіктері болады. Өлшеу құралдарына: шама, өлшемді түрлендіргіш, өлшеуіш аспап, өлшеуіш қондырғы мен жүйелер, өлшеу жабдықтары жатады.

Шама дегеніміз берілген көлемнің физикалық шамасын жасауға арналған өлшеу құралдары. Өлшеу құралдарының түріне ғіртастар, ұзындықтың соңғы шамалары және т.т. жатады. Тәжірибе барысында бір мағыналы әрі көп мағыналы шама, сонымен қатар шама жинақтары мен магазиндер қолданылады. *Бір мағыналы шамалар* бір ғана көлемді шаманы білдіреді (гіртас), ал *көпмағыналы* — физикалық шаманың бірнеше көлемін білдіреді. Мысалы, миллиметр сызғыш заттың ұзындығын сантиметр мен миллиметрде береді.

Жинақтар және магазиндер кейбір аралық немесе жиынтық мәндерінің жаңғыртуларыналуға мүмкіндік беру үшін бірмағыналы немесе көпмағыналы шамалардың бірлестіктері (үйлесім) болып табылады. Бірқатар *шамалар жинағы* түрлі көлемдегі біртекті шамалардың жиынтығын құрайды, олар қажетті үйлесімде пайдаланылады, мысалы, зертханалық ғіртас жинағы. *Шамалар магазині* — қолмен немесе автоматты есептік құрылғымен байланысқан ажыратып-қосқыш көмегі болу мүмкіндігі қарастырылған, құрылымдық түрде бір механикалық бүтінге біріктірілген шамалар үйлесімі. Осы принцип бойынша электр кедергісі дүкендері құрылған.

Шаманы қолдану барысында шамалардың номинал және нақты мәнін ескеру керек, мысалы, шаманың қателіктерін. *Шаманың нақты мәні* ресми эталонды қолданып жоғары дәлдікті өлшеудің нәтижесінде сапасы арнайы куәлікте тіркелулері тиіс.

Номинал жәнәнақты мәндердің арасындағы айырмашылықты *шаманың қателігі* деп атаймыз.

Өлшеуіш түрлендіргіш — өңдеу немесе сақтауға, сонымен қатар көрсететін қондырғыға беруге ыңғайлы, өлшеуіш ақпарат сигналын қалыпқа түрлендіру үшін қызмет ететін өлшеуіш құрал. Өлшеуіш түрлендіргіштер өлшеуіш аспаптың құрылымдық схемасына енеді немесе сонымен бірге қолданылады, алайда түрлендіргіш сигналы бақылаушының тура қабылдауына жол бермейді. Мысалы, түрлендіргіш компьютер жадына ақпаратты беру, кернеуді күшейту және т.т. үшін қажетті. Өзгертілетін шаманы *кіріс*, ал түрлендіру нәтижесін — *шығыс* шамасы деп атайды. Өлшеуіш түрлендіргіштің негізгі метрологиялық сипаттамасына кіріс және шығыс шамаларының арасындағы *өзгерту қызметі* деп аталатын қатынас жатады.

Түрлендіргіштер өлшеуіш шаманы қабылдаушы *бастапқы*; қашықтыққа тіркеу немесе беруге ыңғайлы формасы бар шығыстағы шаманы *беруші*; бастапқымен қатынаста жұмыс жасаушы және физикалық шаманың өзгеру тегіне әсер етпейтін *аралық* деп бөлінеді.

Өлшеуіш аспаптар — тұтынушы үшін қабылдауға ыңғайлы формада өлшеуіш ақпаратын алуға мүмкіндік беретін өлшеуіш құрал. Өлшеуіш аспаптарды тура әрекет етуші және салыстыру аспаптары деп бөледі.

Тура әрекет етуші аспаптар шаманың бірліктерінің сәйкес белгілері бар көрсетуші қондырғыдағы өлшенуші шаманы көрсетеді. Ол кезде физикалық шама тегінің өзгеруі орындалмайды. Тура әрекет етуші аспаптарға, мысалы, амперметр, вольтметр, термометр және т.б. жатады.

Салыстыру аспаптары өлшенетін шамаларды белгілі шамалармен салыстыруға арналған. Бұл аспаптар ғылыми мақсатта және тәжірибе барысында сәуле көзінің ашықтығы, қысылған ауа қысымы және тағы басқаларын өлшеуде кеңінен қолданылады.

Өлшеуіш қондырғылар және жүйелер — өлшеу нысаны бір немесе бірнеше физикалық шаманы өлшеу үшін көмекші қондырғымен функционалдық қасиеті бойынша біріккен өлшеу құралдарының жиынтығы. Әдетте мұндай жүйелер автоматтанған және ақпаратты өлшеу үдерісінің автоматтанған жүйесіне енуін,

тұтынушы қабылдау үшін өлшем нәтижелерін өңдеуді және сипаттауды қамтамасыз етеді. Жүйенің бұл қондырғылары бақылау үшін де (мысалы, өндірістік үдеріс) қолданылады, ол статистикалық бақылау әдісі үшін өте өзекті болып табылады.

Өлшеуіш жабдықтар — өлшеу шамаларының көмекші құралдары. Олар дәлдіктің жоғары дәрежесі талап етілсе, өлшеу нәтижелерін есептеп түзету үшін қажетті. Мысалы, термометр қатаң реттелген температурада көрсеткіштері нақты болған кезде көмекші құрал бола алады; психрометр — қоршаған ортаның ылғалдылығы қатаң қарастырылғанда қажет.

Өлшеу жабдықтары көмекші құралдың қателіктерімен байланысты өлшеу нәтижесінде белгілі бір қателіктің болуына себепкер болады.

Метрологиялық тағайындалуына қарай өлшеу құралдары: өлшеудің жұмыс құралы және эталоны деп екі түрге бөлінеді. Техникалық қондырғы, технологиялық үдеріс, қоршаған орта және т.т. көрсеткіштерін анықтауда өлшеу жұмыс құралдарын қолданады. Олар зертханалық (ғылыми зерттеулер үшін), өндірістік (технологиялық үдерістердің берілген сипаттамасын қамтамасыз ету және бақылау үшін), далалық (ұшақ, автомобиль, кеме және т.б. үшін) деп бөлінеді. Жұмыс құралының әрбір түрі өзіне тән ерекшеліктерімен ерекшеленеді. Өлшеудің зертханалық құралдары нақты және сезімтал болуы керек, ал олардың көрсеткіштері — жоғары дәрежедегі тұрақтылықпен сипатталады. Өндірістік құралдар температура, ылғалдылық, діріл мен басқа да фактордың әсеріне деген тұрақтылыққа ие, себебі олар аспап көрсеткіштерінің нақтылығы мен дәлдігіне әсер етулері мүмкін. Дала құралдары сыртқы әсердің кең көлемі шегінде тұрақты түрде өзгеріп отыратын жағдайда жұмыс жасайды. Ал өлшеудің айрықша құралына эталон жатады.

1.5. ФИЗИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫҢ БІРЛІК ЭТАЛОНДАРЫ

Эталон — белгілі тәртіпте эталон ретінде бекітілген және өлшеу құралдарының тексерілген схемасы бойынша оның төмендегі көлемін беру үшін және физикалық шама бірлігін сақтау және (немесе) жаңғыртылуына арналған өлшеу құралдары (не-

месе өлшеу құралдарының кешені). Эталонның классификациялану, жұмсалу мен құру, сақтау және қолдануға қойылатын жалпы талаптарын МеМСТ 8.057—80. «МСИ. Физикалық шама бірліктерінің эталоны. Негізгі ережелер» бекітеді.

Эталонның құрылымы, физикалық қасиеттері мен бірліктердің жаңғыртылу тәсілдері физикалық шамамен анықталады, оның бірлігін өлшеу аталмыш саладағы өлшеуіш техниканың даму деңгейімен жасалады. Эталонның өзарабайланысқан кемінде үш қасиеті болуы тиіс: өзгермеушілік, жаңғыртылушылық және салыстырмалық.

Өзгермеушілік — уақыттың ұзақ мерзімі кезінде бірліктердің жаңғыртушылықты өзгермейтін көлемімен ұстап тұратын эталонының қасиеті. Сыртқы жағдайға қатысты барлық өзгерістер нақты өлшеуге қол жетімді шаманың белгілі қасиеттерімен қатаң анықталуы қажет. Осы талаптарды жүзеге асыру физикалық тұрақтыларға негізделген түрлі шаманың «табиғи» эталонын құру идеясына әкеліп отыр.

Жаңғыртылушылық — өлшеуіш техниканың нақты даму деңгейі үшін ең аз қателікпен теориялық анықтау негізінде физикалық шама бірлігінің жаңғыртылу мүмкіндігі. Бұған жүйелік қателіктерді анықтау мақсатында эталонды тұрақты зерттеу және сәйкес түзетулер енгізу арқылы жоюмен қол жеткізіледі.

Салыстырмалық — тексеру схемасымен төмендегі басқа өлшеу құралдарының эталонымен салыстыруды қамтамасыз ететін мүмкіндік, ол өлшеу техникасының нақты даму деңгейінің ең жоғары дәлдігімен бірінші кезекте қосалқы эталонды өлшейді. Салыстыру нәтижесінде құрылғысы мен әрекетіне бойынша қандай да бір қателіктерді енгізбейтін және салыстыру кезінде өздері де еш өзгеріске ұшырамайтын қасиеттің болуын меңзейді.

Эталонның (1.1.-суреті) бастапқы, арнайы, мемлекеттік, қосымша түрлері болады.

Бастапқы эталон елдегі дәлдіктің ең жоғарғы дәрежесінде бірліктің жұмсалуы мен сақталуына кепілдік береді (сол шамадағы басқа да эталонмен салыстырғанда). Бастапқы эталондар өлшеудің өте айрықша тәсілі болып саналады. Олар көп жағдайда ғылым мен техниканың жаңашыл жетістіктері есебінен құрылған күрделі өлшеуіш кешен болып саналады және өлшеу бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесінің негізін құрайды.

Арнайы эталон арнайы жағдайда бірліктердің жаңғыртылуын қамтамасыз етеді, онда бастапқы эталоннан бірлік көлемін талап



1.1-сурет. Эталонның сыныпталуы

етілген дәлдікпен тура беруді жүзеге асыра алмайдыжәне осы жағдай үшін бастапқы эталон қызметін атқарады.

Мемлекеттік эталон дегеніміз ел үшін шығыс эталоны ретінде ресми бекітілген бастапқы немесе арнайы эталон. Мұны елдің басты метрологиялық ұйымы бекітеді. Мемлекеттік эталон еліміздің орталық метрологиялық ғылыми институттарымен құрастырылады, сақталады және қолданылады. Физикалық шама бірлігінің жаңғыртылу дәлдігі әлемдік үздік жетістіктер деңгейіне сәйкес келеді және ғылым мен техниканың сұраныстарын қанағаттандырады. Мемлекеттік эталонның құрамына өлшеу құралы енеді, олардың көмегімен физикалық шаманың бірлігін жаңғыртады және(немесе) сақтайды, өлшеу бірліктерінің сақталу көлемі не жағыртылуы өзгермеу жағдайларын бақылайды, бірлік мөлшерін беруді жүзеге асырады. Мемлекеттік эталондар басқа елдердің мемлекеттік эталондарымен мерзім бойынша салыстырылып отырылады.

Қосымша эталон сәйкес физикалық шаманың бастапқы эталонымен салыстыру жолымен алынған бірлік мөлшерін сақтайды. Сонымен қатар эталондар бірліктерді сақтау және олардың көлемін беруші бағыныңқы құралдың бөлігі болады, тексеру жұмысын ұйымдастыру қажет болған жағдайда, сонымен қатар мемлекеттік эталонның тозуы төмен болғанда және сақталуын қамтамасыз еткенде құрылады және бекітіледі. Қосымша эталон құрамына физикалық шама бірліктерінің көмегімен сақтайтын, сақтау жағдайларын бақылайтын және бірлік көлемін беретін өлшем бірліктері енеді.

Метрологиялық жұмсалыуына қарай қосымша эталондар көшірме-эталон, салыстыру эталоны, куәгер-эталон және жұмысшы эталон деп бөлінеді.

Көшірме-эталон жұмыс эталондарға бірлік мөлшерін беруге арналған. Ол бастапқы не арнайы эталондыалдын ала тозудан сақтау мақсатында тексеру жұмысының мол көлемін өткізу қажеттілігі кезінде құрылады. Көшірме-эталон метрологиялық жұмсалуды жағынан мемлекеттік эталонның көшірмесі секілді, сондықтан ол оның физикалық көшірмесі бола бермейді.

Салыстыру эталоны бір-бірімен қандай да бір себеппен салыстырыла алмайтын эталондарды салыстыру үшін қолданылады.

Куәгер-эталон мемлекеттік эталонның сақталуы және өзгермеуін тексеру, бұзылған не жоғалған жағдайда ауыстыру үшін қолданылады. Қазіргі уақытта килограмм эталонның ғана куәгер-эталоны бар. Оның басты жұмсалуды мақсаты — негізгі эталонның тұрақтылығын бақылау мүмкіндігімен қамтамасыз ету.

Жұмысшы эталон өлшеудің жұмыс құралының өлшем бірлігін беру үшін қолданылады. Бұл ең кең таралған эталондар. Физикалық шамалардың өлшену дәлдігін көтеру мақсатында жұмысшы эталондараймақтық метрологиялық ұйым және министрлік пен ведомстволардың көбінде қолданылады.

1.6. ИЖ ЖҮЙЕСІНІҢ БІРЛІК ЭТАЛОНДАРЫ

Ресейдің эталондық базасын 114 мемлекеттік эталон және 250 астам физикалық шама бірлігінің қосымша эталондары құрайды.

Уақыт бірлігі секунда ең алғаш рет Жер немесе Күннің осымен айналу кезінде анықталған болатын. Осы уақытқа дейін *секунда* күннің орташа тәуліктік $1/86\,400$ бөлігіне тең болған.

1967 жылы XIII ШСБК сыртқы өрістер жағынан ұйытқу болмаған кезде 133-цезий атомының негізгі қалпында өте жұқа құрылым деңгейлері арасындағы энергетикалық өтуге сәйкес $9\,192\,631\,770$ тербеліс жасалатын уақыт аралығын секунда деп жаңадан анықтауға шешімі шығарылды. Аталмыш анықтама жиіліктің цезий репері көмегімен жүзеге асырылады.

Репер немесе *жиіліктің кванттық стандарты*, атом, ион немесе молекуланың кванттық өту жиіліктерін өлшеуге негізделген жоғарыжиілікті және оптикалық спектрдегі электромагниттік тербеліс жиілігін нақты жасауға арналған қондырғыны көрсетеді.

Радиотехникалық шамалармен қоса, электрлік және механикалық шамаларды өлшеу салаларында 32 эталон құрылған және қызмет атқарады. Олар өлшенетін шама мәнінің кең диапазонын ғана қамтып қоймайды, сонымен қатар ең бастысы ондаған гигагерцке жететін жиілікті өлшеудің кең спектр жағдайларын қамтиды. Негізгі бірліктерді нақты туындатушы және туынды бірліктің көлемін анықтаушы эталондар негізді құрайды. Бұл электрқозғалтқыш күш (ЭҚК), электр кедергісі және электр сыйымдылықтың мемлекеттік бастапқы эталон бірліктері. Бастапқы екеуі жуырда ғана әзірленген және соған сәйкес Джозефсон және Холлдың кванттық әсерлерінен туындады.

Соңғы уақытқа дейін электр тогының күш бірлігі — *ампер* — тәжірибе барысында қоршаған ортаға көрсеткен әсеріне қарап анықтауға тура келетін, мысалы өткізгіш арқылы токтың өтуі кезіндегі жылудың бөлінуі, электролит арқылы ток өту кезінде электродтағы заттектің тұндырылуы, токтың магнитке механикалық әрекеті немесе токты өткізгіш. Соңғылары ампер эталонының ток таразысында жүзеге асырылған негізіне (1948) салынды.

Электрлік кернеудің бірлік эталонының метрологиялық тәжірибеге енгізілуіне байланысты — *вольтті* Джозефсон әсері негізінде және электркедергісінің бірлік эталоны — *омды* Холл әсері негізінде енгізген кезден бастап кернеу бірлігін көрсетуге қажетті құрал ампер-таразының пайдалнылуы өз мәнін жойды. Джозефсон әсерін (аппаратуралық жүзеге асыру үшін) және Джозефсон константын (кернеу бірлігін жаңғырту үшін) қолдану токтың жаңғыру дәлдігін шамамен екі мәртеге көтеруге мүмкіндік жасады. Ампердің жаңа эталоны екі кешеннен тұрады. Алғашқысы вольт және ом арқылы Джозефсон мен Холл кванттық әсерін қолдану арқылы, ал екіншісі — электрметрия әдістерін қолданып фарад, вольт әрі секунда арқылы ампер көлемін анықтау принциптеріне негізделген.

Ампердің заманауи мемлекеттік эталонының ток күшінің мәнін шығарудың келесі диапазоны бар: $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \text{ А}$ (квант әсері салдарынан) және $1 \cdot 10^{-16} \dots 1 \cdot 10^{-9} \text{ А}$ (электрметрия әдістерін қолдануда). Ол ток күшінің $1 \cdot 10^{-3} \dots 1$ и $1 \cdot 10^{-2} \dots 2 \cdot 10^{-4} \text{ А}$ номинал атауы кезінде $5 \cdot 10^{-8} \text{ А}$ аспайтын өлшеу нәтижесінің орташа шаршы ауытқуымен ток күші бірлігінің жұмсалуды қамтамасыз етеді. Шығарылып тасталмаған жүйелік қателігі токтың тұрақты күшінің номинал мәні $1 \cdot 10^{-3}$ и 1 А кезінде $2 \cdot 10^{-8} \text{ А}$ аспауы тиіс.

Ресей Федерациясының 2008 жылғы 26 маусымдағы № 102-ФЗ «Өлшем бірліктерін қамтамасыз ету туралы» Федералдық заңымен (әрі қарай Өлшем бірліктерін қамтамасыз ету туралы заңы) орнатылған өлшем бірліктерін қамтамасыз етудің құқықтық негіздері. Бұл заң мына жағдайларда туындаған қатынастарды реттейді:

- өлшеуді орындау, өлшеу, өлшем бірлігі, шама бірлігінің эталоны, үлгі стандарты, өлшеу құралдарына қатысты талаптарды орнату және сақтау;
- стандартты үлгілерді, өлшеу құралын, өлшеу әдістерін қолдану;
- РФ заңнамасымен қарастырылған, соның ішінде өлшем бірліктерін қамтамасыз ету қызметін көрсету және жұмысты орындау кезінде, қамтамасыз ету қызметін жүзеге асыру.

Өлшеу жұмыстарын ұйымдастырудағы басты міндет әртүрлі әдістермен және құралдармен, әртүрлі жерлерде, әртүрлі уақытта орындалатын бірдей нысандарды өлшеудің салыстырмалы нәтижелеріне қол жеткізу болып табылады. Бұл мәселе өлшем бірлігін қамтамасыз ету жолымен шешіледі. Өз кезегінде, бұл бірлікке өлшеу бірлігін қамтамасыз етілумен және қолдауға бағытталған метрологиялық қызметтердің нәтижесінде қол жеткізіледі.

Ұйымдастырылу жоспарында бұл бірлік метрология субьектілерімен, яғни елдің халықаралық метрологиялық ұйымдарымен, Ресей Федерациясының атқарушы органдарының метрологиялық қызметтерімен және заңды тұлғалардың метрологиялық қызметтерімен байланыстыратын мемлекеттің метрологиялық қызметімен қамтамасыз етіледі.

Мемлекеттің өлшем бірлігін қамтамасыз етудің маңызды нысанына мемлекеттік метрологиялық бақылау және қадағалау болып табылады.

Өлшемдердің біркелкілігін қамтамасыз етудің нормативтік базасы заңды метрология болып табылады, ал техникалық база - физикалық шамалардың бірліктерін шығарып алу және олардың мөлшері туралы ақпаратты елдегі барлық өлшеу құралдарына жіберу жүйесі.



1.2.-сурет. Ресей калибрлеу жүйесінің схемасы

Өлшем бірлігін қамтамасыз ету туралы Заңның 13-бабында өлшеу құралдарын міндетті түрде тексеру көзделген. Мемлекеттік реттеу саласында пайдалануға арналған өлшеуіш аспаптар, өлшеудің біртектілігін қамтамасыз ету, пайдалануға берілгенге дейін, сондай-ақ, жөндеуден өткеннен кейінгі бастапқы тексеру жүргізіледі және пайдалану кезінде мерзімді саналады.

Осы Заңның 18-бабына сәйкес өлшеу құралдарының бірыңғайлығын қамтамасыз етуді мемлекеттік реттеу саласында пайдалануға арналмаған өлшем құралдарының орнына, өз еркімен калибрленуі мүмкін.

Өлшеу құралының калибрлеуі метрологиялық сипаттамалардың нақты мәндерін және (немесе) мемлекеттік метрологиялық бақылауға және қадағалауға жатпайтын өлшем құралдарын пайдалану үшін жарамдылығын анықтау және жүргізу үшін орындалатын операциялар жиынтығы болып табылады.

Калибрлеу заңды тұлғаның метрологиялық қызметіне де, калибрлеу жұмыстарын орындауға қабілетті кез келген басқа да ұйымға да тағайындалуы мүмкін (1.2-сурет).

Өлшеу құралын калибрлеу нәтижелері өлшеу құралы, калибрлеу куәлігі немесе жұмыс құжатында жазылған калибрлеу белгісімен тексеріледі.

1.8. ТЕКСЕРУ ЖӘНЕ КАЛИБРЛЕУ ӘДІСТЕРІ, ТЕКСЕРУ СХЕМАЛАРЫ

Өлшеу құралдарын тексеру және калибрлеуде төрт әдістерді пайдалануға мүмкіндік беріледі: компараторды пайдалана отырып эталонмен тікелей салыстыру, шаманы тікелей өлшеу, шаманы жанама өлшеу.

Эталонмен тікелей салыстыру әдісі тексерілетін өлшеуіш құралдың сәйкес разрядты электрлік кернеуін, жиілік және электрлік ток күшін анықтау, әртүрлі өлшеу үшін электрлік және магниттік өлшем секілді салаларда кеңінен қолданылады. Әдіс негізінде тексеретін және эталон құралдармен бірдей физикалық шамалардың бір уақытта өлшем жүргізілуі жатыр. Осы ретте қателікті тексеретін және эталон құралдың көрсеткіштерінің айырмашылығы ретінде анықтайды. Бұл әдістің артықшылығы оның қарапайымдылығы мен көрнекілігі және автоматты тексеруді қолдану мүмкіндіктері, күрделі қондырғыда болмауы болып табылады.

Компаратор көмегімен салыстыру әдісі тексеретін және эталон құралдың салыстыратын өлшеу құралдарын қолдануға негізделген. Компаратор бірдей шаманы өлшейтін құралдардың көрсеткіштерін салыстыру мүмкін болмаған жағдайда қолданылады, мысалы, екі вольтметрді. Мұндай жағдайларда тексеру схемасына аралық буын – компаратор енгізіледі.

Келтірілген мысалға компаратор болатын потенциометр қажет болады.

Шаманы тікелей өлшеу әдісі өлшеудің белгілі бір шегіндетексерілетін құралды эталонмен салыстыруға мүмкіндігі болғанда тиімді болады. Жалпы алғанда, осы әдістің жұмыс істеу принциптері тікелей салыстыру әдісінің жұмыс істеу принциптеріне ұқсас, бірақ тікелей өлшеу әдісімен әрбір диапазонның

барлық сандық деңгейлерімен салыстырылады. Шамаларды тікелей өлшеу әдістерін, мысалы, тұрақты электрлік токтың вольтметрлерін тексеру немесе калибрлеу үшін қолданады.

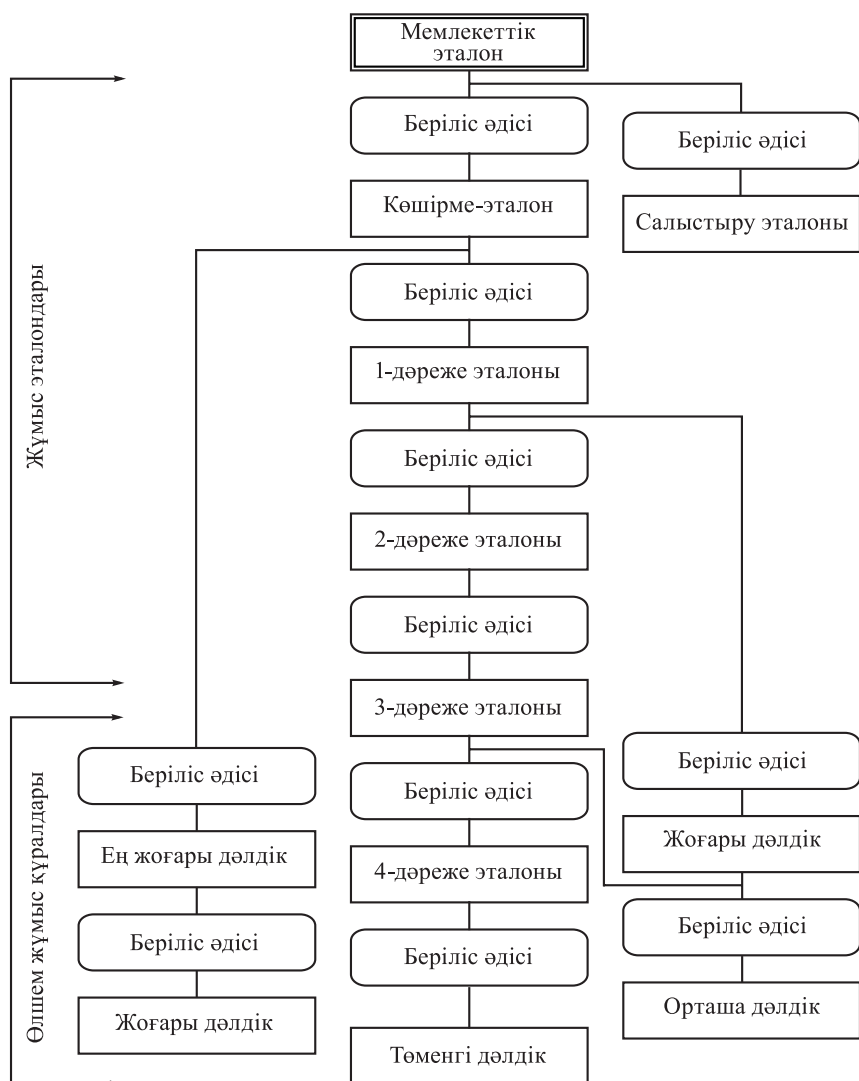
Шаманы жанама өлшеу әдісі нақты өлшенген мәндері тікелей өлшеу арқылы анықтау мүмкін емес болған кезде немесе жанама өлшеу тікелей қарағанда дәлірек болса қолданылады. Бастапқы кезде бұл әдіспен қарастырылмайтын сипаттаманы емес, қарастырылатын белгілі бір тәуелділікпен байланысытын сипаттамаларды табады. Қарастырылатын сипаттамалар есептеу арқылы анықталады. Мысалы, тұрақты ток вольтметрін тексеру және калибрлеу кезінде эталон амперметрмен бір уақытта кедергіні өлшеп ток күшін анықтайды. Содан кейін, кернеудің есептік мәнін тексерілетін немесе калибрленетін вольтметрдің көрсеткіштерімен салыстырады.

Эталоннан жұмысшы өлшеуіш құралдарына өлшеу бірліктерінің дұрыс берілуімен қамтамыз етуін **тексеру схемалары** құрайды, олар мемлекеттік эталонның, разрядтық эталон және жұмысшы өлшеуіш құралдардың метрологиялық бағындыруын анықтайды.

Тексеру схемалары мемлекеттік және жергілікті бөлінеді. Мемлекетте пайдаланылатын осы типтегі барлық өлшеу құралдарының барлығына қолданылатын *мемлекеттік тексеру схемалары* қолданылады. *Жергілікті тексеру схемалары* салалардың метрологиялық органдарына арналған. Сондай-ақ, бағынышты кәсіпорындарды өлшеу құралдары да қолданылады. Жергілікті тексерудің барлық схемалары мемлекеттік бақылаудың схемасымен анықталған үйлестіру талаптарын қанағаттандыруы керек (1.3-сурет). Мемлекеттік тексеру схемаларын Механикалық реттеу және метрология бойынша федералдық агенттігінің ғылыми-зерттеу институттары, мемлекеттік эталондарды ұстаушылар әзірлейді.

Ең жоғары дәлдік, әдетте, мемлекеттік стандарттың өлшеу құралының қателігі дәрежесіне сәйкес келеді. 1-4-ші санаттағы стандарттар жоғары, жоғары, орташа және төменгі дәлдікті беру әдістеріне сәйкес келеді.

Тексеру схемасының әрбір кезеңінде бірлік өлшемін беру тәртібі (әдісі) реттеледі. Тексеру және калибрлеу әдістерінің атауы овалде орналасқан, бұл калибрлеу әдісінің рұқсат етілген қателігін көрсетеді. Өлшем бірлігінің өлшемін берудің



1.3-суреті. Мемлекеттік тексеру қызметін ұйымдастыру құрылымы

сенімділігінің негізгі көрсеткіші - өлшеу құралдарындағы қателердің салыстырмалы схеманың жоғары және төменгі кезеңдері арасындағы қатынасы. Ең дұрысы, бұл коэффициент 1:10 болуы керек, бірақ іс жүзінде оған қол жете алмайды, ал минимал қатынасы әдетте 1: 3 болып табылады.

Электрлік өлшеулер, сондай-ақ өлшеудің басқа түрлері белгілі бір принциптерге негізделген. *Өлшеу принциптері* өлшемдер негізделген физикалық құбылыстар жиынтығы ретінде түсіндіріледі.

Өлшеу әдісі мен принциптерін пайдалану әдістерінің жиынтығы нақты өлшеулердің негізгі сипаттамасы болып табылатын өлшеу әдісі ретінде анықталады. Өлшеу әдістері тікелей бағалау әдісіне және салыстыру әдісіне бөлінеді.

Тікелей бағалау әдісімен өлшенген санның сандық мәні өлшеу құрылғысын көрсетумен тікелей анықталады (мысалы, вольтметр көмегімен кернеуді өлшеу).

Салыстыру әдісі өлшенетін мән шара арқылы шығарылған мәнмен салыстырылатын өлшеу әдісі болып табылады. Бұл, мысалы, әдеттегі (анықтамалық) ұяшықтың ЭМӨ-ге салыстыру арқылы кернеудің кернеу деңгейін өлшеуі мүмкін. Салыстыру әдісінің келесі түрлері бар:

- *Нөлдік әдіс* — үлгі шамасымен өлшенетін шама әрекет толықтай теңестіріледі;
- *Дифференциалдық әдіс* — бұл жағдайда өлшенетін және мағынасы жағынан жақын белгілі эталон шамасы арасындағы айырмашылық өлшенеді (мысалы, тепе-теңсіз белдік әдісімен электрлік қарысыластықты өлшеу);
- *Ауыстыру әдісі* — өлшенетін шаманың әрекеті үлгілік шамамен ауыстыралады (мысалы, уақыты бойынша ретімен жүргізілетін әрекеттер көмегімен).

Салыстырудың аталып өткен түрлері ішінен нөлдік әдіс физикалық шаманы өлшеудің мейлінше дәлдігін қамтамасыз етеді. Нөлдік әдіске жататындары:

- *Компенсациялық әдіс* — өлшенетін шаманың орны үлгілік шаманың есебінен толады (теңдестіріледі);
- *Көпірлік әдіс* — оны қолданған кезде белдіктің өлшеуіш диагоналіндегі тоқ нөлдік мәніне қол жетеді, ал

оған сезімтал индикаторлық аспап (әдетте нөл-индикатор) қосылады.

Өлшеулерді басқа да қасиеттеріне қарай классификациялауға болады. Осылайша, **өлшенетін шаманың түрлену тәсілі және ұсыну формасына қарай** өлшеуіш нәтижелері аналогты (үздіксіз) және сандық (дискреттік) деп бөлінеді.

Аналогты өлшеулерді орындаған кезде өлшеу құралы салыстырмалы шкала индикаторының қозғалысы, экрандағы осциллоскоптың сәулесін және т.б. нәтижесін өлшеудің үздіксіз түрленуін орындайды. Шаманың сандық мәні туралы қорытынды операторға (бақылаушыға) өлшеу қондырғысы шкаласының белгілеріне қатысты көрсеткіш позициясына назар аударады. Осылайша өлшеу дәлдігі индикатор мен геометриялық ерекшеліктерімен шектелген және әдетте 0,05% аспайды.

Сандық өлшеулерде өлшенген мәнді бірқатар үлгі мәндерімен салыстыру автоматты түрде орындалады және оператор сандық мәнде өлшенген мәnnің сандық мәнін алады. Бұл жағдайда барлық көрсеткіштер құрылғыдағы салыстырудың дәлдігіне байланысты және оператордың субъективті қателіктері алынып тасталады. Қазіргі заманғы цифрлық құралдар, әдетте, аналогтарға қарағанда жоғары дәлдікті береді.

Уақытқа қарай өлшенетін шаманың өзгеру сипатын бойынша өлшеудің статикалық әрі динамикалық режимі деп бөлінеді.

Статикалық өлшеу режимі - өлшеу құралдары статикалық режимде жұмыс істейтін өлшеу режимі, яғни оның шығу сигналы оны пайдалану уақытында өзгеріссіз қалады (немесе әр өлшеу нәтижесі тек бір ғана санмен көрсетілуі мүмкін).

Динамикалық өлшеу режимі нәтижесі өлшенген уақыттың функционалдық тәуелділігі, яғни бұл жағдайда өлшеу құралының шығыс сигналы өлшенген мөлшердегі уақыттың өзгеруіне сәйкес уақытпен өзгертін өлшеу режимі болып табылады.

Қолданылатын өлшеу құралдарының әдісі мен қасиеттеріне сәйкес, барлық бұрын қарастырылған өлшеу түрлерінің бір немесе бірнеше ескертулермен орындалуы мүмкін. Өлшеуді бақылау (өлшеуді бақылау) - бұл бір эксперименттік операция, оның нәтижесі байқау нәтижесі болып табылады. Бұл әрқашан кездейсоқ және өлшенген санның мәндерінің бірін білдіреді.

Жалпы түрдегі әрекет принципі бойынша өлшеу құралдары *электрмеханикалық* және *электронды* түрде бөліне алады.

Құрылымдық схемаға сәйкес құрылғылар аналогтық және цифрлық деп бөлінген.

Аналогтық өлшеуіш аспабы (АӨА) дегеніміз өлшенген мәнді өзгертудің үздіксіз функциясы болып табылатын өлшеу аспабы. Аналогтық өлшеу аспаптары төрт негізгі топқа бөлінеді.

Біріншісі, ең үлкен топ сигналдардың параметрлері мен сипаттамалары (мысалы, осциллографтар, вольтметрлер, жиілікөлшеуіш, спектрлік анализаторлар және т.б.) өлшеуге арналған аспаптарға кіреді.

Екінші топ электрлік тізбектердің белсенді және пассивті элементтерінің параметрлерін және сипаттамаларын өлшеуге арналған аспаптардан тұрады. Бұл кедергі, сыйымдылық, индуктивтілік, микросхемалар, транзисторлар, сондай-ақ, жиілік пен өтпелі сипаттамаларды жоюға арналған аспаптар.

Үшінші топ әртүрлі амплитуда, пішіні мен жиілігінің сигнал көзі болып табылатын генераторларды өлшеуден тұрады.

Төртінші топқа түрлендіргіш, аттенюатор, фазаайналдырғыш, жалғастырғыш және т.б. сияқты өлшеу схемаларының элементтері кіреді.

Сандық өлшеуіш аспаптары (СӨА) өлшеуіш ақпараттың дискреттік сигналын автоматты түре шығаратын өлшеуішаспаптары, олардың көрсеткіштері сандық формада ұсынылған.

Құрылымдық қызмет атқаруы бойынша өлшеуіш аспаптар көрсетуші және реттеуші деп бөлінеді, олардың арасында өздігінен жазушы және басушы деп бөлінеді.

Көрсеткіш өлшеуіш аспап—оператордың көрсеткіштерін ғана оқуға мүмкіндік беретін аспап.

Тіркеуші өлшеу аспап —индикаторларды тіркеумен қамтамасыз ететін аспап болып табылады.

Өздігінен жазатын өлшеу аспабы —бұл диаграмма түрінде басып шығарылатын тіркеуші өлшеуіш аспабы, албасушы өлшеуаспабы сандар түрінде болады.

Әрекет ету принциптері бойынша өлшеуіш аспаптары былайша классификацияланады:

- *тура әрекетті* — олар өлшеу ақпараттық сигналының бір немесе бірнеше түрленуін бір бағытта береді, яғни кері байланыс тізбектерін пайдаланбайды, мысалы, амперметрлер, вольтметрлер;
- *салыстырмалы* — белгілі шаманынақты шамамен салыстыру үшін қажет, мысалы, электрөлшеуіш потенциометр;
- *шоғырландырушы* — уақыт немесе басқа да тәуелсіз айнымалымен өлшенетін шама өлшенетін қондырғы, мысалы қуаттың электрлік есептегіші;
- *қосындылаушы* — түрлі арналармен жеткізілетін екі немесе бірнеше шаманың қосындысымен функционалдық байланысқан көрсеткіші бар аспап, мысалы бірнеше электрлік генератордың қуат қосындысын өлшеуге арналған ваттметр.

Өлшеуіш құралдары мынадай негізгі көрсеткіштермен сипатталады.

Өлшеу диапазоны — өлшенетін шама мәнінің облысы, олар үшін өлшеу құралының рұқсат етілген қателіктер (өлшеу) нормаланған.

Көрсету диапазоны — оның басталу және аяқталу мәндер бойынша шектелетін, яғни, мәні өлшенген ең кішкентай $x_{\min}$ болуы мүмкін ең үлкен $x_{\max}$ шамалармен көрсетілген (осы ауқымы кең өлшеу диапазоны болуы мүмкін) шкаланың белгіленген облысы.

Өлшеушегі — өлшеу диапазонының ең үлкен немесе ең төмен мәні.

Жұмыс жиілігінің облысы (жиілік диапазоны) - сигнал жиілігінің өзгеруімен алынған құрылғының қателігі рұқсат етілген шектен аспайтын жиілік жолағы.

Шкаланы бөлу мөлшері - көршілес екі шкала белгілеріне сәйкес өлшенетін шама мәндерінің айырмашылығы.

Өлшенетін параметр бойынша *сезгіштік (S)* дегеніміз өлшеу аспабының шығуындағы сигнал өзгерісінің оның өзгеруіне әкелген өлшенетін шамаға қатынасы болып табылады. Сезгіштік абсолютті, салыстырмалы және шекті болып бөлінеді.

Абсолютті сезгіштікті формула бойынша есептеуге болады

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

мұндағы Δy — сигналдың шығыс өлшемі; Δx — өлшенетін шаманың өлшемі.

Салыстырмалы сезгіштік келесі жолмен анықталады:

$$S_{\text{сал}} = \frac{\Delta y / \Delta x}{x},$$

мұндағы x — өлшенетін шама.

Шеткі сезгіштік (кернеу, ток немесе қуатына қарай) — зерттелетін сигналдың (кернеу, ток немесе қуат) минималды мәні, ол рұқсат етілген мәннен аспайтын қателіктерді алу үшін қажет аспаптың кірісіне беріледі.

Рұқсат ету мүмкіндігі құралмен ажыратыла алатын өлшенетін екі мәнінің бірыңғай мәндердің минималды әр түрлілігі.

Әсер ету шегі (сезгіштіктің) — бұл берілген аспаптың қалыпты есептеу әдісі кезінде байқаушы анықтаған көрсеткіштің ең аз өзгеруіне әкелетін өлшенген шамадағы өзгеріс.

Көрсеткіш вариациясы — өлшенетін шама өзгерісінің бірнеше рет баяу екі бағытындағы өлшеу диапазонының берілген нүктесіне сәйкес келетін көрсеткіштері арасындағы орташа айырмашылық. Көрсеткіш дегеніміз құрылғының есептеу құрылғысымен анықталған және осы мәннің қабылданған бірліктерінде көрсетілген өлшенетін шаманың мәні. Вариация өлшемдердің бірдей мәндерін өлшеген кезде құралдың көрсеткішінтұрақты түрде қайталайды.

Көрсеткішті анықтау уақыты (басылу уақыты) - өлшенетін шаманың өзгеруінен бастап көрсеткіштің анықталуына дейінгі уақыт аралығы. Аналогтық құралдар үшін көрсеткішті анықтау кезі тербеліс амплитудасының көрсеткіші құрал қателігінен артық болмаған кезінде анықталады.

Өлшеуіш құрал қателіктері(аспаптық қателіктер) физикалық шамалардың өлшеу дәлдігіне айтарлықтай әсер етеді.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Негізгі және туынды физикалық шамалар түсінігінің негізгі мәні қандай?
2. Бірліктердің халықаралық жүйесі нені білдіреді?
3. Өлшеу, өлшеу объектісі, өлшеу әдістері мен құралдары дегеніміз не?
4. Өлшеудің қандай негізгі түрлері мен әдістерін білесіз?
5. Эталондардың әр түрлі түрлері қандай мақсатта қолданылады және өлшемдерді эталондардан жұмысшы өлшеуіш құралдарға қалай беріледі?
6. Электр тогы, кернеу және жиілік бірліктерінің эталондары дегеніміз не?
7. «Өлшеу құралдары» ұғымының мәні неде? Олардың қандай сыныптары бар?
8. Өлшеу аспаптары қалай сыныпталады және өлшеу құралдарының сипаттамалары қандай?
9. Өлшеу құралдарының тексеру және калибрлеуінің қандай міндеттерімен таныссыз?
10. Өлшеу құралдары және түрлендіргіштер арасындағы айырмашылық қандай?
11. Өлшеу қондырғысы және өлшеу жүйесі дегеніміз не?
12. Өлшеудің жұмыс құралдары дегеніміз не?
13. Өлшемдердің біркелкілігін қамтамасыз ететін мемлекеттік жүйе қалай ұйымдастырылған және қандай заңмен бекітілген?
14. «Өлшеу принципі» және «өлшеу әдісі» терминдері нені білдіреді?
15. Өлшеудің нақтылығы және дәлдігі дегеніміз не?
16. Өлшеу «жинақтылығы» және «жаңғыртылуы» деген түсініктер қалай ажыратылады?
17. Ресей калибрлеу қызметінің схемасы қандай?
18. Мемлекеттік тексеру қызметін ұйымдастыру ұйымының құрылымы қандай?

2 ТАРАУ

ӨЛШЕУДІҢ МЕТРОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ

2.1. НЕГІЗГІ ТЕРМИНДЕР ЖӘНЕ АНЫҚТАМАЛАР

2001 жылғы 1 қаңтардан бастап Ресей Федерациясы Стандарттау және метрология жөніндегі мемлекеттік комитетінің 2000 жылғы 17 мамырдағы № 139 қаулысы RMG 29-99 «Өлшем бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі. Метрология. Негізгі терминдер мен анықтамалар» қолданысқа енгізілді. Ұсыныстар бұрынғы МеМСТ 16263-70 орнына әзірленді және іс жүзінде ТМД барлық елдерінде қабылданған мемлекетаралық стандарт болып табылады.

Осы ұсыныста, атап айтқанда, өлшеу қателіктері мен өлшеу құралдарына қатысты негізгі терминдер мен анықтамалар заңдастырылған.

Ұсыныста белгіленген қателіктердің жиі қолданылатын терминдері мен анықтамалары төменде келтірілген.

Өлшеу нәтижесіндегі қателік дегеніміз өлшеу нәтижесінің өлшенген мәннің шын (нақты) мәнінен ауытқуы болып табылады. Мәннің нақты мәні белгісіз, ол тек теориялық зерттеулерде қолданылады. Іс жүзінде x_d мәнінің нақты мәні пайдаланылады. Өлшеу қателігі формула бойынша анықталады:

$$\Delta x_{\text{өзг}} = x_{\text{өзг}} - x_d,$$

мұндағы $x_{\text{өзг}}$ — шаманың өлшенген мәні.

«Өлшеу қателігі» термині «өлшеу қатесі» терминімен синоним болып табылады, бірақ оны қолдану ұсынылмайды.

Өлшеудің жүйелік қателігі дегеніміз өлшемдер нәтижесі қателігінің құрамдас бөлігі болып табылады, ол тұрақты болып қалады немесе бірдей физикалық шамаларды қайталап өл-

шеу арқылы үнемі өзгереді. Өлшеу сипатына байланысты жүйелік қателіктер әр түрлі болып бөлінеді; тұрақты; прогрессивті; мерзімді; күрделі заңға байланысты өзгертін қателіктер.

Тұрақтыларға өз мәнін ұзақ уақыт бойы сақтап қалатын қателіктер жатады, мысалы бүкіл өлшеулерді орындау уақытында. Олар айтарлықтай жиі кездеседі.

Прогрессивті дегеніміз үнемі артып немесе азайып отыратын қателіктер болып табылады. Мысалы, оларға белсенді бақылау құралы арқылы бақыланатын бөлікпен байланысатын өлшеу ұштары тозуының нәтижесіндегі қателіктер жатады.

Мерзімдік қателіктер дегеніміз бұл уақыттың периодтық функциясы немесе өлшеу құралының көрсеткішінің қозғалысы болып табылатын қателіктер.

Күрделі заңға байланысты әртүрлі қателіктер бірнеше жүйелі қателіктердің бірлескен әрекеттерінің әсерінен пайда болады.

Өлшеудің аспаптық қателігі дегеніміз қолданылатын өлшеу құралының қателігімен өлшеу қателігінің құрамдас бөлігі болып табылады.

Өлшеу әдісінің қателігі дегеніміз өлшеу әдістерінің жетілмегендігі салдарынан жүйелі өлшеу қателігінің бөлігі. Өлшеу үшін теңдіктерде қабылданған ықшамдаулардың салдарынан түзетулер енгізуге қажетті іс-қимылдың орнын толтыру үшін айтарлықтай маңызды қателіктер туындайды. Әдістің қателігі теориялық қате деп те аталады. Кейде әдіс қателігі кездейсоқ пайда болуы мүмкін.

Өлшеудің субъективті қателігі дегеніміз оператордың жеке ерекшеліктеріне байланысты жүйелік өлшеу қателіктерінің бөлігі. Көрсеткіштерді мерзімінен бұрын немесе өлшеуіш құралдарының есептеген көрсеткіштерін алудан кешіктіретін операторлар да кездеседі. Кейде субъективті қателік *жеке қателік* немесе *жеке айырмашылық* деп аталады.

Өлшеудің кездейсоқ қателігі дегеніміз өлшеу нәтижелері қателігінің құрамдас бөлігі болып табылады, ол қайталанатын өлшемдерде кездейсоқ түрде (белгі бойынша және мәнмен) бірдей физикалық мөлшерде тең дәлдікпен жүзеге асырылады.

Өлшеудің абсолюттік қателігі дегеніміз өлшенген мәnnің бірліктерінде көрсетілген өлшем қателігі.

Өлшеудің салыстырмалық қателігі дегеніміз өлшеудің абсолюттік қателігінің өлшенген шамасының нақты немесе өлшенген мәніне қатынасымен көрсетілген өлшеу қателігі. Үлес немесе пайыздағы салыстырмалы қателіктер (δ) келесі қатынастармен анықталады

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \text{ немесе } \delta = \frac{\Delta x}{x} 100,$$

мұндағы Δx — өлшеудің абсолют қателігі; x — шаманың нақты немесе өлшенген мәні.

Нәтижелерді бірқатар өлшеулерге ыдырту дегеніміз әдеттегі кездейсоқ қателіктердің әсерінен туындаған тең өлшемдер қатарындағы бірдей сандық өлшеу нәтижелері арасындағы сәйкессіздік.

Өлшеу нәтижелерінің шегі дегеніміз төмендегі формула бойынша есептеліп, қатарды (немесе n өлшеудің таңдамасын) құрайтын физикалық шамаларды бірыңғай өлшеуінің нәтижелерін ыдыратудың R_n бағасын көрсетуі:

$$R_n = x_{\max} - x_{\min},$$

мұндағы $x_{\max}$ және $x_{\min}$ — өлшеудің осы қатарындағы физикалық шаманың ең үлкен және ең кіші мәндері.

Өлшеу қатарындағы бірыңғай өлшеу нәтижесінің орташа квадраттық қателігі дегеніміз бірдей физикалық шамалардың олардың орташа мәндерімен нақты өлшеулер қатарындағы бірдей өлшеу нәтижелерінің келесі формуламен шешілетін ыдырауының бағасы:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

мұндағы N — өлшеудің жалпы саны; x_i — i -дара өлшеу нәтижесі; $\bar{x}$ — бірлік нәтижелерінен өлшенетін шаманың орташа арифметикалық мәні.

Іс жүзінде «орташа квадраттық ауытқу» (ОКА) термині кеңінен қолданылады. Формула бойынша *ауытқу* (2.1) олардың орташа мәнінен өлшеулер қатарындағыбірдей нәтижелердің ауытқуын білдіреді.

Өлшеу нәтижесі қателігінің сенімді шекарасы ішінде өлшеу нәтижесінің нақты мәні орналасқан өлшеу аралығын шектейтін қателіктердің ең көп және ең аз мәндерін көрсетеді.

Түзету дегеніміз жүйелік қателіктерді болдырмау мақсатында түзетілмеген өлшеу нәтижесіне енгізілетін шаманың мәні. Түзету белгісі қателік белгісіне қарама-қарсы болып табылады. Шаманың номинал мәніне қосылатын түзетуді шаманың мәніне түзету деп аталады, ал өлшеуіш құралдың көрсеткіштеріне енгізілетін түзетулерді өлшеу құралына түзетудейді.

Өлшеу нәтижесінің дәлдігі дегеніміз өлшемдер сапасының сипаттамаларының бірі болып табылады, ол өлшеу нәтижесіндегі қателіктің нөлге жақындығын көрсетеді. Өлшеу қателігі неғұрлым аз болса, олардың дәлдігі соғұрлым артады деп саналады.

Статикалық өлшеу қателігі дегеніміз статикалық өлшеу жағдайларына тән өлшеу нәтижесінің қателігі.

Динамикалық өлшеу қателігі дегеніміз динамикалық өлшеу жағдайларына тән өлшеу нәтижесінің қателігі.

Ағаттық дегеніміз бөлек өлшеу нәтижелерінің қателігі, ол берілген жағдайларда осы қатардағы басқа нәтижелерден айтарлықтай ерекшеленетін өзгерістер қатарына кіреді. Кейде «ағаттық» терминінің орнына «*өлшеу өрескел қатесі*» термині қолданылады.

2.2. ЖҮЙЕЛІК ҚАТЕЛІКТЕРДІҢ ТУЫНДАУ СЕБЕПТЕРІ МЕН ЖОЮ ӘДІСТЕРІ

Жүйелік қателіктердің сипаты мен пайда болуы, әдетте, белгілі бір тәжірибенің нақты сипаты бойынша анықталады, сондықтан жүйелік қателіктерді табу және жою тәжірибешінің шеберлігіне байланысты. Сонымен қатар жүйелік қателіктердің пайда болуының жалпы себептері бар, олар әдістемелік, аспаптық және субъективті болып бөлінеді.

Әдістемелік қателіктер өлшеу әдісінің жетілмегендігімен, қолданбалы формулаларда шығарудағы және ықшамдалған болжамдарды пайдаланумен, өлшеу құралының өлшеу нысанына ықпалымен байланысты.

Аспаптық қателіктер пайдаланылатын өлшеу құралдарының қателіктеріне байланысты. Олардың пайда болу себептері-

небелгілеу қателігі, құрылымдық кемшіліктер, жұмыс барысында аспаптың сипаттамаларының өзгеруі және т.б. жатады.

Субъективті қателер адамның (оператордың) құрал көрсеткіштерін дұрыс емес есептеуінен туындайды. Мысалы, меңзерлік құралдың көрсеткіштерін (параллакс қателігі) байқаған кезде көздің дұрыс емес бағытқа назар аударуына байланысты болуы мүмкін. Сандық құралдарды және автоматты өлшеу әдістерін пайдалану мұндай қателіктерді болдырмауға мүмкіндік береді.

Қосымша қателіктер құрылғы жұмыс істейтін қалыпты жағдайлардан ауытқуына байланысты болып табылады.

Динамикалық қателіктер өлшенетін шаманың жылдам өзгерістері кезінде қолданылатын техникалық құралдардың инерциясымен байланысты туындайды. Бұл қателіктер аспаптық құралдардан ерекшеленеді, өйткені олар өлшеу құралдарымен жұмыс істейтін жағдайларға байланысты емес.

Жүйелік қателіктер тұрақты болып қалуы немесе тұрақты түрде өзгеруі мүмкін. Соңғы жағдайда олар үдемелі (өседі немесе азаяды), мерзімді және күрделі заңға сәйкес өзгермелі болып бөлінеді.

Жүйелік қателіктердің себептері мен көздерін табу оларға түзетулер енгізу арқылы оларды жоюға немес болдырмау үшін шараларды қолдануға мүмкіндік береді. *Түзету* дегеніміз жүйелік қателікті жою үшін шама мәндерін өлшеу кезінде алынған мәнге қосылуы керек өлшенетін шамамен бірдей аталатын шаманың мәні.

Кейбір жағдайларда *түзету көбейткішін* қолданылады, ол жүйелік қателікті жою үшін өлшеу нәтижесі көбейтілетін сан.

Түзету немесе түзету көбейткіші техникалық құралдарды калибрлеу, тиісті кестелер мен графиктерді құру және пайдалану көмегімен анықталады.

Жүйелік қателерді жоюға арналған өлшеуді ұйымдастырудың арнайы әдістері бар. Мысалы, оларға ауыстыру әдісі және белгінің өтемдеуші әдісі жатады.

Ауыстыру әдісі өлшенетін шаманың реттелетін шама арқылы алынған белгілі шамамен ауыстырылатынын білдіреді. Егер мұндай ауыстыру тәжірибелік қондырғыда ешқандай басқа өзгерістерсіз жасалса және ауыстырудан кейін бірдей аспаптық

көрсеткіштер орнатылса, өлшенетін шама бақыланатын шаманың көрсеткіші бойынша өлшенетін белгілі мәнге тең, ол реттелетін шаманың көрсеткіші бойынша есептеледі. Бұл әдіс үнемі жүйелік қателіктерді болдырмауға мүмкіндік береді. Ауыстыру әдісін пайдалану кезінде өлшеу қателігі белгісіз шаманы ауыстыратын шаманың мәні көрсетілген кезде туындайтын қателікпен анықталады.

Белгісі бойынша қателіктерді өтеу әдісі өлшеу жағдайларына байланысты белгілі бір белгінің (тұрақты электр тогының немесе магнит өрісі кернеуінің әсерінен болатын қателіктер және т.б.) өлшеу нәтижесіне кіруі мүмкін жүйелік қателіктерді болдырмау үшін пайдаланылады. Бұл жағдайда қателік өлшеу нәтижелерді бір таңбамен бір рет және өлшеуді қайталау кезінде қарсы таңбамен бірге енгізілетіндей етіп өлшеуді екі рет орындауға болады. Алынған нәтижелердің орташа мәні бұрын көрсетілген жүйелік қателіктерден босатылған өлшеудің соңғы нәтижесі болады.

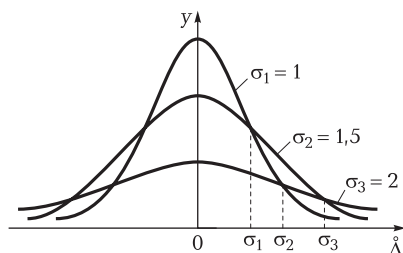
2.3. КЕЗДЕЙСОҚ ҚАТЕЛІКТЕРДІ БАҒАЛАУ

Кездейсоқ қателерді барабар сипаттайтын математикалық аппарат ықтималдық теориясы болып табылады. Соңғысына сәйкес, кездейсоқ шамалар *ықтималдықтар таратудың (немесе ықтималдық тығыздығының) заңымен* толық сипатталады. Өлшеуіштерге жиі қалыпты және біркелкі бөлу тығыздығын қабылдауға тура келеді. Сондай-ақ, әдеттегі функциялармен сәйкес келетін басқа тарату заңдары да бар. Өлшеу қателіктері үздіксіз мәндер қатарын қабылдайтын болса және қателіктердің пайда болу жиілік өлшемінің ең үлкен саны, бірақ әртүрлі белгісі бар болса, үлкен қателіктерге қарағанда шағын қателер жиі кездесетін болса, кездейсоқ қателіктерді сипатауға арналған ықтималдықты бөлудің қалыпты заңын пайдалану қажет, ол үшін

$$y(\overset{0}{\Delta}) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) \exp \left(-\frac{(\overset{0}{\Delta})^2}{2\sigma^2} \right), \quad (2.2)$$

мұндағы $y(\overset{0}{\Delta})$ — кездейсоқ қателіктер ықтималдылығының тығыздығы ($\overset{0}{\Delta}$); σ — кездейсоқ қателіктердің орташа квадраттық мәні.

2.1-сурет. Кездейсоқ қателерді бөлудің қалыпты заңы



σ әртүрлі мәндері үшін өрнектің (2.2) сәйкес келетін қисық сызықтары 2.1-суретінде көрсетілген, онда σ үлкен мәндеріне қарағанда, σ аз мәндері кезінде аз қателіктерді алу мүмкіндігі бар.

Өлшеу нәтижесіндегі қателіктердің берілген шектік мәндердің Δ_1 және Δ_2 арасында болу ықтималдылығы келесі формуламен есептеледі

$$P(\Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2) = \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} y(\Delta) d\Delta = \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\Delta)^2}{2\sigma^2}\right) d\Delta. \quad (2.3)$$

Формуладағы (2.3) интегралды Лапас функция кестесін пайдалану арқылы есептеуге болады

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-t^2/2} dt,$$

тәжірибелік нәтижелерді өңдеудің статикалық және ықтималдылық теориялары бойынша кітаптарда келтіріледі.

Ықтималдылықты байқауға болады

$$P(\Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2) = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{\Delta_2}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\Delta_1}{\sigma}\right) \right].$$

2.1-кестеде бірнеше берілген интервалдар үшін $\left[\Delta_1 \text{ және } \Delta_2 \right]$ σ бірлігінде берілген ықтималдылық мәндері көрсетілген. 2.1-кестенің бірінші бағанында төменгі және жоғарғы шекараларын Δ_1 және Δ_2 сәйкесінше сипаттайтын аралықтар көрсетілген. Ал екінші бағанда өлшеу нәтижесінде кездейсоқ қателік тиісті аралық шеңберінен шықпайтын ықтималдығын P көрсетеді.

2.1-кесте. σ бірліктерінде берілген кейбір аралықтар үшін ықтималдылық P шамасы.

$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \Delta_1 & \Delta_2 \end{bmatrix}$ аралық	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \Delta_1 & \Delta_2 \end{bmatrix}$ аралыққа түсудің P ықтималдылығы	$1 - P$
$[-2/3\sigma, 2/3\sigma]$	0,5	0,5
$[-\sigma, \sigma]$	0,68	0,32
$[-2\sigma, 2\sigma]$	0,95	0,05
$[-3\sigma, 3\sigma]$	0,997	0,003
$[-4\sigma, 4\sigma]$	0,99993	0,00007

Үшінші бағанда кездейсоқ аралықтан шығудың ықтималдығы ұсынылады.

2.1-кестеге сәйкес аралықта $[-2 / 3\sigma, + 2 / 3\sigma]$ және одан жоғары аралығындағы кездейсоқ қателіктердің мәнін алу ықтималдылығы бірдей, ал орташа өлшемдердің тек 0,3% -ында абсолюттік мәні 3σ -тен асатын қателіктер бар. $2 / 3\sigma$ қателік мәні ықтимал қателік болып табылады, ал 3σ мәні жиі ең үлкен мүмкін қателік деп саналады. Алайда, 20—30 ($n > 1$) өлшемдерімен максималды қателік көбіне 3σ асуы мүмкін.

Қателіктерді қосындылау. Өлшеу кезінде жүйелік және кездейсоқ қателіктердің бірнеше көздері болуы мүмкін. Сондықтан іс жүзінде оның бөліктерін құрайтын қателіктердің белгілі мәндері бойынша өлшеу қателігі қосындысының болу ережелері туралы сұрақтар маңызды болып табылады. Жүйелік қателіктердің жойылмаған құрамдас бөліктерін қосындылау кезінде олардың нақты іске асырылуын кездейсоқ нақты іске асырылу деп қарастыруға болады. Егер жүйелік қателіктердің Θ_i жойылмаған құрамдас бөліктерінның шекарасы белгілі болса, осы құрамдас бөліктер шекара шегінде тең таратылады, ал жойылмаған жүйелік қателік шекарасының нәтижесі Θ келесі формула бойынша есептеледі

$$\Theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2},$$

мұндағы k — қабылданған сенімділік ықтималдылығымен анықталған коэффициент; 0,95 сенімділік деңгейімен, 1,1 деп есептеледі; m - жойылмаған жүйелік қателіктер саны.

Кездейсоқ қателіктерді қосындылау кезінде олардың корреляциялық қатынастарын ескеру қажет. Жалпы орташа квадраттық қателігі σ_{Σ} екі құрамдас бөліктер кезінде келесі формуламен есептелінеалады

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\rho\sigma_1\sigma_2}, \quad (2.4.)$$

мұндағы σ_1 және σ_2 — бөлек құрамдастардың орташа квадраттық қателіктері; ρ - корреляция коэффициенті.

Іс жүзінде корреляция коэффициентінің қанағаттанарлық бағасын алу қиын болғандықтан, біз төтенше жағдайлармен шектелуге тиіспіз, яғни $\rho = 0$ немесе $\rho = \pm 1$. Содан кейін формула (2.4) келесі түрде болады:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \text{ егер } \rho = 0,$$

немесе

$$\sigma_{\Sigma} = |\sigma_1 \pm \sigma_2|, \text{ егер } \rho = \pm 1.$$

Осылайша, корреляциялық байланыс болмаған кезде орташа квадраттық қателіктің геометриялық қалыптасады, ал қатаң корреляциялық тәуелділік болған жағдайда алгебралық болады. Бұл тұжырым бірнеше қателіктің көздері жағдайында дұрыс болып табылады.

Өрескел қателіктерді жою. Жалпы қателіктерді бөлу (ағаттықтар) — оңай міндет емес, ол өлшенген шаманың ерекшеліктерін терең түсінуді талап етеді. Ағаттықтарды анықтау үшін *Райт критерийі* ең жиі қолданылады. Осы критерий бойынша, егер орташа арифметикалық мәннен қандай да бір өлшемнің кездейсоқ ауытқуы 3σ асатын болса, бұл өлшеуде ағаттық кетті деп саналады. Осы ретте Райт критерийі өлшемнің ($5 < n < 20$) өте үлкен емес санында қолдану пайдалы болып табылады. Егер өлшемдердің саны $20 < n < 100$ болса, онда 3σ мәнінің орнына 4σ мәні ұсынылады.

Өлшеудің қажетті саны. Өлшеудің қажетті санының мәселелері де айтарлықтай маңызды, өйткені оны шешіміне келесі тәжірибелер барысы байланысты. Өлшемдердің санының көбеюімен, қателіктің тек кездейсоқ құрамдас бөлігі ғана азайтылуы

мүмкін, яғни n өлшеулер санына тәуелді орташа квадраттық қателіктер σ және $\sigma_{\text{орт}}$. Сонымен қатар жүйелік қателіктер n ұлғайған кезде төмендемейді. Егер қалдық жүйелік қателік басым болып табылса, өлшем санының ұлғаюы қателіктердің азаюына іс жүзінде жол бермейді. Бұл жағдайда көбінесе бір өлшеммен шектеледі. Нақты өлшеулерде кездейсоқ қателер негізгі болып табылады. Содан кейін көптеген өлшемдерді жүргізу ақталып шығады. Өлшемдер саны σ орт орташа квадраттық қателігінің ең жоғарғы рұқсат етілген мәнінен аспайтындай етіп таңдалуы керек. Алайда, көптеген өлшеулердің көмегімен ортазаюына кездейсоқ қателіктердің жалпы өлшеу қателігіне қосқан үлесі қалдық жүйелік қателіктердің үлесімен салыстыруға келмейтіндей болғанда ғана қол жеткізілуі тиіс.

2.4. ӨЛШЕУІШ ҚҰРАЛДАРДЫҢ ҚАТЕЛІКТЕРІ

Негізгі ұғымдар мен анықтамалар. «Өлшем бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі. Метрология. Негізгі терминдер мен анықтамалар» РМГ 29-99 ұсыныстары (2.1 бөлімін қараңыз) өлшеуіш құралдарының қателіктерін білдіретін заңдастырылған терминдер мен анықтамалар. Мұнда көрсетілген ұсынымдарға сәйкес өлшеуіш құралдарындағы қателіктердің жиі қолданылатын терминдері мен анықтамалары берілген.

Өлшеуіш құралдарының қателігі өлшеуіш құралдың және өлшенген физикалық мөлшердің нақты (нақты) мәнінің көрсеткіші арасындағы айырмашылық болып табылады. Шама үшін көрсеткіш оның номинал мәні болып табылады.

Өлшеуіш құралдың жүйелік қателігі тұрақты немесе тұрақты айнымалы мән ретінде қабылданатын өлшеу құралы қателігінің құрамдас бөлігі болып табылады. Берілген өлшеуіш құралдарының жүйелік қателіктері, әдетте, жүйелік қателігі дәл осы өлшеуіш құралдарының басқа сол типтегі данасынан айырмашылығы болады, сондықтан біртекті өлшеу топтары үшін жүйелік қателік кейде кездейсоқ қателік ретінде қарастырылуы мүмкін.

Өлшеуіш құралының кездейсоқ қателігі кездейсоқ өзгеретін өлшеу қателігінің құрамдас бөлігі болып табылады.

Өлшеуіш құралының абсолюттік қателігі дегеніміз өлшенетін физикалық шамалардың бірліктерінде көрсетілетін өлшеуіш құралдарының қателігі.

Өлшеу құралының салыстырмалы қателігі — өлшеуіш құралдарының абсолюттік қателігінің өлшенетін физикалық шаманың нақты мәніне қатынасымен берілетін өлшеуіш құралдарының қателігі.

Өлшеу құралының келтірілген қателігі өлшеуіш құралдарының абсолюттік қателігін өлшеудің барлық немесе бөліктік диапазонында тұрақты шаманың шартты қабылданған мәніне қатынасымен көрсетілетін салыстырмалы қателікті білдіреді. Шаманың шартты түрде қабылданған мәні қалыпты мән деп аталады. Жиі өлшеудің жоғарғы шегі қалыпты мән ретінде қабылданады.

Өлшеуіш құралының негізгі қателігі қалыпты жағдайда қолданылатын өлшеуіш құралының қателігі болып табылады.

Өлшеуіш құралдарының қосымша қателігі қандай да бір шаманың оның қалыпты мәнінен немесе қалыпты мәні шегінен шығуындағы ауытқулардың салдарынан негізгі қателікте қосымша пайда болатын өлшеуіш құралы қателігінің құрамдас бөлігі болып табылады.

Өлшеуіш құралының статикалық қателігі өзгеріссіз қабылданған физикалық шаманы өлшеуде пайдаланылатын өлшеуіш құралдың қателігі болып табылады.

Өлшеуіш құралының динамикалық қателігі өлшеу кезінде өзгеретін физикалық шаманы өлшеу кезінде туындайтын өлшеуіш құралдың қателігі.

Өлшеуіш құралының дәлдік класы дегеніміз рұқсат етілген негізгі және қосымша қателіктердің шектері арқылы көрсетілетін дәлдік деңгейін көрсететін өлшеуіш құралының жалпылама сипаттамасы, сондай-ақ оның дәлдігіне әсер ететін өзге де сипаттамалар. Өлшеуіш құралдарының дәлдік класы сол типтегі өлшеу құралдарының қателік дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді, бірақ бұл құралдардың әрқайсысының көмегімен жасалған өлшеу дәлдігінің тікелей көрсеткіші болып табылмайды. Белгілі бір типтегі өлшеуіш құралдарының дәлдік класы техникалық талаптар (шарттар) немесе басқа да нормативтік құжаттарда белгіленеді.

Өлшеуіш құралының дәлдік сипаттамалары өлшем қателігіне әсер ететін өлшеуіш құралының метрологиялық сипаттамаларының (МС) жиынтығын көрсетеді. Өлшеуіш құралының

дәлдігі, тұрақсыздығы, сезімталдық шегі, нөлдік ығуы және т.б. дәлдік сипаттамаларына қосылады.

Өлшеуіш құралдарының нормаланған метрологиялық сипаттамалары. Өлшеу құралдарындағы қателіктерді бағалауға және оларды МС-ын нормаландыру МеМСТ 8.009-84 «Өлшем бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі. Өлшеуіш құралдарының нормаланған метрологиялық сипаттамаларымен» анықталады. Стандарттың негізгі бағыты өлшеу құралдарының, атап айтқанда аналогты электрлік өлшеу аспаптарының (АЭА) қателігін нақты мәніне жақындатуға ұмтылу болып табылады. Стандарттың негізгі айырмашылығы: қажет болған жағдайларда кейбір МС АЭА өлшеуіш құралының бірнеше данасын және осы типтегі өлшеуіш құралдарының жиынтығын көрсетуі керек.

Нормаландыру кезінде ескі МеМСТ-тарды қолдануға қарағанда жана құжаттарды қолдану теориялық және тәжірибелік өлшеудің маңызды міндеттерін шешуге мүмкіндік береді, мысалы өлшеуіш түрлендіргіштердің аналогтық жиынтығын таңдау, ол АЭА берілген қателіктерін алумен қамтамасыз етеді және жалпы АЭА қателіктерін барынша азайтуға, яғни АЭА міндеттерін шешуде оңтайлы жобалауға көшуге мүмкіндік береді.

Стандартта қателіктің төрт құрамдас бөліктерін реттеу қарастырылған:

1) номинал түрлену сипаттамасынан қалыпты пайдалану жағдайларында өлшеуіш құралдары түрленуінің нақты сипаттамасы арасындағы айырмашылық. Қателіктің осы құрамдас бөлігі өлшеуіш құралдарының *негізгі қателігі* деп аталады;

2) қоршаған ортаға және кіріс сигналының бейақпараттық параметрлеріне әсер ететін факторлардың өзгеруі кезіндегі аналогтық өлшеуіш құралдары сипаттамаларының өзгерісі. Қатенің құрамдас бөлігі АЭА-тың *қосымша қателігі* деп аталады;

3) АЭА пен түрлендіргіштердің мінсіз динамикалық сипаттамалары. Қателіктің осы құрамдас бөлігі *динамикалық қателік* деп аталады. Динамикалық қателіктің шамасы аналогтық өлшеуіш құралдарының қасиеттеріне және кіріс сигналдарының сипаттамаларына байланысты;

4) өлшеуіш құралдарымен тұтынылатын қуат. Қателік өлшеуіш құралдарының қасиеттеріне және өлшеу сигналдарының көзіне, сондай-ақ осы сигналдардың сипаттамаларына байланысты. Бұл *өзара әрекеттесу қателігі* деп аталады.

Стандарттармен реттелетін аналогтық өлшеуіш аспаптарының метрологиялық сипаттамалары. Аналогтық өлшеуіш

аспаптарына келесі метрологиялық сипаттамалар нормаланған:

1) қалыпты жұмыс жағдайларын бойынша түрленудің номинал статикалық сипаттамасы $f_{\text{ном}}^0(x)$;

2) өлшеуіш құралдарының Δ_c^0 қателігінің жүйелік құрамдас бөлігінің сипаттамалары;

3) өлшеуіш құралдарының қателігі Δ^0 кездейсоқ құрамдас бөліктерінің сипаттамалары;

4) өлшеу құралдарының Δ қателік сипаттамалары;

5) көрсеткіштер вариациясы (B);

6) көрсеткіштердің ығуы (d);

7) электр тізбегінің толық кернеу кірісі ($Z_{\text{вх}}$) және шығысы ($Z_{\text{вых}}$);

8) өлшеуіш құралдарының динамикалық сипаттамалары;

9) кіріс сигналының бейақпараттық параметрлері;

10) өлшеуіш құралдарының жүйелік қателіктеріне әсер ететін функциясы [$\psi(\xi)$];

11) кіріс сигналының бейақпараттық параметрлерімен және әсер ететін сыртқы факторлар өзгерістерімен туындаған метрологиялық сипаттамалардың ең үлкен рұқсат етілген өзгерісі [$\Delta_1(\xi)$];

12) өлшеу диапазоны;

13) МеМСТ 8.401-80 бойынша дәлдік класы.

Негізгі қателік. Мұндай қателік өлшеуіш құралдарының қасиеттерін көрсетеді және қалыпты және қосымша қателіктері аз болса, жұмыс жағдайларында қолдану үшін нормаланады. Жеке құралдар ретінде қолданылатын аналогтық өлшеуіш құралдары үшін әсер ететін факторлар мәнінің берілген облысына арналған тек негізгі қателік келесі нормалана алады: өлшеуіш құралдар қателіктерінің өзгерісі барлық әсер ететін факторлардың жұмыс облысында негізгі қателіктің жартысынан азын құрайды. Басқа құралдармен ақпараттық байланысқа арналған аналогтық өлшеуіш құралдары үшін, егер әсер ететін факторлардың жұмыс облысында негізгі қателіктің 20% құрайтын болса негізгі қателік қалыпты жағдайларда қолданылу үшін нормаланады.

Жалпы жағдайларды негізгі қателіктің сипаттамалары берілген типтегі өлшеуіш құралдарының бүкіл жиынтығының қасиеттерін көрсетуі тиіс. Егер ол өлшеуіш құралдарының қателіктері моделіне берілетін болса, әрбір жеке өлшеуіш құрал үшін қателікті анықтауға болады.

Үлгі ретінде негізгі қателікті $\Delta_0(t)$ келесі түр моделі ретінде қабылдауға болады

$$\Delta_0(t) = \Delta_{oc.c}(t) + \overset{0}{\Delta_{oc}}(t) + \Delta_{oc.r},$$

мұндағы $\Delta_{oc.c}(t)$ — өлшеуіш құралының жүйелік қателігі; $\overset{0}{\Delta_{oc}}(t)$ — кездейсоқ стационарлық (эргодиалық) орталықтанған қателігі; $\Delta_{oc.r}$ — гистерезис типтес құбылысты ескеретін негізгі кездейсоқ шама.

Жалпы жағдайда, бұл баяу өзгеретін стационарлық процесс, бұл іс жүзінде $\Delta_{oc}(t)$ шамасының тұрақты немесе өзгеріс заңдылығы деп саналады. Өлшеуіш құралдарының қателігінің құрамдас бөліктерінде жиіліктердің кең спектрі болуы мүмкін болғандықтан, оны қабылдау ыңғайлы

$$\overset{0}{\Delta_{oc}}(t) = \overset{0}{\Delta_{oc.вч}}(t) + \overset{0}{\Delta_{oc.нч}}(t),$$

мұндағы $\overset{0}{\Delta_{oc.вч}}(t)$, $\overset{0}{\Delta_{oc.нч}}(t)$ — негізгі жоғары және төменгі жиіліктегі сәйкесінше өлшеу құралының құрамдас бөліктері. Көршілес мәндер $\overset{0}{\Delta_{oc.вч}}(t)$ корреляцияланбаған, ал көршілес мән $\overset{0}{\Delta_{oc.нч}}(t)$ корреляцияланған.

Бірқатар жағдайларда өлшеуіш құралдарын қолдану үшін автокорреляция функциясын білу қажет (МеМСТ 8.508-84). Корреляцияланбаған құрамдас бөліктер $\overset{0}{\Delta}(t)$ ОКА $\sigma[\overset{0}{\Delta_{oc}}]$ берілуімен реттеледі. Берілген типтегі өлшеуіш құралдарынның кездейсоқ қателіктері құрамдас бөліктерінің сипаттамаларын шашыратуын ескермейді, ал үстінен баға алу үшін ОКА рұқсат етілген мәнін, яғни $\sigma_d[\overset{0}{\Delta_{oc}}]$ нормаландырады. Берілген типтегі өлшеуіш құралдарынның жүйелік қателіктерінің сипаттамаларын шашыратылуы мүмкіндігі басым, сондықтан стандарттарда математикалық күтім $M[\Delta_c] \approx \bar{\Delta}_c$ мәні және осы қателіктің квадратық ауытқуы $\sigma[\Delta_c]$ нормаланады.

Мұндай қателіктер АЭА шкаласы бойынша өзгеруі мүмкін, сондықтан өлшеу құралдарының дәлдігін белгілі бір қателікпен олардың мәндерінен бағалайтындай етіп өлшеу құралдарының қателіктерін табу қажет болатын нүктелер санын анықтау мәселесі туындайды. Әдетте, нүктелер 5, 25, 50, 75, 95% өлшемдеріне сәйкес таңдалып алынады, егер АЭА-та айтарлықтай өзгерістер орын алса және өзгеріс болмаса, тиісті 0, 25, 50, 75, 100% өзгеру диапазоны болмайды.

Қосымша қате. Мұндай қателік сыртқы факторлардағы өзгерістерді және АЭА жұмысына қатысты бейақпараттық сигнал параметрлерін көрсетеді. АЭА жұмысына әсер ететін сыртқы факторлардың ықтималдылық мәндерінің барлық спектрі шартты аймақтарға бөлінеді, олардың біреуі АЭА-дың қалыпты пайдалану шарттары ретінде қабылданады.

Осы аймақтарға сай шектерден әрбір факторлардың ауытқулары кезінде кейбір $\Delta \xi$ факторының өлшем бірліктерінің алдын ала анықталған саны ескеріліп, қосымша қателік $\Delta(x_1 \xi)$ немесе өзгеріс Δx пайда болады (мысалы, жиілік сипаттағы). Егер әсер ету факторларының мәндері барлық жұмыс аймағындағы қателіктердің өзгерісінен аз болса, әсер ету факторларының белгіленген аумағы үшін тек негізгі қателік ғана қалыпқа келтірілуі мүмкін. Әсер ету факторлары мәндерінің жұмысшы облыстары анық типтегі өлшеуіш құралындағы техникалық жағдайлар мен стандарттарында белгіленген. Қателік $\Delta(x_1 \xi)$ АЭА негізгі қателігі сияқты сандық сипаттамалармен қалыпқа келтірілуі керек.

Динамикалық қателік. Мұндай қателіктер АЭА-да сипаттамаларының идеал болу айырмашылығы салдарынан туындайды, сондықтан қателіктерді есептеу кезінде АЭА идеал сипаттамасын белгілі деп санаймыз. Бұл жағдайда динамикалық қателік болмайды. Динамикалық қателіктер мәні кіріс сигналы мен әсер ететін факторлардың қасиеттеріне байланысты болады.

Динамикалық қателерді анықтау үшін АЭА динамикалық сипаттамаларының бірін білу қажет, ол уақыт бойынша өзгеретін кіріс және шығыс сигналдарының арасындағы байланысты сипаттайды. Бұл мүмкіндіктер АЭА толық және ішінара динамикалық сипаттамалары жатады.

Толық динамикалық сипаттамалар құралдың немесе түрлендіргіштің шығыс сигналының өзгеруін кіріс сигналының немесе әсер ету мөлшерінің ақпараттық немесе бейақпараттық параметрлеріндегі кез-келген уақыт өзгерісімен анықтайды. Бұл сипаттамаларға жататындар:

- дифференциал теңдеу $F[x(t), y(t), y^{(1)}(t), \dots, y^{(n)}(t)] = 0$, мұндағы $x(t)$, $y(t)$ — өлшеуіш құралының кіріс және шығыс сигналы, ал жоғарғы индекстер (1) және (i) уақыттағы дифференция операциясын білдіреді;
- импульстік (салмақ) сипаттамасы $h(t)$;
- айнымалы сипаттамасы $g(t)$;
- беріліс функциясы $K(S)$

- $K(\omega)$ және $\varphi(\omega)$ амплитудалық және фазалық-жиілік сипаттамаларының жиынтығы.

Толық емес динамикалық сипаттама АЭА толық динамикалық сипаттамасының параметрі немесе функционалдығы болып табылады. Мысалы, электрондық-сәулелік осциллографтың (ЭСО) айнымалысипаттамасының параметрлері: көтеру уақыты, лақтырылуы, шыңның біркелкі болмауы; көрсететін құралдардың орнатылатын уақыты; өлшемді түрлендіргіштен өткізілген жиілік жолағы және өлшемді қажетті дәлдікпен өлшеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін басқа сипаттамалар.

Белгілі бір АЭА топтарының және аналогтық өлшеуіш түрлендіргіштерінің нақты динамикалық сипаттамаларының жиынтығын МеМСТтармен, сондай-ақ нақты АЭА техникалық ерекшеліктерімен анықтайды. Мысалы, аспаптарды қалыпты жағдайда көрсету үшін көрсеткіштерді орнату уақыты қалыпты болуы керек. Құрылғының динамикалық қасиеттері туралы басқа ақпаратты да көрсетуге болады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Кездейсоқ, жүйелі, абсолютті және салыстырмалы өлшеу қателігі нені білдіреді?
2. Өлшеу нәтижелерінің орташа квадраттық қателігі дегеніміз не?
3. Неліктен әдістемелік, аспаптық және субъективті қателіктер туындайды?
4. Түрлі қателіктердің қосындысы қалай жасалды?
5. Өлшеу құралының қателіктерінің негізгі түрлері қандай?
6. Стандарттарға реттелетін өлшеуіш құралдарының метрологиялық сипаттамалары қандай?
7. Өлшеуіш құралдарының негізгі, қосымша және динамикалық қателіктері қалай анықталады?
8. Қателіктерді қалай жоюға болады?
9. Қажетті өлшеулердің саны қалай анықталады?

ЭЛЕКТРӨЛШЕУІШ АСПАПТАРДЫҢ ӨЛШЕУІШ ТІЗБЕКТЕРІ ЖӘНЕ МЕХАНИЗМДЕРІ

3.1. ӨЛШЕУІШ МЕХАНИЗМДЕР ТУРАЛЫ ЖАЛПЫ МӘЛІМЕТТЕР

Өлшеу механизмінде қозғалатын бөлік бар, онда механикалық күштер өлшенетін электрлік шамаға байланысты әрекет етеді.

Айналу моменті. Өлшеуіш механизмдер механикалық энергияға электромагнитті энергияны түрлендіру принципі бойынша жұмыс жасайды, механизмнің қозғалатын бөлігімен қабылданады. Осы күштердің механикалық күші және айналу моменті $M_{\text{айн}}$ механизмнің қозғалмалы бөлігіне әсер етеді және ток, кернеу, магниттелген немесе электрлендірілген денелермен жасалатын, магнитті немесе электр өрісінің өзара әрекеті нәтижесінде пайда болады.

Операция принципі бойынша өлшеу механизмдері келесі түрлерге классификацияланады:

- *магнитэлектрлік* (оларда айналу моменті тұрақты магниттің магнит өрісі мен контурдың (жақтауша) токпен әрекеттесу жолымен жасалады; қозғалатын бөлік жақтау да, магнит те болуы мүмкін);
- *ферродинамикалық* (механизмдердегі айналу моменті электромагнит және қозғалатын контурдың (жақтауша) токпен жасалатын магнит өрісінің өзара әрекеті нәтижесінде туындайды);
- *электрдинамикалық* (механизмдердегі айналу моменті екі контурдың (жақтауша) токпен өзара әрекеттесуі арқылы жасалады, олардың біреуі қозғалады);
- *электромагниттік* (оның ішінде айналу моменті ферромагниттік денеде механизмнің қозғалысқа кел-

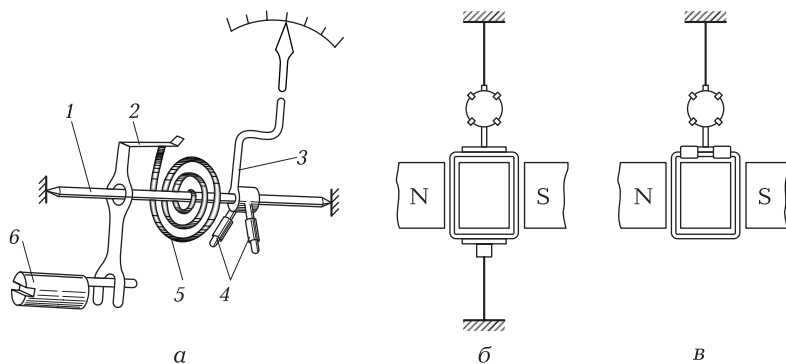
тіретін бөлігі болып табылатын жылжымайтын шарғы магнит өрісінің әсерінен жасалады);

- *электрстатикалық* (механизмдердегі айналу моменті екі немесе одан да көп зарядталған денелердің өзара әрекеттесуінен туындайды, олардың біреуі механизмнің қозғалатын бөлігі болып табылады);
- *индукциялық* (онда айнымалы токпен қозғалыссыз контурлар қолданылады, олар айнымалы магнит өрістерін, дискіде индукциялайтын токтарды құрады және механизмдегі қозғалатын бөлік болып табылды).

Қарсы іс-қимыл жасайтын момент. Өлшеуіш механизмінің жұмысы үшін әрбір өлшенетін шаманың мәнімен айналу моментіне қозғалатын бөліктің тек бір бұрышы сәйкес келуі қажет. Осы мақсатта, өлшеуіш механизмінде ауытқу бұрышының функциясы болып табылатын және айналу моментіне бағытталатын қарсы іс-қимыл жасайтын момент M_k қарастырылған.

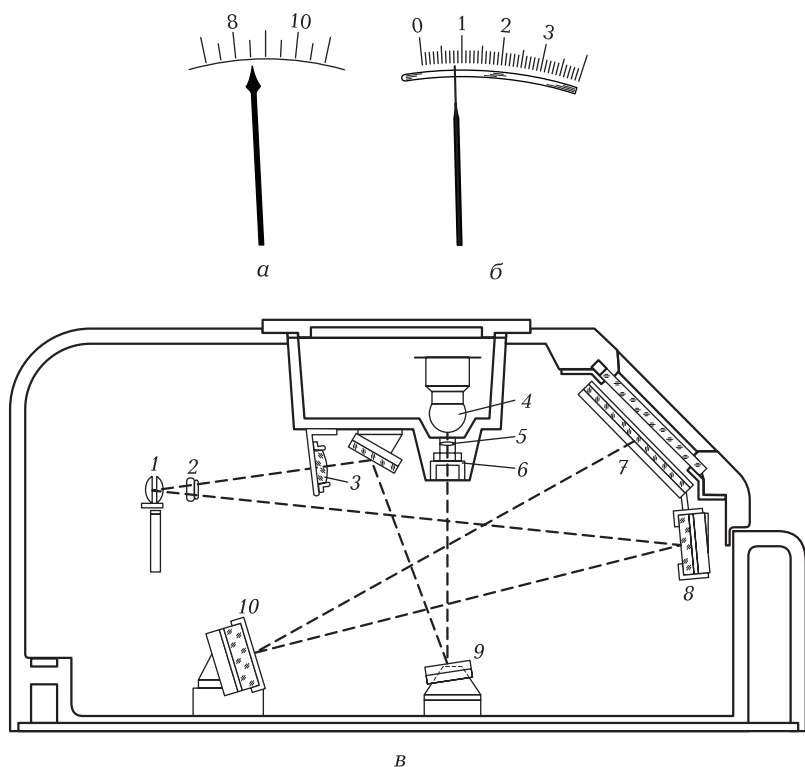
Қалыптасқан ауытқу. Айналмалы және қарсы іс-қимыл жасайтын момент бірдей болса, қалыптасқан ауытқу болады.

Қарсы іс-қимыл жасайтын момент (3.1, а -сурет) әдетте спиральді серіппелер арқылы механикалық күшпен құрылады, созылу (3.1, б-сурет) немесе ілме (3.1 сур., С). Қарсы іс-қимыл жасайтын момент M_k , серіппелер, созылмалар және ілмелердің



3.1-сурет. Қарсы іс-қимыл жасайтын моментін есептеу әдістері:

а — спиральді серіппелерді қолдану: 1 — өлшеуіш жүйенің осы; 2 — бағыттаманы нөлге орнататын иінтірек; 3 — бағыттама; 4 — теңдестіруші қарсы-салмақтар; 5 — қарсы іс-қимыл моментін жасайтын спиральді серіппе; 6 — иінтіректі 2 бұрауға арналған эксцентрик; б — созылу арқылы; в — ілме арқылы



3.2-сурет. Өлшеуіш механизмдердің есептейтін құрылғылары:

а — көдімгі шкала және найза нысаны бар бағыттама; б — айна шкаласы және пышақ тәрізді ұшы бар бағыттама; в — ішкі жарық есептеуіші бар аспап: 1 — қозғалатын бөліктің айнасы; 2 және 5 — линзалар; 3 және 9 — айналар; 4 — шам; 6 — диафрагма; 7 — шкаласы; 8 және 10 — айналар

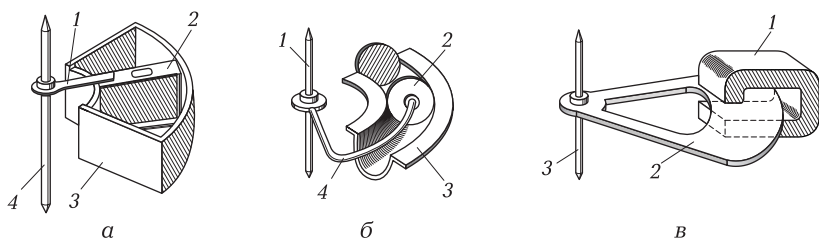
бұралуымен жасалады және бұралу бұрышының α қозғалыс бөлігіндегі бұрылысына пропорционал:

$$M_k = W\alpha,$$

мұндағы W — меншікті қарсы іс-қимыл жасау моменті, ол серіппе жасалатын материалдың серпімділік қасиеттері мен таспаның геометриялық өлшемдеріне (ұзындығы, ені мен қалыңдығы) байланысты.

Есептеу құрылғылары. Өлшеу жүйесінде негізінен есептеу құрылғыларының үш түрі пайдаланылады:

1) қалыпты шкала және найза тәрізді ұшы (3.2, а -суреті) бар бағыттама;



3.3-сурет. Тыныштандырғыш түрлері:

а — ауа ілікті: 1 — түбір; 2 — алюминий тілімі; 3 — камера; 4 — қозғалмалы бөліктің осы; б — ауа піспекті: 1 — қозғалмалы бөліктің осы; 2 — алюминий тілімі; 3 — камера; 4 — түбірі; в — магниттік -индукциялық: 1 — тұрақты магнит; 2 — алюминий тілімі; 3 — қозғалмалы бөліктің осы

2) айна шкала және пышақ тәрізді ұшы бар бағыттама (3.2,б-суреті) ;

3) айна арқылы жарық есептеу(3.2, в суреті)

3.2, в суретте ішкі жарық есептеуіші бар аспапты көрсетеді. Жарық сәулесі линзалар 5, диафрагма 6, айналар 3 және 9 және линза 2 арқылы шамнан 4 қозғалмалы бөліктің айнасына 1 бағытталған, онда шағылысып, шкалаға 7 айналар 8 және 10 арқылы түседі. Шкалада шам жібіне ұқсас ортасында сызықты дағы бар дөңгелек сәулелі кескін пайда болады.

Бірнеше көрініс айнадан шкалаға дейінгі қашықтықты ұзартуға және шкала бойымен сәуле арқылы пайда болған дақтың көбірек қозғалуын алуға мүмкіндік береді.

Тыныштандырғыш. Механизмнің қозғалатын бөлігі серпімді элементпен байланыстырылған массаны көрсетеді, яғни бұл тербеліс жүйесі болып табылады. Тербелмелі қозғалыс жүйесін тыныштандыру үшін, тыныштандырғыштар (демпферлар) қарастырылған. Өлшеуіш механизмдерде ауа және магниттік-индукциялық тыныштандырғыштар пайдаланады.

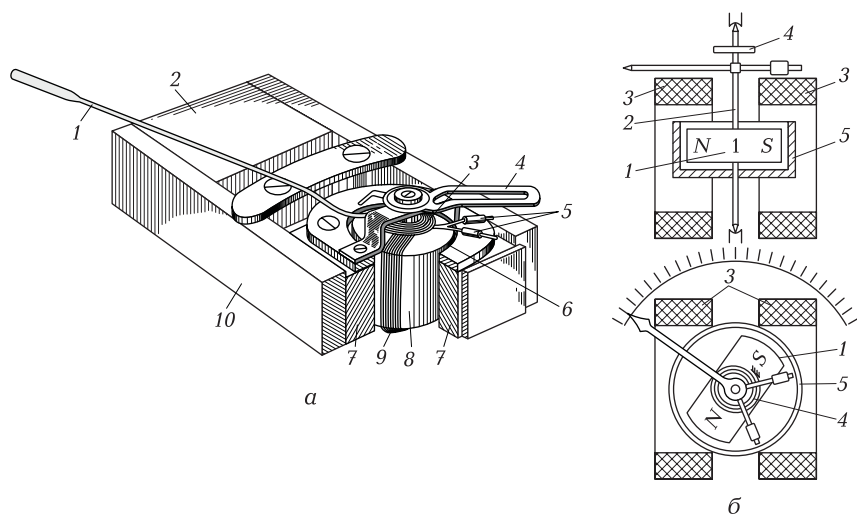
Әуе тыныштандырғыш тартары, әдетте, ілікті (3.3а-сурет) және піспекті түрде орындалады (3.3,б-сурет). Ілікті тыныштандырғыштар камерада 3 қозғалатын алюминий тілігін 2 және қозғалмалы бөліктің осында 4 орналасқан түбірге 1 бекітіледі. Ілік пен камераның арасындағы саңылаулар кішілеу (0,3 ... 0,5 мм), сондықтан қозғалатын бөліктің қозғалыс камерасындағы ауа кедергісі үлкен. Піспекті тыныштандырғыштар да осылай жұмыс істейді.

Магниттік-индукциялық тыныштандырғыш 3.3, в-суретінде көрсетілген. Тынышталу моменті тұрақты магнит өрісінің 1

өзара әрекеттесу күшімен және алюминий тілігінде 2 индукцияланып, магнит өрісіндегі қозғалыс кезінде камерада қозғалатын токпен жасалады.

3.2. МАГНИТТІК-ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУШІ МЕХАНИЗМДЕР

Қозғалатын шарғысы (жақтауша) бар магниттік-электрлік өлшеу механизмі 3.4, а суретте көрсетілген. Мұндағы қозғалыстағы бөлік жақтауша 9 болып табылады, ол полюстік ұштары 7 бар магнитөткізгіш пен жұмсақ болаттан жасалған өзек 8 арқылы туындағанауа саңылауына 6 бекітілген. Магнит өрісі тұрақты магнитпен 2 жасалады. Магниттік өрістің күш тізбектері полюстік ұштар мен өзек арқылы тұйықталып, ауа саңылауында 6 радиалды бағытта өтіп, осылайша саңылауда радиал бағытталған тең өріс жасайды. Өлшенетін ток жақтаушаға 9 екі серіппелі ток өткізгіштері 3 арқылы беріледі, олар бір мезгілде қарсы іс-әрекет



3.4-сурет. Магнитті-электрлік механизмдер:

а - қозғалмалы шарғымен: 1 - бағыттама; 2 - тұрақты магнит; 3 - серіппелі токөткізгіш; 4 - нөлдік күйдегі бағыттамадың түзеткіші; 5 - теңгергіш жүкше; 6 - ауа саңылауы; 7 - полюстікұштар; 8 - өзек; 9 - қозғалмалы шарғы (жақтауша); 10- магнитөткізгіш; б - қозғалатын магнитпен: 1 - магнит; 2 - ось; 3 - шарғылар; 4 - қарсы әрекет серіппесі; 5 - цилиндр (тыныштандырғыш)

моментін жасауға мүмкіндік береді. Жақтауша осында бағыттама 1 бекітілген, ол шкаланың үстінен жылжиды. Қозғалатын бөлікті тыныштандыру теңгергіш жүкшелер 5 қолданылады. 4 нөлдік күйдегі бағыттамааның түзеткіші белгіленген, ол бағыттамааны нөлдік күйге әкелуге арналған.

Қозғалыстағы магниті бар магниттік-электрлік өлшеуіш механизмдері кеңінен (3.4, б сурет.) пайдаланылады. Магнит 1 осьтерге 2 бекітілген. Шарғылар 3 арқылы өтетін ток магнит өрісін тудырады және қозғалатын магнит осы магнит өрісі бойымен құрылуға ұмтылады. Қарсы іс-әрекет моменті серіппе 4 арқылы жасалады. Аспаптағы тыныштандырылу қозғалмайтын мыс цилиндр (тыныштандырғыш) 5 көмегімен қол жеткізіледі, онда магнит қозғалысы кезінде магнит өрісімен өзара әрекет ететін ток индукцияланады.

Магниттік-электрлік өлшеуіш механизмнің әрекет ету принципі 3.5, а суреттегі схемада көрсетілген. Жақтаушаның жұмыс кезіндегі бұрылысы кезінде күш тізбектері оның тік жақтарына перпендикуляр болғандықтан (3.5, б-суреті), БиоСавар заңының негізінде, саңылаудағы өрістің теңдігін ескере отырып, жақтаушаға әсер ететін күш шамасын алуға болады:

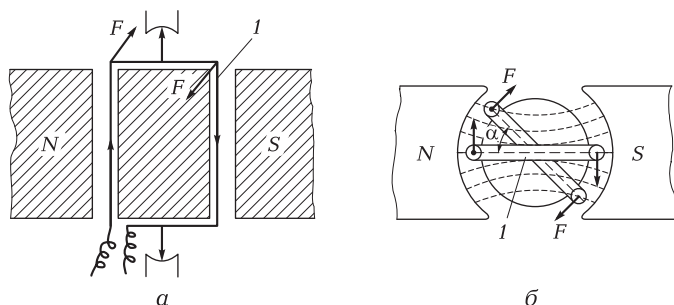
$$F = BIlw \quad (3.1)$$

мұндағы B — саңылаудағы индукция; I — жақтаушадағы ток күші; w — жақтаушаның орамдар саны; l — жақтаушаның тік жағының ұзындығы.

F жұптары күші айналу моментін тудырады

$$M_{\text{айн}} = Fa, \quad (3.2)$$

мұндағы a — жақтаудың еніне тең жұптың иіні.



3.5-сурет. Магнитті-электрлік өлшеуіш механизмнің әрекет ету принципі:

а — тіліктегі механизм схемасы; б - механизмнің жоғарыданкөрінісі; 1 - токпен қозғалмалы жақтауша

Формуладағы F мәнін (3.1) өрнектің (3.2) орнына қосақ, келесіні аламыз

$$M_{\text{айн}} = BIwla = BIws,$$

мұндағы s — жақтауша ауданы; $s = la$.

Серіппелер көмегімен жасалатын қарсы іс-әрекет жасау моменті,

$$M_{\kappa} = W\alpha,$$

мұндағы W — серіппелердің серпімділік қасиеттерімен анықталған нақты қарсы іс-әрекет моменті; α — қозғалмалы жүйенің айналу бұрышы.

Қалыптасқан ауытқу айналу және қарсы іс-әрекет жасау моменттерінің теңестірілуі кезінде орын алады:

$$M_{\text{айн}} = M_{\kappa} \quad (3.3)$$

Екі моменттер үшін өрнекті (3.3) алмастырсақ, келесіні аламыз

$$BIws = W\alpha,$$

бұл жерден

$$\alpha = \frac{BIws}{W} \text{ немесе } \alpha = S_1 I.$$

$$S_1 = \frac{\alpha}{I} = \frac{BIws}{W} \text{ шамасының өлшенген ток бірлігіне сәйкес}$$

ауытқу бұрышын білдіруі *токка сезгіштігі* деп аталады.

Магниттік-электрлік өлшеу механизмінің токка сезгіштігі тұрақты шама болғандықтан (ток немесе ауытқу бұрышына тәуелсіз), онда α ауытқу бұрышы өлшенетін токтан I тәуелді және магниттік-электрлік өлшеуіш механизмнің шамасы тең болады.

Ток бағыты I өзгергенде, F күштерінің бағыттары (3.5-суретті қараңыз) және айналу моменті қалпына келтіріледі, сондықтан бұл механизм тек тұрақты ток өлшеу үшін жарамды.

Айнымалы токтың орташа немесе нақты мәндерін өлшеу үшін магниттік-электрлік өлшеуіш механизмін тек түзулеу құрылғысын үйлестіре отырып пайдалануға болады.

Магниттік-электрлік өлшеуіш механизміндегі тыныштан-дырғыш магниттік-индуктивті түрге жатады. Осы мақсат үшін

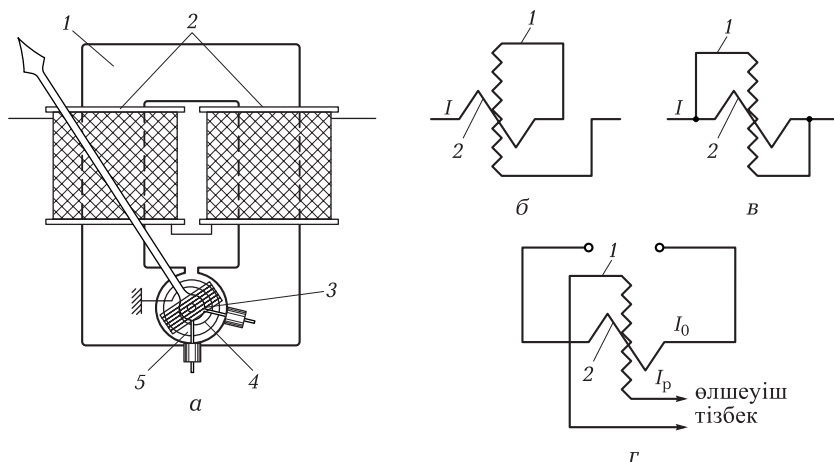
арнайы құрылғы талап етілмейді, өйткені жақтаушаның қозғалысы кезінде жақтауша орамында тұрақты магнит өрісінде, сонымен қатар оның метал қаңқасында токтар индукцияланады, ал магнит өрісімен өзара байланыс нәтижесінде тыныштандырушы момент пайда болады.

Магниттік-электрлік өлшеуіш механизмдері келесі қасиеттерге ие:

- тұрақты тоқты өлшеу кезінде ғана қолданылады;
- бүкіл шкала бойынша (шкала теңдігі) тұрақты сезгіштікке ие;
- жақтаушалы өлшеуіш механизмімен тоқты тікелей өлшеу жоғары шекпен шектелген, ол ампер үлесінен аспайды, өйткені үлкен ток болған кезде токөткізгіштерінің жанып кету қаупі туындайды, сонымен қатар төмегі шегімен миллиампер үлес қатарынан аспайды, өйткені айналу моментінің мәні ақ ток кезінде тіреуде үйкеліс моментімен салыстырылады. Өлшеудің шегінен шығу қосымша түрлендіргіштерді пайдалануды талап етеді, ал шектен төмендеу жақтаушаны созба немесе ілмелерде бекітуге ауысуды қажет етеді;
- өз жұмысы үшін энергияны аз пайдалануымен сипатталады, ал бұл аз қуатты тізбектерде өлшеу үшін маңызды жағдай болып табылады.

3.3. ФЕРРОДИНАМИКАЛЫҚ ӨЛШЕУІШ МЕХАНИЗМДЕР

Ферродинамикалық өлшеуіш механизмінің құрылғысы 3.6, а суретте көрсетілген. Мұнда магнит ағыны тұрақты магнитпен емес, электромагнитпен жасалады. Электромагниттің магниттік тізбегі қамытын жарма 1 және өзек 5 жұмсақ табақ болаттан немесе қысымдалған ферромагниттік ұнтақтан жасалған, гистерезисте аздаған жоғалтуы мен соқпа тогы бар. Жармаға киілген шарғылардағы 1 ток ауа саңылауында қозғалатын шарғы 3 орналасқан тең радиалды өрісті қоздырады. Қарсы іс-әрекет моменті екі серіппелер 4 арқылы жасалады, олар бір уақытта жақтаушаға токтың өту үшін қызмет атқарады.



3.6-сурет. Ферродинамикалық өлшеуіш механизмі:

а - құрылғы: 1 - жарма; 2 - шарғылар; 3 - қозғалатын шарғылар (жақтауша); 4 - токөткізгіштер (серіппелер); 5 - өзек; б, в, г - шарғылардың дәйекті, параллель және тәуелсіз байланысуы; 1 - жақтауша; 2 - қоздыруақтаужөн

Ферродинамикалық өлшеуіш механизмі айнымалы токта өлшеу үшін пайдаланылады. Жақтаушадағы және ағындағы токтың шұғыл мәнінде айналу моментінің шұғыл мәніне арналған өрнекті жазуға болады

$$M_{\text{айнт}} = B_t s w i_p,$$

мұндағы B_t және i_p — саңылаудағы және сәйкес жақтауша тогындағы магниттік индукцияның шұғыл мәндері; s және w — жақтаушадағы орамның саны мен ауданы.

$B_t = B_{\text{max}} \sin \omega t$ деп болжасак, мұндағы B_{max} — саңылаудағы максималды индукция; ω — ауытқу бұрышы, онда $i_p = I_{p\text{max}} \sin(\omega t - \psi)$, мұндағы $I_{p\text{max}}$ — жақтаушадағы максималды ток; ψ — жақтаушадағы ток пен ағын арасындағы фаза байынша жылжуы.

Механизмнің қозғалыс бөлігі өзінің инерциялығы салдарынан айналу моментінің шұғыл өзгерістерін бақылай алмайды және оның ауытқуы T периоды кезіндегі айналу моментінің орташа мәніне пропорционал болады:

$$M_{\text{айн.ср}} = \frac{1}{T} S W \int_0^T B_{\text{max}} \sin \omega t I_{p\text{max}} \sin(\omega t - \psi) dt = \frac{1}{T} B_{\text{max}} I_{p\text{max}} s w \int_0^T \sin \omega t \sin(\omega t - \psi) dt = \frac{1}{T} \frac{T}{2} B_{\text{max}} I_{p\text{max}} s w \cos \psi.$$

Нақты мәндерге өту арқылы алынады

$$M_{\text{айн.ср}} = \frac{swB\sqrt{2}I_p\sqrt{2}}{2} \cos \psi = BswI_p \cos \psi.$$

Серіппелер тудыратын қарсы іс-әрекет жасау моменті

$$M_k = W\alpha,$$

мұндағы W — серіппенің қарсы іс-әрекет жасау моменті; α — қозғалатын бөліктің ауытқу бұрышы.

Қалыптасқан ауытқудың айналу және қарсы іс-әрекет жасау моментікезінде орны болады:

$$BswI_p \cos \psi = W\alpha,$$

бұл жерден

$$\alpha = \frac{Bsw \cos \psi}{W} I_p.$$

Саңылаудығы индукция қозғалмайтын шарғыдағы токка пропорционал болғандықтан, яғни $B = k_1 I_1$,

$$\alpha = \frac{k_1 sw}{W} I_1 I_p \cos \psi, \quad (3.4)$$

мұндағы I_1 — қозғалмайтын шарғыдағы ток күші; I_p — жақтау-шадағы ток күші.

Қоздырғыш шарғының 2 және жақтаушаның 1 өлшеуіш механизмінің қолданылуына байланысты өзара дәйекті түрде (3.6, б сур.), параллель (3.6, в сур.) байланысады немесе өлшенетін тізбектің түрлі аумақтарына қосыла алады. Егер қоздырғыш шарғылар өлшенетін шамаға тәуелсіз қоректенсе және оған өлшеуіш механизмінің жақтаушасы қосылса (3.6, г сур.), формула әділетті болады (3.4). Бұл жағдайда, өлшеуіш механизмнің шкаласы ($\alpha = f(I_p)$) бірыңғай болып шығыды.

Шарғылардың дәйекті түрде байланысуы кезінде (3.6, б сур.) $I_1 = I_p = I$, мұндағы I — өлшенетін ток және $\cos \psi = 1$, сонда

$$\alpha = \frac{k_1 sw}{W} I^2 \quad (3.5)$$

Шарғылардың параллель түрде байланысуы кезінде (3.5, в сур.), шарғыдағы ток өлшенетін токка I пропорционал болады:

$$I_1 = k_2 I.$$

Олай болса,

$$\alpha = \frac{k_1 k_2 k_3 s w}{W} P \cos \psi = \frac{k s w}{W} \cos \psi P, \quad (3.6)$$

мұндағы k_1, k_2, k_3 — пропорционалдық коэффициенті.

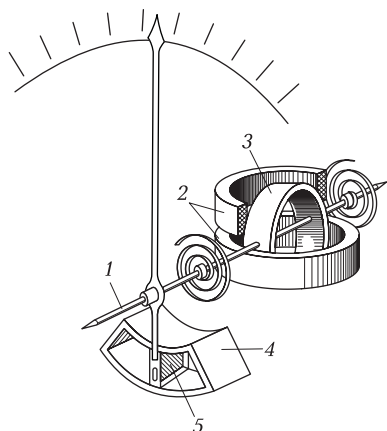
Формулалар (3.5) және (3.6) шкалалардың біркелкі емес екендігін көрсетеді.

Ферродинамикалық механизм келесі қасиеттерге ие:

- қозғалыстағы жүйенің ауытқу бұрышы шарғылар бойымен өтетін айнымалы токтардың нақты мәндеріне пропорционал;
- шкала біркелкі немесе біркелкі болуы мүмкін;
- тәуелсіз қозу кезіндегі токты тікелей өлшеу және бекітілген жақтаушалар амперметр үлесінен аспайтын жоғарғы шектеулермен, сонымен қатар миллиампердің үлес қатары төменгі шектеумен шектелген. Қоздырғыш шарғылар және жақтаушаның параллель байланысуы кезінде жоғарғы шек 5...10 А жете алады. Өлшеу шегінен ұлғайту қосымша түрлендіргіштерді пайдалануды талап етеді;
- тәуелсіз қозғу кезінде қуатты тұтыну магниттік-электрлік механизмнің қуат тұтынуына ұқсас; жақтауша және қоздырғыш шарғылардың дәйекті немесе параллель байланысуы кезінде қуат шығыны артады.

3.4. ЭЛЕКТРДИНАМИКАЛЫҚ ӨЛШЕУШ МЕХАНИЗМДЕР

Электрдинамикалық өлшеуш механизмдері сәйкесінше екі шарғылар бойымен өтіп жатқан екі ток өрістерінің өзара әрекеттестігіне негізделеді: қозғалмайтын 2 және қозғалатын 3 (3.7-сурет). Қозғалмайтын шарғы екі бөліктен тұрады, олардың арасында осьтер 1 өтіп, қозғалатын шарғы бекітіледі. Қарсы іс-әрекет жасау моменті қозғалатын шарғыға да ток өткізетін серіппелер арқылы жасалады.



3.7-сурет. Электрдинамикалық өлшеуіш механизмі:

- 1 — ось; 2 — қозғалмайтын шарғылар;
3 — қозғалатын шарғы (жақтауша);
4 — тыныштандырғыш камерасы;
5 — тыныштандырғыш қанаты.

шарғылардың әлсіз өрістерін бұрмалау мүмкін. 3.7-суретте 4 саны тыныштандырғыш камераны білдіреді, ал 5 саны оның қанатын көрсетеді. Бұл механизмде қозғалатын шарғылар біркелкі емес өріске орналастырылады, сондықтан қозғалатын шарғылар әрекет ететін айналу моментінің салыстырмалы жағдайына байланысты.

Бұл жағдайда, жалпы түрде айналу моменті үшін өрнекті электрмеханикалық құрылғының кез келген қозғалатын бөлігі құрылғының электромагниттік энергиясы айтарлықтай көп болуына ұмтылған жағдайда ғана алуға болады. Сонымен қатар айналу моменті α қозғалатын бөлігінің бұрыштық көшірілуі кезінде электромагниттік энергияның A_e өзгеру жылдамдығымен анықталады:

$$M_{\text{айн}} = \frac{dA_e}{d\alpha},$$

I_1 және I_2 токтары бар екі шарғыдан тұратын механизмнің электромагниттік энергиясы келесі түрде көрсетіледі

$$A_e = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_1 I_2^2 + M_{12} I_1 I_2,$$

мұндағы L_1 және L_2 — қозғалатын және қозғалмайтын шарғылардың индуктивтілігі; ал M_{12} — шарғылардың өзара индуктивтілігі.

L_1 және L_2 шарғыларының индуктивтілігі жақтауша бұрылған кезде өзгермеуі себепті олардың α бұрышы бойынша туындысы нөлге тең. Содан кейін

$$M_{\text{айн}} = I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

Олай болса, айналу моменті тек I_1 және I_2 токтарына ғана емес, сондай-ақ шарғылардың өзара орналасуына, яғни қозғалатын шарғының α ауытқу бұрышына байланысты.

I_1 және I_2 токтарының бағыты біркелкі өзгеруі кезінде айналу моментінің бағыты өзгермейді, сондықтан электрдинамикалық өлшеуіш механизмі тұрақты және айнымалы ток та да қолданыла алады. Дегенмен, айнымалы токпен өлшеу кезінде, соңғы өрнек токтардың i_1 және i_2 шұғыл мәні үшін әділетті болады.

Ферродинамикалық аспаптар үшін келтірілген тұжырымдамаларды басшылыққа ала отырып, айналу моментінің периодта орташа мәнін аламыз (қозғалатын бөліктің ауытқу бұрышын анықтайтын):

$$M_{\text{айн.ср}} = I_1 I_2 \cos \psi \frac{dM_{12}}{d\alpha},$$

мұндағы ψ — I_1 және I_2 токтарының арасындағы фаза бойынша жылжу.

Серіппе арқылы туындайтын қарсы іс-әрекет жасайтын моменті келесідей болады:

$$M_{\text{пр}} = W\alpha,$$

мұндағы W — серіппенің нақты қарсы іс-әрекет жасайтын моменті.

Тұрақтылық кезінде қалыптасқан ауытқу пайда болады:

$$M_{\text{айн}} = M_{\text{пр}}$$

немесе

$$I_1 I_2 \cos \psi \frac{dM_{12}}{d\alpha} = W\alpha,$$

бұл жерден

$$\alpha = \frac{I_1 I_2 \cos \psi}{W} \frac{dM_{12}}{d\alpha},$$

Егер қозғалмайтын және қозғалатын шарғылар дәйекті немесе параллель қосылған болса, онда

$$\alpha = \frac{k_1 I^2}{W} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \text{ және } \alpha = \frac{k_2 I^2}{W} \cos \psi \frac{dM_{12}}{d\alpha},$$

мұндағы I — өлшенетін ток мәні; k_1, k_2 — пропорционалдық коэффициенттері.

Электрдинамикалық өлшеу механизмінің шкаласы квадраттық сипатқа ие. Дегенмен, шарғылардың геометриялық өлшем-

дерін дұрыс таңдау және олардың бастапқы өзара орналасуына M_{12} -нің ауытқу бұрышына мынандай тәуелділікпен, яғни айналу моментінің шкаланың үлкен бөлігінде бұрылу бұрышынан іс жүзінде тәуелсіз болғанда жеткізуге болады. Өлшеуіш тізбегінің әр түрлі бөліктерінде шарғылар қосылса, өлшеу механизмінің шкаласы іс жүзінде біркелкі болады.

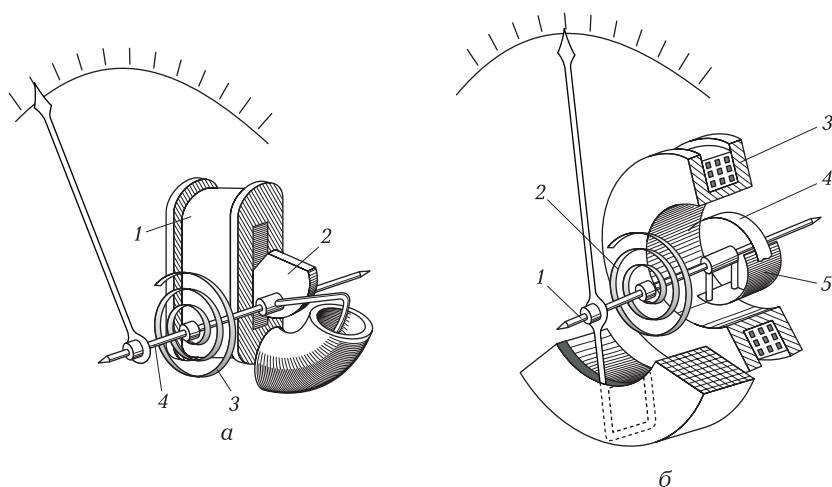
Электрдинамикалық өлшеуіш механизмдері келесі қасиеттерге ие:

- тұрақты және айнымалы токтарда өлшеу үшін қолданылады. Айнымалы токта бұл механизмдер нақты мәндерді өлшейді;
- шкала сипаты біркелкі емес; электрдинамикалық өлшеу жүйесін пайдалану кезінде ваттметрдегі шкала іс жүзінде бірыңғай болып табылады;
- токты тікелей өлшеу әдетте 5 А жоғарғы шегі мен 30 ... 60 мА тәртібін төменгі шегімен шектеледі. Өлшем шегін арттыру қосымша түрлендіргіштерді пайдалануды талап етеді;
- электр қуатын тұтыну салыстырмалы түрде үлкен. Мысалы, 5 А өлшеу шегінде қуатты тұтыну 5 Вт жетеді, бұл магниттік-электрлік өлшеу механизміне қарағанда шамамен 20 есе артық болып табылады.

3.5. ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ӨЛШЕУІШ МЕХАНИЗМДЕР

Электрмагниттік өлшеу механизмдерінің ең көп таралған түрлерін пайдалану және реттеу принципі 3.8 суретте көрсетілген.

Жазық шарғылы механизмде (3,8, а сур.) қозғалмайтын шарғылар 1 арқылы өтетін өлшенетін ток, оның саңылауына магниттік өріс құрады, ал оның әсерінен оське 4 эксцентрлі орналасқан ферромагниттік өзек 2 осы магниттік өрісті күшейтетіндей етіп орналасуға ұмтылады. Басқаша айтқанда, өзек 2 шарғының саңылауына тартылады. Осьтегі эксцентрлік бекітпеге байланысты, өзек шарғы саңылауына тартылып, осьті бұрады, ал онды бағыттама бекітілген. Серіппелер арқылы 3 қарсы іс-әрекет жасау моменті жасалады.



3.8-сурет. Электрмагниттік өлшеуіш механизмдері:

а - жазық шарғымен: 1 - қозғалмайтын шарғылар; 2-ферромагниттік өзек; 3 - әрекеткеомагниттік 1 ; 4 - ось; б - дөңгелек шарғылы: 1 - ось; 2 - әрекетке; 2 - дөңгелек; 3 - қозғалмайтын шарғылар; 4 - қозғалмайтын шар; 5 - қозғалатынын шар

Дөңгелек шарғылы механизмдерде (3.8, б сур.) қозғалмайтын шарғы 3 арқылы өтетін токпен құрылатын өрісте екі ферромагниттік өзек орналыстырылады. Өзек 4 шарғының ішіне қозғалмайтындай етіп бекітілген, ал қозғалатын өзек 5 осымен 1 жалғанған. Екі өзек те шарғылар өрісі әсерінен бірдей магниттеледі, нәтижесінде қозғалатын өзек 5 қозғалмайтын өзекпен 4 итеріледі, ось 1 бағыттамаcымен және тыныштандырғышымен болатындай бұрылады. Қарсы іс-әрекет жасау моменті серіппемен 2 шығарылады.

Осы механизмдерде ауа тыныштандырғыштары кеңінен пайдаланылады, өйткені магниттік-индукциялық тыныштандырғыштарын пайдаланған кезде магнит өрісінің серпілуімен шарғының әлсіз өрісіне қатысты бұрмалау болуы мүмкін. Өзекті көшіру кезінде шарғы магнит өрісінің күш тізбектерінің конфигурациясы өзгереді, сондықтан айналу моменті қозғалатын өзектің шарғаға немесе қозғалмайтын өзекке қатысты орналасуына тәуелді болады. Айналу моментіне өлшегіш механизмінің қозғалатын бөлігінің ауытқу бұрышына әсер етеді.

Шарғы арқылы өтетін өлшенетін токтан I ауытқу бұрышының тәуелділігін α алу үшін, айналу моменті үшін жалпы өрнекті пайдаланамыз:

$$M_{\text{айн}} = \frac{dA_e}{d\alpha},$$

мұндағы тогы бар бір шарғының электрмагниттік энергиясын A_e мынадай формула бойынша көрсетуге болады:

$$A_e = \frac{1}{2} L I^2,$$

мұндағы L — шарғылар индуктивтілігі.

Сонда

$$M_{\text{айн.ср}} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}, \quad (3.7)$$

Егер ток бағыты кері бұрышқа ауысса, өзек магниттелетін болады және шарғылардың саңылауына түсетін болады, яғни айналу моментінің бағытта өзгеріссіз қалады. Электрмагнитті өлшеуішмеханизмдер тұрақты, және айнымалы токта да қолдануға болады. Айнымалы токта өлшенген кезде, өрнек (3.7) тек ток және айналу моментінің шұғыл мәні үшін әділетті болады. T периоды кезіндегі айналу моментінің орташа мәні ретінде бұрыш ауытқуы анықталады:

$$M_{\text{айн.ср}} = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha},$$

мұндағы I^2 — токтың нақты мәнінің квадраты, $I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$.

Серіппе арқылы жасалатын қарсы іс-әрекет жасау моменті,

$$M_{\text{пр}} = W\alpha,$$

мұндағы W — нақты қарсы іс-әрекет жасау моменті.

Қозғалатын бөліктің қалыптасқан ауытқуы айналмалы және қарсы іс-әрекет жасау моменттері бірдей болған кезде пайда болады:

$$\frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} = W\alpha,$$

бұл жерден

$$\alpha = \frac{1}{2W} I^2 \frac{dL}{d\alpha}.$$

Электрмагниттік өлшеуіш механизмі шкаласының сипаты біркелкі емес. Өзек формасын таңдау жолымен dL/da осы көбейткіш токтың ұлғаюы кезінде айналу моментін азайтатындай етіп өзгертуге болады. Содан кейін оның үлкен бөлігіндегі және жақын шкаланы алуға болады.

Электрмагниттік өлшеуіш механизмдері келесі қасиеттермен сипатталады:

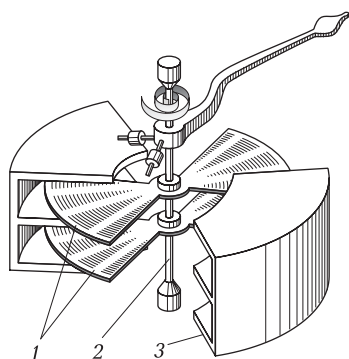
- тұрақты және айнымалы токта да пайдаланылады. Айнымалы токта бұл механизмдер нақты өлшемдерді өлшейді;
- шкаланың сипаты біркелкі емес, оның басында бөлүлер қысылған, бірақ шкаланың соңғы үштен екісін теңге жақындатып жасауға болады;
- тікелей ток өлшеу шамамен 100 А дейін мүмкін, өлшеу шегін одан әрі ұлғайту үшін қосымша түрлендіргіштер қажет;
- электр қуатын тұтыну салыстырмалы түрде үлкен. Мысалы, 5 А өлшеу шегінде қуатты тұтыну шамамен 2 ...5 Вт дейін жетеді.

3.6.

ЭЛЕКТРСТАТИКАЛЫҚ ӨЛШЕУІШ МЕХАНИЗМДЕР

Электрстатикалық механизмдер екі немесе одан да көп зарядталған денелердің өзара әрекеттестігіне негізделген. Осы денелердің бірі қозғалады және оның қозғалысы зарядталған денелермен құрылған электр өрісінің энергиясының өзгеруіне әкеледі.

Электрстатикалық өлшеуіш механизмінің ең көп таралған түрі 3.9 суретте көрсетілген. Бұл типті механизмде сыйымдылық конденсаторлар жүйесін қалыптастыратын электродтар жұмыс бетінің өзгерісі нәтижесінде ауысады. Механизм қозғалмайтын камералардан 3 және осы 2 бекітілген қозғалатын алюминий тіліктерінен 1 тұрады. Өлшенетін кернеу қозғалмайтын камераға және қозғалатын тіліктерге өткізіледі, олар жүйенің сыйымдылығы айтарлықтай үлкен болуына ұмтылады, яғни қозғалатын тіліктер камераның ішіне жылжиды.



3.9-сурет. Электрстатикалық өлшеуіш механизмі:

1 —қозғалатын алюминий тіліктер; 2 — ось; 3 —қозғалмайтын камера

Қарсы іс-әрекет жасау моменті ілме немесе спираль серіппе көмегімен жасалады. Тыныштандырғыштар ретінде ауа да, сонымен қатар магниттік-индукциялық тыныштандырғыштар да қолданылады.

Айналу моментін келесі формуламен көрсетуге болады:

$$M_{\text{айн}} = \frac{dA_e}{d\alpha} = \frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha}.$$

Бұл өрнек тұрақты және айнымалы ток үшін де жарамды, мұндағы U — айнымалы өзгеретін кернеудің нақты мәні. Қарсы іс-әрекет жасау моменті

$$M_{\text{пр}} = W\alpha,$$

мұндағы W — нақты қарсы іс-әрекет жасау моменті.

Қалыптасқан ауытқулар екі момент тең болғанда α орны болады:

$$\frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha} = W\alpha,$$

бұл жерден

$$\alpha = \frac{1}{2W} U^2 \frac{dC}{d\alpha}. \quad (3.8)$$

Электрстатикалық өлшеу механизмдерін тұрақты және өзгермелі кернеулерді өлшеуге болады. Айнымалы ток кезінде бұл механизмдер нақты кернеу мәндерін көрсетеді.

Шкалалар сипатын анақтау үшін (3.8) өрнекке назар аударсақ, біркелкі емес екені анық. Өлшенетін кернеуден ауытқу бұрышының квадраттық тәуелділігінің айтарлықтай дәрежесінде тіліктердің сәйкес формасын таңдаумен біркелкілікке шамалауға болады.

Электрстатикалық өлшеуіш механизмдері келесі қасиеттерге ие:

- тұрақты және айнымалы токтарда қолданылады. Айнымалы токта айнымалы кернеудің нақты нақты мәндерін өлшейді;
- шкала сипаты біркелкі емес және электрод формаларына қатты тәуелді. Электродтардың өзгермелі жұмыс бетінің құрылымдары іс жүзіндегі нақты шкаламен орындала алады;
- өлшенетін кернеудің төменгі шегі көп камералы өлшеуіш механизмдер үшін (3.9 сур.) 20 В дейін азая алады. Электрстатикалық өлшеуіш механизмдерінің өлшеу шегін арттыру қосымша түрлендіргіштердің көмегімен мүмкін болады;
- Іс жүзінде электр энергиясын тұтынбайды, өйткені электродтар арасындағы ағым өте аз. Бұл жағдай, әсіресе, төмен қуатты тізбектердегі өзгерістерде, осындай механизмдердің маңызды артықшылығы болып табылады.

3.7.

ИНДУКЦИЯЛЫҚ ӨЛШЕУІШ МЕХАНИЗМДЕР

Индукциялық өлшеуіш механизмдері осы өрістермен өткізгіш қозғалатын бөліктерде индукцияланатын айнымалы магнит өрісінің және токтардың өзара әрекеттестігіне негізделген. Осылайша, механизмдердің жұмыс істеу принципінен бастап, олар айнымалы токта ғана жұмыс істей алады.

Ауытқу бұрышының шарғыдағы токтан тәуелділігін өлшенетін механизмдердің үлгісінен алынған, ол 3.10 суретте көрсетілген.

3.10-суретте және I_1 және I_2 айнымалы токтарымен құрылған Φ_1 және Φ_2 айнымалы ағындары алюминий дискісін 2 тесіп өтеді. Бұл ағындар полюстерінің іздері дискінің хордалары бойымен орналасады. Алюминий дискіден басқа индукциялық өлшеуіш механизмдері электромагниттерді 1 және 4, айналу дискісінің осы 3 және осьтер 5 тіреуінқамтиды. Электромагнит 1 орамына қосымша резистор R , ал электромагнит 4 орамына индуктивтіліктің қосымша шарғысы L жалғасқан.

3.10, б суретте дискідегі Φ_1 және Φ_2 токтарының және магниттік ағындардың схемалары көрсетілген; $I_{д1}$ және $I_{д2}$ — дисктегі токтар, олар Φ_1 және Φ_2 ағындарымен жасалған; $M_{\text{айн}}$ - айналу моменті.

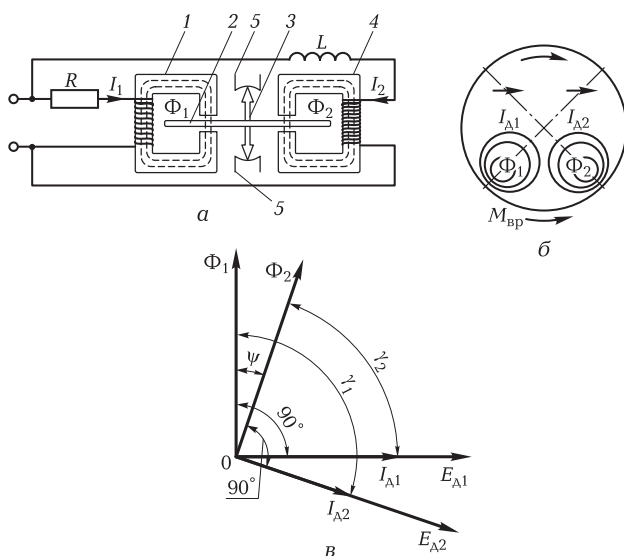
Айнымалы ток және ағын арасындағы өзара әрекеттесу кезеңіндегі F орташа мәнін келесі формалумен көрсетуге болады

$$F_{\text{орт}} = \Phi I \cos \gamma, \quad (3.9)$$

мұндағы γ — ток I және F ағындарының арасындағы фазалық ауысуы.

3.10, в суретте Φ_1 және Φ_2 ағындарының және дискідегі осы ағындар арқылы индукцияланатын токтарының векторлық диаграммасы көрсетілген. I_1 тогымен құралатын Φ_1 ағыны электр қозғалтқыш күштерді $E_{\Delta 1}$ индукциялайды, олар дискіде $E_{\Delta 1}$ фазасы бойынша сәйкес келетін $I_{д1}$ токтарды тудырады. I_2 тогымен құралатын Φ_2 ағыны, міндетті түрде Φ_1 ағыны бойынша фаза бойынша жылжуы керек. Мысалы, ол ψ бұрышқа Φ_1 қалады, өйткені ток тізбегі I_1 белсенді кедергіге R , ал ток тізбегі I_2 индуктивтілік L -ге (3.10, а суретті қараңыз) қосылады.

Φ_2 ағыны дискте $E_{д2}$ -тің электр қозғалтқыш күштерін индукциялайды, ал олар онда токтың $I_{д2}$ пайда болуына ықпал етеді.



3.10-сурет. Индукциялық өлшеуіш механизмі:

а — механизмнің схемасы: 1, 4 — электромагниттері; 2 — алюминий дискі; 3 — дискінің айналу осы; 5 — осьтік тіректер; б — дискідегі токтар мен магнит ағындарының схемасы; в — векторлық диаграмма

Дисктегі екі ағын мен екі ток жүйесі төрт F күштерін жасау керек, бірақ Φ_1 ағынының I_1 тогымен өзара қатынасы, сонымен қатар Φ_2 ағынының I_2 тогымен өзара байланысы секілді формулаға сәйкес (3.9) күш шығармайды, себебі олардың арасындағы фаза бойынша жылжу 90° тең және $\cos\gamma = 0$ тең. Демек, айналдыру моментін тудыратын екі күш болады:

$$F_{\text{орт1}} = \Phi_1 I_{\text{д2}} \cos\gamma_1; M_{\text{айн1}} = k_1 \Phi_1 I_{\text{д2}} \cos\gamma_1;$$

$$F_{\text{орт2}} = \Phi_2 I_{\text{д1}} \cos\gamma_2; M_{\text{айн2}} = k_2 \Phi_2 I_{\text{д1}} \cos\gamma_2.$$

Себебі $\gamma_1 = \frac{\pi}{2} + \psi$ және $\cos\gamma_1 = -\sin\psi$, ал $\gamma_2 = \frac{\pi}{2} - \psi$ және $\cos\gamma_2 = \sin\psi$, сонда

$$M_{\text{айн1}} = -k_1 \Phi_1 I_{\text{д2}} \sin\psi;$$

$$M_{\text{айн2}} = k_2 \Phi_2 I_{\text{д1}} \sin\psi.$$

Осы өрнектерден дискіде әрекет ететін $M_{\text{айн1}}$ және $M_{\text{айн2}}$ моменттерінің әртүрлі белгіге ие екені анық. Дегенмен, әртүрлі белгілердің арқасында екі момент те дискке әсер етіп, оны бір бағытта айналдырады. $M_{\text{айн1}}$ және $M_{\text{айн2}}$ әр түрлі белгілері бір ток контурының онымен өзара әрекеттес өріскетартылатынын, ал басқа контурлар онымен өзара әрекеттесетін өрістермен шығарылады.

$I_{\text{д1}}$ ток контуры ағыны Φ_2 ағынына тартылады деп алсақ, онда айналу моменті Майндискіні 3.10, б суретте көрсетілген бағыттама бойынша көрсетілген бағытқа бұрады. Сонда $I_{\text{д2}}$ ток контуры Φ_1 ағынынан шығып, айналу моментін сол бағытта бұрады. Осылайша, дискіде әрекет ететін қосынды моменттің келесі формуламен көрсетуге болады

$$M_{\text{айн}} = -k_1 \Phi_1 I_{\text{д2}} \sin\psi + k_2 \Phi_2 I_{\text{д1}} \sin\psi.$$

Егер Φ_1 және Φ_2 ағындары синусоидалы өзгерсе, осы ағындармен дискте индукцияланатын ЭҚК нақты мәні келесі формуламен анықталады:

$$E_{\Delta 1} = 4k_f f \Phi_{1\text{max}} = k_3 f \Phi_1; E_{\Delta 2} = 4k_f f \Phi_{2\text{max}} = k_4 f \Phi_2,$$

мұндағы k_f — синусоидалы форманың коэффициенті; f — жиілік; $\Phi_{1\text{max}}$ және $\Phi_{2\text{max}}$ — ағындардың максималмәндері.

Егер дискідегі токтарға кедергіні тек белсенді деп қабылдасақ, онда келесіні жазуға болады:

$$I_{\Delta 1} = k_5 f \Phi_1; I_{\Delta 2} = k_6 f \Phi_2.$$

Онда айналу моментінің формуласы $I_{д1}$ және $I_{д2}$ үшін оған өрнекті қойғаннан кейін және тұрақты коэффициенттердің біріктірілуінен кейін формула келесі түрде болады

$$M_{\text{айн}} = M_{\text{айн1}} + M_{\text{айн2}} = kf\Phi_1\Phi_2\sin\psi.$$

Егер Φ_1 және Φ_2 ағындарын оларды жасайтын токтарға пропорционалды деп есептесек, онда

$$M_{\text{айн}} = kfI_1I_2\sin\psi.$$

Индукциялық механизмдер келесі қасиеттерге ие:

- айнымалы токта ғана жұмыс істей алады;
- электр энергиясын өлшеу үшін ғана пайдаланылады, яғни айнымалы ток есептеуіштерінде.

Сондықтан осы механизмдердің құрылысы мен сипаттамалары туралы қосымша ақпарат әрі қарай беріледі.

3.8. ӨЛШЕУІШ ТІЗБЕКТЕР

Әдетте электр шамаларын түрлендіргіштер кез келген токта, жоғары кернеулі, жоғары жиілікті тізбектерде өлшеу үшін қолданылады. Түрлендіргіштер жеке құрылымдардың немесе өлшеуіш механизмдерімен үйлесе орындала алады. Мұндай түрлендіргіштерті пайдалану аспаптардың қолданыс сипаттамаларын кеңейтеді.

Электрөлшеуіш техникада электр шамаларын түрлендіргіштерге жататындар: шунттар, қосымша резисторлар, қосымша конденсаторлар, кернеу бөлгіш (резисторлар және сыйымдылықта), өлшеуіш, бөлгіш және келістіруші трансформаторлар, түзулеушілер және т.б.

Түрлендіргіштерді қарастыруда аспаптың жалпы қасиеттеріне түрлендіргіштердің әсерін бағалауға, атап айтқанда, өлшеу диапазоны мен өлшеу нәтижелерінің нақтылығына көмектесетін параметрлеріне аса назар аудару маңызды болып табылады.

Шунттар. Олар өлшеуіш механизмдерінің ток бойынша өлшеу шектерінің кеңейтілуі үшін қолданылады және өлшеуіш механизм параллель қосылатын резисторлар болып табылады.

3.11 суреттегі белгілерге сәйкес мынаны жазуға болады

$$\frac{I_p}{I_{ш}} = \frac{R_p}{R_{ш}},$$

мұндағы I_p — жақтаушадағы өлшенетін ток; $I_{ш}$ — шунт арқылы өтетін өлшенетін ток; R_p — өлшеуіш механизмінің жақтауша кедергісі; $R_{ш}$ — шунттың кедергісі.

Бұл жерден

$$R_{ш} = \frac{I_p R_p}{I - I_p} = \frac{I_p R_p}{I - I_p},$$

мұндағы I — өлшенетін ток.

Әдетте шунттың кедергісі $R_{ш}$ өлшеуіш механизмінің жақтауша кедергісіне R_p қарағанда айтарлықтай аз, сондықтан өлшенетін токтың I көп бөлігі шунт арқылы өтеді:

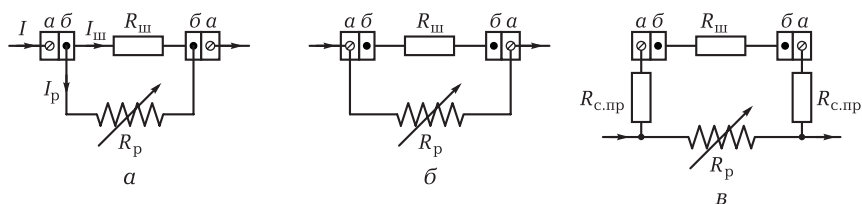
$$R_{ш} = \frac{I_p R_p}{I}.$$

$I R_p = I_{ш} R_{ш}$ мәні, яғни өлшенетін токтың номинал мәнінде шунттың кедергісінің төмендеуі стандартталған болып табылады және 45, 75, 100 немесе 150 мВ құрайды. Кернеудің және өлшенетін токтың номинал мәнінің төмендеуі әрдайым шунтта көрсетіледі.

Шунттар жеке және калибрленген болып бөлінеді. *Жеке шунттар* тек олар өлшемдейтін өлшеуіш механизмдері үшін жарамды келеді. Бұл жағдайда белгіленген кернеудің төмендеуіне сай шунтты нақты реттеу қажет емес. *Калибрленген шунттар* жоғары дәлдіктегі кернеудің төмендеуіне сәйкес реттеледі және номинал ауытқу кезінде кернеудің төмендеуіне ие кез келген өлшеу механизмімен жұмыс істеуге жарайды.

Әрбір шунт (3.11, а-сурет) екі жұп қысқышпен жабдықталған. Қысқыштардың бірінші жұбы (а—а) шунтты өлшенетін ток тізбегіне қосу үшін қызмет етеді және *ток қысқааштары* деп аталады. Қысқыштардың екінші жұбы (б—б) өлшеуіш механизмінің шунтына қосылады және *потенциалдық қысқыштар* деп аталады.

3.11, б, в суретінде шунтты дұрыс қоспаудың мысалдары келтірілген, өйткені мұндай қосылу кезінде өлшеуіш механизм кернеудің төмендеуін осындай өлшеу механизмін енгізу $I_{ш} R_{ш}$ қарағанда кернеу төмендеудің түйіспеді (3.11, б сурет) және жалғастырушы өткізгіштердегі $R_{с.пр}$ (3.11, в сурет) шамасына көбірек өлшейді.



3.11 сурет. Шунттың қосылу схемасының мысалдары:

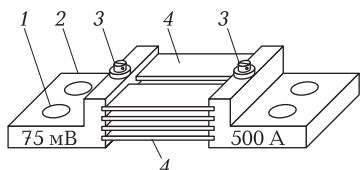
а — дұрыс; б, в — дұрыс емес; а—а — ток қысқыштары; б—б — потенциалдық қысқыштар.

Шунттар салыстырмалы аз шектік өлшеулерде әдетте аспап корпусының ішінде жөнделеді, ал үлкен токтарды өлшеуіш механизмдерден бөлек, мысалы шунт 500 А (3.12 сурет). Шунт 4 кедергісі магнит сымдарынан, таспа немесе қызыл мыстан жасалған ұштарға 2 жабысқан күміс дәнекер тіліктерден орындалады.

Ішкі шунт аспап корпусының ішіне қысқыштармен құрсанға бекітіледі. Бөлек шунт калибрленген өткізгіштермен өлшеуіш механизмге байланыстырылады. Бұл өткізгіштер потенциалдық қысқыштарға 3 қосылған. Шунттың өлшеуіш механизмге кездейсоқ өткізгішпен қосылуы жақтаушаның тізбек кедергісінің өзгеруіне әкеледі. Олай болса, шунт пен жақтауша арасындағы өлшенетін токты қайтадан бөлу де аспаптың қателігін көбейтеді. Шунттың өлшенетін тізбекке қосылуы бөлек шунттарды саңылау 1 арқылы өтетін бұранның көмегімен іске асырылады.

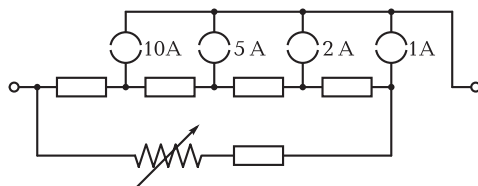
Айнымалы (тәжірибелік) аспаптар көпшекті калибрленген шунттармен жабдықталады. Осындай шунт схемасының мысалы 3.13 суретте берілген. Өлшеу шегінің қосып өшірілуі сәйкес ұяшыққа көшірілетін сүңгіменен іске асырылады.

Өлшеу шектерінің шунттар арқылы кеңеюі іс жүзінде тек тұрақты токта мүмкін, өйткені айнымалы токта өлшенетін токтың шунт пен өлшеуіш механизмнің арасында таралуы тек олар-



3.12 сурет. Шунт 500 А:

1 — өлшенетін тізбекке шунттың байланысуына арналған саңылау; 2 — ұштары; 3 — потенциалдық қысқыштар; 4 — шунттың кедергісі



3.13 сурет. Көп шекті шунттың схемасы.

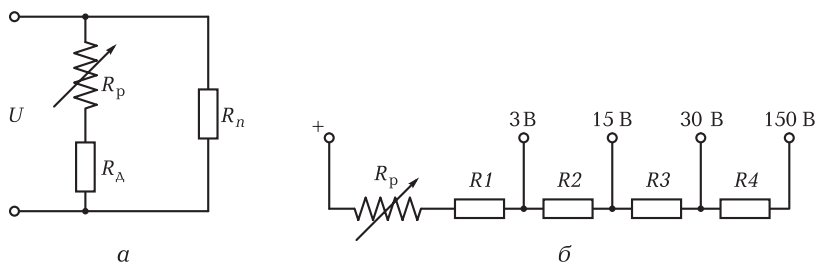
дың тұрақты токка кедергісі ғана емес, жиілікке тәуелі реактивті (индуктивті) кедергілері де ескеріледі.

Қосымша резисторлар. Барлық өлшеуіш механизмдер (электрстатикалықтарды есепке алмағанда) әрекет ету принциптеріне бойынша жақтаушада немесе шарғыдаға, яғни амперметр болып табылатын барлық механизмдердегі токтан I (немесе токтарынан) ауытқу бұрышының α тәуелділігімен сипатталады. Дегенмен, өлшеу механизмдерінің кез-келгені U кернеуін өлшеу үшін пайдалануға болады, оны кернеу өлшенетін тізбектің бөлігіне параллель қосу қажет. Қосымша резистордың R_H жүктемесімен параллель қосылу схемасы 3.14, а суретте көрсетілген.

Егер өлшеуіш механизмдегі токтың номинал мәнін I_H арқылы белгілесе және өлшенетін кернеудің номинал мәні — U_H арқылы болса, онда вольтметр бүкіл тізбегінің кедергісі

$$R_V = U_H / I_H. \quad (3.10)$$

Алайда, өлшеуіш механизмнің жақтауша кедергісі, әдетте, R_V -ның қажетті мәнінен әлдеқайда аз, сондықтан R_p -мен сыммен



3.14 сурет. Қосымша резисторды қосу схемасы:

а — R_H жүктемесіне параллель; б — көп шекті вольтметр үшін

оралған қосымша қарсылық R_d қосылады, онда теңдік (3.10) қанағаттандырылады, яғни

$$R_p + R_d = U_H / I_H,$$

бұл жерден

$$R_d = U_H / I_H - R_p.$$

3.14, б суретте бірнеше резистордан тұратын қосымша кедергісі бар көп айнымалы вольтметр схемасы (3, 15, 30 және 150 В) көрсетілген. P1, P2, P3 және P4 схемаларында қосымша резисторлар берілген. Қосымша резисторлардың көпшілігі құрылғының ішінде орналасады. Көптеген қосымша резисторлар кейде құрылғыдан бөлек шығарылады, яғни өз корпусында.

Қосымша конденсаторлар. Электрстатикалық өлшеуіш механизмінің өлшеу диапазонын айнымалы токпен кеңейту үшін қолданылады (3.15 сурет). Өлшеуіш механизмнің және қосымша конденсатордың r_d изоляция кедергісін r_0 шексіз деп алсақ, онда сыйымдылығы C_0 өлшеуіш механизмінің қысқыштарындағы кернеу U_0 келесі түрде жазылады

$$U_0 = \frac{1/\omega C_0}{1/\omega C_d} U_d = U_d \frac{C_d}{C_0},$$

мұндағы ω — өлшенетін кернеудің жиілігі; C_d — қосымша конденсатордың сыйымдылығы; U_d — қосымша конденсатордағы кернеу.

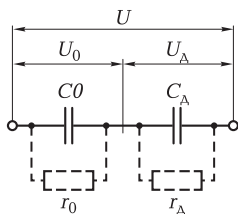
Себебі

$$U = U_0 + U_d \text{ және } \frac{U_0}{U_0 + U_d} = \frac{C_d}{C_0 + C_d},$$

онда

$$U = U_0 \frac{C_0 + C_d}{C_d}.$$

Резисторлардағы кернеулі бөлгіштер. Осындай кернеу бөлгіштерінің көмегімен (КБ) өлшенетін кернеудің белгілі бір,



3.15-сурет. Қосымша конденсаторды қосу схемасы

3.16 сурет. Кернеу бөлгішті қосу схемасы

әдетте 10 есе, өлшеуіш механизмнің кернеуін өлшеудегі шекке сай мәнді алатындай төмендету іске асырылады. Кедергі бөлгіштер әдетте көп шекті орындалады.

Мысал ретінде 3.16 суретте өлшенетін кернеуді U_x төмендету үшін жоғарыомдық резисторлардығы бөлгішті қосу схемасы көрсетілген.

$n = U_x / U_A$ шамасы *айнымалы көбейткіш* деп аталады. Мұндағы U_A — өлшеуіш аспапқа берілетін кернеу. 3.16 суретте r_1, r_2, r_3 және r_4 — КБ кедергісі.

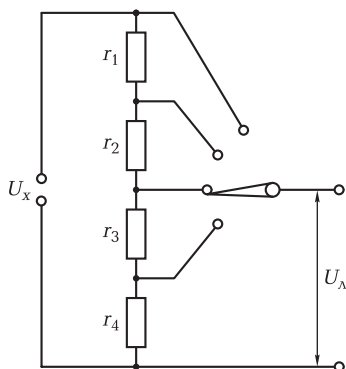
Кернеудің сыйымдылық бөлгіштері. Олар дәйекті түрде байланысқан бірқатар конденсаторлардан тұрады және жоғары жиіліктегі кернеуді өлшеуге арналған, сондай-ақ айнымалы токтағы өлшеуіш механизмдерінің электрстатикалық өлшеу шектері кеңейтуге арналады.

Электрстатикалық өлшеуіш механизмімен бірге пайдалануға болатын сыйымдылықты КБ схемасы 3.17 суретте келтірілген. Мұнда U_x өлшенетін кернеу бөлгішті құрайтын $C1$ және $C2$ конденсаторларына қосылған. $C0$ өлшеуіш механизмі $C2$ параллель қосылады, оған қоса $C_2 \gg C_0$. Өлшеуіш механизмінің изоляция кедергісі өте үлкен болғандықтан,

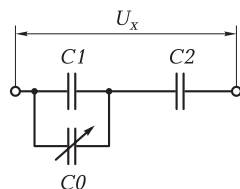
$$\frac{U_0}{U_1} = \frac{C_1}{C_0 + C_2}.$$

Сонда

$$U_x = U_0 + U_1 = U_0 \frac{C_1 + C_2 + C_0}{C_1}.$$



3.17 сурет. Кернеудің сыйымдылық бөлгішінің схемасы.



Өлшеуіш трансформаторлар. Мұндай трансформаторлардың қолданылуы:

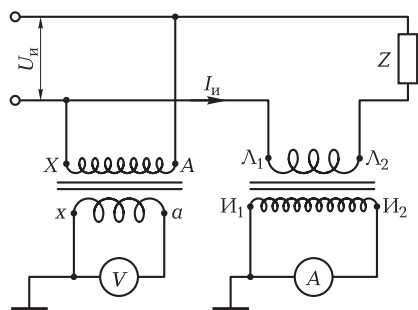
1) айнымалы токта жұмыс істеген кезде өлшеуіш механизмдері мен аспаптарының өлшеу шектерін (ток және кернеу) кеңейту үшін;

2) жоғары кернеу тізбектерінде өлшем жүргізу жағдайларында жоғары кернеуден өлшеуіш аппаратурасының электр изоляциясы үшін, атап айтқанда, аспаптар қызметінің қауіпсіздігі тұрғысынан міндетті түрде болып табылады. Қолданылу мақсатына байланысты өлшеуіш трансформаторлары ток трансформаторлары және кернеу трансформаторлары ретінде қызмет атқарады

Өлшеуіш трансформаторлары күш ретінде екі орамасы бар электрлі болат табақтан (немесе арнайы қорытпасынан) жасалған түйықталған өзек болып табылады: бастапқы және қосалқы.

Айнымалы ток тізбегіндегі токпен кернеудің өлшеуіш трансформаторларын қосу схемасы 3.18 суретте көрсетілген. $X-A$ схемасында — желіге қосылған кернеу трансформатор орамының қысқыштары; $x-a$ — вольтметрге қосылған кернеу трансформатор орамының қысқыштары; L_1-L_2 — өлшеу тізбегіне қосылған ток трансформаторының қысқыштары; I_1-I_2 — амперметрге қосылған ток трансформаторының қысқыштары; Z — өлшенетін тізбектегі жүктеме; U_n — өлшенетін кернеу; I_n — өлшенген ток.

МеМСТ сәйкес барлықток трансформаторлары үшін екінші токтың номиналмәні 5 А тең, барлық кернеу трансформаторлары үшін екінші кернеудің номиналмәні 100 В тең болып табылады. Бұл ток трансформаторлары өлшеуіштерімен жұмыс жасайтын амперметрлер тек 5 А орындалатынын көрсетеді. Бірақ бұл амперметрлер бастапқы тізбекте трансформаторының номинал коэффициентін $K_{ном}$ ескере отырып өлшенетін ток I_1 мәніне байланысты өлшемдене алады:



3.18-сурет. Айнымалы ток тізбегіндегі өлшеуіш ток және кернеудің өлшеуіш трансформаторларын қосу схемасы.

$$K_{U\text{ ном}} = I_{1\text{ ном}} / I_{2\text{ ном}}.$$

Осылайша, ағымдағы айнымалы өлшеу үшін, номинал мәні тең болып табылатын, мысалы, 1000 А, трансформацияның номиналды коэффициентімен $K_{\text{ном}} = 1000/5 = 200$ ток трансформаторымен қолданылады, ал 5 А амперметрдің барлық сандық белгілері $K_{\text{ном}} = 200$ көбейтіледі, ал аспап шкаласында келесі белгі қойылады: «ток трансформаторымен — 1000/5».

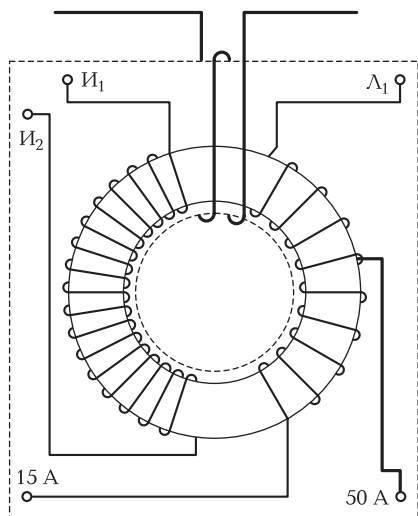
Сол сияқты, кернеудің өлшеуіш трансформаторы үшін трансформация номинал коэффициенті.

$$K_{U\text{ ном}} = U_{1\text{ ном}} / U_{2\text{ ном}}.$$

Өлшеуіш ток трансформаторларының құрылымы өте әртүрлі. Мысал ретінде 3.19 суретте ток трансформаторының құрылысы көрсетілген. Бұл трансформатор секцияланған алғашқы ораманың (Л1 қысқышты және қысқыштары 15 және 50 А көрсетілген) және қосалқы орамасының (қысқыштары I_1 және I_2). пермаллоинан орындалатын сақиналы өзектен тұрады.

Тағы бір мысалына ажыратылатын өзегі бар ток трансформаторы жатады, ол тізбекті бұзбастан токты өлшеуге мүмкіндік береді. Трансформатордың бастапқы орамасына өлшеуіш ток өтетін сымның өзі жатады. Амперметр (5 А) трансформатор корпусына біріктірілген. Трансформатордың қосалқы орамы секцияланған, бұл өлшеудің бірнеше шектерін алуға мүмкіндік береді. Осындай трансформаторлардың трансформация коэффициентінің қателігі — шамамен 2%.

Кернеудің өлшеуіш трансформаторларында қосалқы ток вольтметрдің (немесе ваттметрдің параллель орамдарының, есептеуіштері және т.б.) ток тұтынуымен анықталады, бұл әдетте 20 ... 30 мА аспайды. Сондықтан кернеу трансформаторы бос жүріс режиміне жақын жағдайларда жұмыс істейді.



3.19-сурет. Ток трансформаторының құрылысы

Қосалқы орамға қосылған аспаптардың рұқсат етілген қуатының мәні (вольт-ампер) әрқашан трансформатордың қалқанында көрсетілген. Сондықтан, бірнеше аспаптарды кернеу трансформаторына қоспас бұрын, барлық параллель жалғанған аспаптардың қуаты осы трансформатор үшін рұқсат етілген қуаттан артық екенін тексеру керек.

$$P = \frac{U_2^2}{R_2}, \text{ немесе } P = U_2 I_2$$

Формуладағы U_2 — өлшенетін кернеу; R_2 — қосалқы орамаға енгізілген кедергілердің қосындысы; I_2 — кернеу трансформаторының қосалқы орамасына енгізілген барлық аспаптардың токтарының қосындысы.

Бөлгіш трансформаторлар аспаптың өлшеуіш тізбегінің элементтері арқылы айнымалы токтың қоректендіру көзінен ағып кетуін болдырмау үшін қолданылады. Бұл токтар ағуы өлшенетін токтармен салыстырмалы бола алады, сондықтан мұндай жағдайларда өлшеу тізбегін бөлгіш трансформатор арқылы қосады, ол қоректендіру көзінен өлшеуіш тізбекті оқшаулайды. Аспаптың күш желісінен қоректенуі кезінде бөлгіш трансформаторларды пайдалану өте қажет, әдетте тұйықталған немесе жерге қатысты нашар изоляциясы бар желілердің салдарынан болып табылады.

Айнымалы токта өлшеу кезінде жерге нашар изоляциясы арқылы токтың ағып кетуімен ғана емес, жалпы аспаптар мен өлшеуіш тізбектің бөлек элементтерінің арасындағы сыйымдылық байланыстары арқылы токтың ағып кетуін де ескеру қажет. Атап айтқанда, бөлгіш трансформатор орамаларының арасында осындай сыйымдылық бар. Орамдар арасында гальваникалық және сыйымдылық байланыстары мүмкіндігінше аз болуы үшін бөлгіш трансформаторларды орамалар бір-бірінен толықтай оқшауланады және метал экранмен бөлінеді.

Бөлгіш трансформатордың трансформациялық коэффициенті әдетте бірге тең. Осындай трансформатор тиісті трансформатордың функцияларын орындайтын жағдайларда оның трансформация коэффициенті бірліктен өзгеше болуы мүмкін.

Келістіруші трансформаторлар қуатты ең аз жоғалту арқылы, яғни ең үлкен пайдалы әрекет коэффициентімен, аспаптың бір буынынан екіншісіне ауыстыруды қамтамасыз етеді.

Электртехниканың теориялық негіздерінде жүктемеден алынатын ең үлкен қуат, жүктеменің қоректендіру көзі мен ке-

дергісінің ішкі кедергілері тең болғанда орын алады. Құрылымы күрделі аспаптарды, яғни есептеуіш құрылғы мен өлшенетін шаманың арасындағы түрлі түрлендіргіштердің үлкен саны барлар, бұл жағдайды кез келген екі көршілес түрлендіргіштер арасындағы байланыста таратуға болады, өйткені, аспаптың эквиваленттік жүйесін бір түрленіргіш коректендіру көзін, ал екіншісі жүктемені көрсететіндей етіп көрсетуге болады.

Дегенмен, әр түрлі бөлек түрлендіргіштердің параметрлері-нолар бірдей кедергіге ие болатындай етіп таңдау және есептеу әрдайым мүмкін емес. Мұндай жағдайларда келістіруші трансформаторлар қолданылады. Мысалы, қуат берілу жоғарыомдық түрлендіргіштен төменомдыққа түседі, онда олардың арасына бастапқы орамы кедергісі бойынша жоғарыомдық кедергімен сәйкес, ал қосалқы орамы (орам саны аз) төменомдық түрлендіргішпен сәйкесетін төмендеткіш трансформаторды қосқан қосу қажет.

Келістіруші трансформаторларды пайдалану кезінде қуаттың жоғалуы тек трансформатордың өзіндік тиімділігімен анықталады. Сәйкесінше пайдаланылатын кішкентай трансформаторлар, әдетте 70 ... 75% шамасындағы пайдалы әрекет коэффициентіне ие. Дегенмен, тиісті трансформаторсыз қуаттың жоғалуы әлдеқайда көп болар еді.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Өлшеуіш механизмдерінде айналу, қарсы іс-әрекет жасау және бәсендету моменттері қалай пайда болады?
2. Өлшеуіш механизмдер мен аспаптарда өлшеудің қандай ілмелері мен есептегіш құралдары пайдаланылады?
3. Магнитэлектрлік механизмнің әрекет принципі неде?
4. Ферромагниттік механизмнің жұмыс істеу принциптері қандай? Оның схемасын сызыңыз.
5. Электрдинамикалық өлшеуіш механизмі қалай жұмыс істейді?
6. Электрмагниттік және электрстатикалық механизмдердің жұмысының мәні неде? Схемаларын сызыңыз.
7. Индукциялық өлшеуіш механизмдерінің жұмыс істеу ерекшеліктері қандай?
8. Шунттардың қандай мақсатта қолданылады? Шунттың дұрыс және дұрыс емес қосылуының схемасын сызыңыз.

9. Қосымша резисторлар, қосымша конденсаторлар мен кернеу бөлгіштері қандай мақсатта қолданылады? Оларды қосудың схемасын сызыңыз.
10. Ток және кернеудің өлшеуіш трансформаторлары арасындағы айырмашылық қандай? Оларды қосудың схемасын сызыңыз.
11. Келістіруші және бөлгіш трансформаторлар дегеніміз не?
12. Ішкі жарық есептегіш өлшеуіш аспабы қалай жұмыс істейді?
13. Созылуда өлшеуіш механизмдердің жақтауша ілмесі қандай жағдайларда қолданылады?
14. Өлшеуіш аспаптары бағыттамасының нөлдік күйі қалай реттеледі?

ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІ

4.1. ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІНІҢ СЫНЫПТАЛУЫ

Электрлік шамалардың кез-келген түрін өлшеу, өлшеу жағдайларына, қажетті дәлдікке және т.б. қарай әр түрлі әдістермен жүзеге асырылуы мүмкін.

Электрлік өлшеулердің тәжірибесінде негізінен тікелей бағалау әдісі және тепе-теңдік және тепе-тең емес режимдеріндегі салыстыру әдісі пайдаланылады.

Тікелей бағалау әдісі өлшеу нәтижесін өлшенетіншама бірліктерде өлшемделген шкаламен аспап көрсеткіші бойынша тікелей алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, үлгіліөлшем өлшеудің заттық жаңғыртылуы бірліктері секілді өлшеуге тікелей қатыспайды. Алайда, тікелей бағалау әдісін қолданатын құралдарды өлшемдеу кезінде үлгілік өлшемдер қолданылады.

Осылайша, тікелей бағалау әдісі үлгілік өлшемдерді жанама түрде пайдалануды ғана болжайды, сондықтан осы әдіспен өлшеу дәлдігі салыстырмалы түрде аз.

Салыстыру әдісі өлшеу үдерісінде өлшенетіншама сол физикалық шамадағы үлгілік өлшеммен немесе басқа шаманың жанама өлшемімен салыстырады.

Тепе-теңдік режимінде салыстыру әдісі ең жиі қолданылады, өлшенетін шаманың және өлшемнің салдарынан өлшенетіншама мен өлшем немесе эффектiсi арасындағы айырмашылық нөлге тең болады. Бұл жағдайда салыстыру әдісі әдетте *нөлдік әдіс* деп аталады. Нөлдік әдіске тән мысалға таразыдағы массаны өлшеу жатады. Электрлік өлшеудегі нөлдік әдістің мысалына тепе-тең көпірлік және өтем әдістері жатады, мұнда тепе-теңдік

туралы тізбектің белгілі бір аумағындағы ток пен кернеудің жоктығынан біледі. Кернеу немесе токтың болмауы өте сезгіш нөлдік аспаптармен белгіленуі мүмкін, онда салыстыру әдісі тепе-теңдік режимінде тікелей бағалау әдісіне қарағанда өлшеудің әлдеқайда жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді.

Тепе-тең емес режимде салыстыру әдісі өлшенетіншама және тікелей бағалау әдісі бойынша (өлшем) белгілі шама арасындағы айырмашылықты өлшеу арқылы өлшеу нәтижесін алу болып табылады. Егер бұл айырмашылық өлшенетін шамадан айтарлықтай аз болса, өлшеу нәтижесі шаманың тікелей өлшеу дәлдігіне қарағанда үлкен дәлдікпен алынуы мүмкін.

Сонымен, егер айырмашылық

$$\alpha = X - A$$

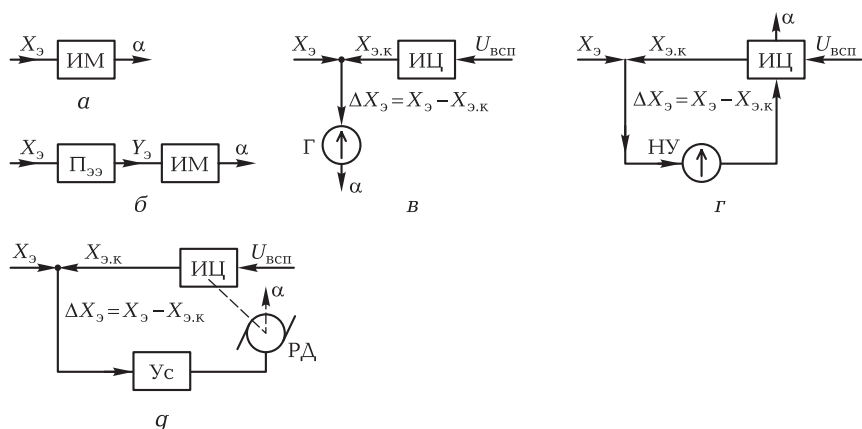
өлшенетін шама X (A — белгілі шама) қарағанда 10 есе аз, онда α өлшеуде қателік X өлшемінің аз қателігіне әкеледі. Осылайша, тепе-тең емес режимде салыстыру әдісінің өлшем нақтылығына қатынас нөлдік әдіс пен тікелей бағалау әдісі арасында аралық жағдайда болады. Тепе-тең емес режимде салыстыру әдісі де *дифференциалды әдіс* деп аталады.

4.2. ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ АСПАПТАРЫНЫҢ НЕГІЗГІ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СХЕМАЛАРЫ

Кез-келген электрлік өлшеуіш аспапты есептеуіш құрылғы көрсеткіштерінде өлшенетін шаманың түрленуі жүйелі түрде орындалатын түрлендіргіш тізбегі ретінде қарастыруға болады. Сондықтан *аспап* мағынасында бұл түрлендіргіштердің барлық жиынтығын біртұтас біріктірілген немесе бірнеше бөлек блок түрінде орындалғанына қарамастан түсіну қажет.

Заманауи электрлік өлшеу аспаптарының құрылымдық схемалары өте алуан түрлі және кейде күрделі болып табылады. Бұл құрылымдық схемалардыекі сипаттамаға сәйкес жіктеуге болады:

1) өлшенетін шаманың сипаты бойынша (электрлік немесе электрлік емес);



4.1 сурет. Электрлік шамаларды өлшеуге арналған аспаптардың құрылымдық схемалары:

а — тек өлшеу механизмі бар; б — электрлік шаманы түрлендіргішпен; с — тепе-тең емес режимде салыстыру әдісі бойынша; г — тепе-теңдік режиміндегі салыстыру әдісі бойынша; д — автоматты теңдестіру

2) өлшеу әдісін пайдалану бойынша (4.1 сур.).

Электрлік шамаларды өлшеуге арналған электрлік аспаптардың құрылымдық схемалары. Электрлік шамаларды өлшеуге арналған электрлік аспаптардың ең қарапайым құрылымдық схемасы 4.1, а суретте көрсетілген. Бұл аспап тек өлшенетін электрлік шаманың $X_э$ түрлендіргішінен ғана тұрады, ол ӨМ өлшеуіш механизмінің есептеуіш құрылғысының көрсеткішінде көрсетіледі.

$X_э$ функциясы болып табылатын өлшеуіш механизмінің α бұрылу бұрышы жиі бағыттамааның күйіне байланысты есептеледі, ол шкала үстімен қозғалады және қозғалатын бөліктің осы-не бекітілген. Өлшеуіш механизмінің шкаласы әдетте өлшенетін электрлік шама бірліктерінде өлшемделеді.

Алайда, көп жағдайда өлшеуіш механизмінің мүмкіндіктері өлшеудің барлық жағдайларын қанағаттандыра алмайды, мысалы, өлшеу шегіне, талап етілетін қуатқа, жоғары кернеулі тізбектен персоналды қорғауға және т.б. қатысты.

Бұл жағдайда өлшенетін электрлік шама $X_э$ алдын ала өлшеу механизмінің параметрлеріне сәйкес келетін электрлік шамаға $Y_э$ түрлендіргіште $\Pi_э$ (4.1, б сурет) түрленуге ұшырайды.

Электрлік шамаларды электрлікке түрлендірушілерге мыналар жатады: өлшеуіш трансформаторлары, шунттар, КБ және қосымша резисторлар, айнымалы тоқты тұрақтыға түрлендіргіш (3 - тарауды қараңыз). Құрылымдық схемалары бар аспаптар (4.1, а және б суреттері) тікелей бағалау әдісімен жұмыс істейді және *тікелей бағалау аспабы* деп аталады.

Тепе-тең емес режимде салыстыру әдісімен жұмыс істейтін аспаптың құрылымдық схемасы 4.1, в суретте көрсетілген. Өлшенетін электрлік шама X_3 немесе онымен шақырылатын эффект тізбектің кейбір аумағында тұрақты мәнді хэ.к шамамен X_3 өтемделеді, ол әдетте өлшеуіш тізбек ӨТ деп аталатын түрлендіргіш арқылы қосымша қоректендіру көзінен $U_{всп}$ алынады.

Егер $X_{э.к}$ өлшенетін шаманы X_3 толықтай өтемдемесе, айырмашылық $\Delta X_3 = X_3 - X_{э.к}$ тікелей бағалау Г өлшеуіш аспабына түседі және аспап бойынша есептеу ΔX_3 функциясы болады.

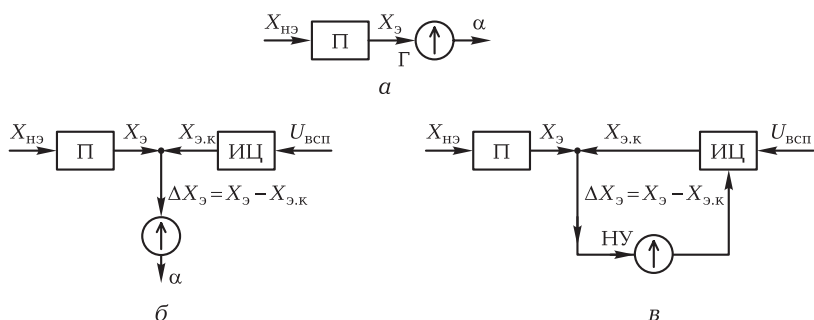
Тікелей бағалаудың өлшеуіш аспабы күрделі құрылымды аспаптың шығу жағдайларында қолданылатын болса, оны әрі қарай өлшегіш деп атаймыз.

Егер аспап тепе-теңдік режимінде салыстыру әдісі бойынша жұмыс жасаса, яғни нөлдік әдіс бойынша, онда оның құрылымдық схемасын 4.1, г суретте сәйкес көрсетуге болады. Мұндай жағдайда $X_{э.к}$ шамасы X_3 өлшенетін шамасын теңдестірілмейінше өзгереді, бұл токтың болмауын және нөлдік көрсеткішті НК көрсетеді.

Егер тепе-теңдік болмаса, онда $\Delta X_3 = X_3 - X_{э.к}$ айырмасы нөлдік көрсеткішті көрсететін болады. Содан кейін өлшеу тізбегінің бір немесе бірнеше параметрлерін тепе-теңдік орнатылмайынша өзгертеді, яғни $X_3 = X_{э.к}$ теңдеуі орындалғанға дейін.

Өлшенетін шаманың бірлігінде өлшемделетін есептеуіш құрылғыларды өлшеуіш тізбектің тепе-теңдікті алу үшін реттелетін параметрі бар бөлігі болып табылады. Бұл схемада теңестіруді шығару $U_{всп}$ өзгерту арқылы қолмен жасалады.

4.1, д суретте көрсетілген схемаға сәйкес жұмыс істейтін аспапта автоматты түрде теңестіру орындалады. Тепе-теңдік болмаған жағдайда пайда болатын сигнал айырмашылықтары $\Delta X_3 = X_3 - X_{э.к}$ күшейткішке $K_{ш}$ түседі, оның шығуында реверсивті қозғалтқыш РҚ қосылған, ал ол өлшеуіш тізбектің бөлігі болып табылатын потенциометрдің қозғаушығымен механикалық түрде байланысқан. Қозғалтқыш потенциометр қозғаушығын тепе-теңдік болмайынша жылжытады, яғни $X_3 = X_{э.к}$. Сонымен қатар, ΔX_3 нөлге тең болады және реверсивті қозғалтқыш тоқтайды.



4.2 сурет. Электрлік емес шамаларды өлшеуге арналған электрлік аспаптардың құрылымдық схемалары:

а — электр емес шаманы электрлік шамаға түрленуімен және өлшеуіш механизммен; б — электр емес шаманы электрлік шамаға түрленуімен және тепе-тең емес режимде салыстыру; в — электр емес шаманы электрлік шамаға түрленуімен және тепе-теңдік режимінде салыстыру

Бір мезгілде реверсивті қозғалтқыш бағыттамаы шкаламен жылжытады. Осылайша, өлшенетін шаманың әрбір мәніне потенциометр қозғауығының белгілі бір күйі және шкаладағы бағыттамааларға сәйкес келеді. Негізгі өлшеуіш тізбектердің салыстыру аспаптарыөтемдеу және көпірлік тізбектер болып табылады.

Электрлік емес шамаларды өлшеуге арналған электрлік аспаптардың құрылымдық схемалары. Бұл схемалар бұрын қаралған схемаларға ұқсас және олардан өлшенетін электрлік емес шамаларды электрлікке түрлендіргіштің қатысуымен ғана ерекшеленеді.

Электрлік емес шаманы өлшегенде, 4.1, б суретте келтірілген құрылымдық схема 4.2, а суретте көрсетілген схемаға айналады, мұнда өлшегіш (Г) $\Pi_{э}$ түрлендіргішті және ΘM өлшеу механизмін біріктіреді. 4.1, в суреттегі схема 4.2, б суретінің схемасына, ал 4.1, г суретіндегі схема болса 4.2, в суретіндегі схемаға айналады.

4.3. КӨПІРЛІК СХЕМАЛАР

Көпірлік схемалар электр тізбектерінің (R, C, M, L, f) параметрлерін және R, C, M, L, f параметрлеріне түрленетін әр түрлі

электрлік емес шамаларды өлшеуге аспаптарда кеңінен пайдаланылады.

Көпірлік тізбек схемасының негізгі қасиеттерін қарапайым көпірлік схема мысалында қарастырамыз, ол тұрақты токта жұмыс атқарады (4.3, а сурет). Резисторлар R_1 , R_2 , R_3 және R_4 көпір иінін түзеді. Олардың біреуі, мысалы R_1 , өлшенетін кедергі ($R_1 = R_x$) болып табылалы. Көпірдің ab диагоналында өлшегіш (гальванометр) қосылады, оның кедергісі R_Γ тең. U кернеулі қоректендіру көзі екінші диагональға, яғни c және d нүктелеріне қосылған.

Көпірдің тепе-жағдайы, яғни гальванометр I_Γ тогы нөлге тең теңдік болып

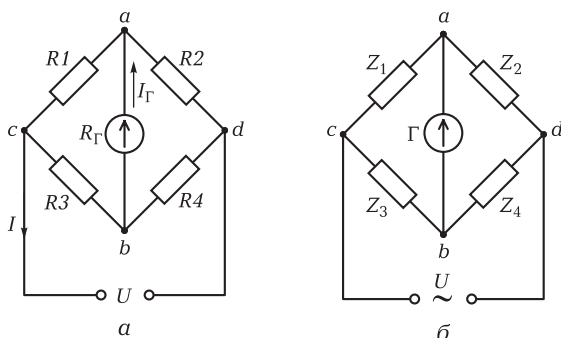
$$R_1 R_4 = R_2 R_3.$$

Бұл жерден өлшенетін кедергі

$$R_x = R_1 = R_2 (R_3 / R_4).$$

Көпірлік схемалар тепе-тең емес және тепе-теңдік режимдерде де жұмыс істейді.

Тепе-тең емес режимде көпір R_x өзгерісі кезінде кедергінің бастапқы мәнінде $R_1 = R_{x0}$ теңестіріледі, яғни $R_x \neq R_{x0}$ кезінде көпір тепе-теңдігінен шығады, ал өлшеуіште ток I_Γ пайда болады. Өлшеуіш шкаласы тікелей R_x бірліктерінде өлшемделеді. Сонымен қатар, ток I_Γ көпір иінінің кедергісі қатынасынан ғана емес, қоректенетін кернеу U немесе ток I мәніне де тәуелді, сондықтан қоректенетін кернеудің U тербелісінде қосымша қателік пайда болады.



4.3 сурет. Көпірлік схемалар:

а — тұрақты ток; б — айнымалы ток

Тепе-теңдік режимде жұмыс істегенде басқа иіндерден кез келген кедергінің өзгеруі жолымен R_x кез келген мәнінде көпір теңестіріледі. Қазіргі уақытта теңестірілмеудің пайда болуын қадағалайтын аспап арқылы теңестіру үрдісі жүзеге асырылатын автоматты көпірлер кеңінен пайдаланылады.

Көбінесе айнымалы токта көпірлік тізбектер тепе-теңдік режимінде қолданылады. 4.3, б суретте айнымалы токтың көпірлік тізбегі көрсетілген. Схемадағы a және b — көпір нүктелері; b және d — көпір диагоналі; G — өлшеуіш.

Барлық төрт көпір иінінде белсенді және реактивті кедергілер бар делік. Бұл жағдайда көпірдің тепе-теңдік күйі келесі теңдікпен көрсетіледі

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3,$$

мұндағы Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 — көпір иінінің толық кедергісінің кешендері.

4.4. ТІКЕЛЕЙ БАҒАЛАУ АСПАПТАРЫНЫҢ ӨЛШЕУ ДӘЛДІГІН БАҒАЛАУ

Тікелей бағалау әдісімен жұмыс істейтін өлшеу құралының абсолютті немесе салыстырмалы өлшеу қателігімен дәлдігін бағалау мүмкін емес. Мысалы, 100 бөлу шкаласымен 100 А амперметр осі лерге подшипниктер 100 бөлімшелер қате шкаласы 100 А амперметр тіректерінде осьтердің үйкелуі салдарынан бір бөлікке қателік туындайды, яғни 1 А. Үйкеліс салдарынан қателік кездейсоқ қателіктрге жататындықтан және оның шамасы мен белгісі қозғалатын бөліктің ауытқуына тәуелді болмағандықтан, осы аспаппен 90 А тең ток өлшегенде, өлшеудің салыстырмалы қателігі құрайды, %,

$$\frac{\pm 1 \text{ A}}{90 \text{ A}} 100 = 1,1.$$

Егер бұл аспаппен 20 А-ге тең ток өлшенетін болса, салыстырмалы қателік, %,

$$\frac{\pm 1 \text{ A}}{20 \text{ A}} 100 = 5.$$

Осылайша, берілген аспаптың салыстырмалы өлшем қателігі қозғалатын бөліктің ауытқуына байланысты өзгеше болуы мүмкін. Сондықтан, аспаптың дәлдігін *келтірілген қателік* γ_n деп

аталатын қателікпен бағалайды, ол аспаптың абсолюттік қателігінің ΔX аспаптың өлшеу шегіне X_n қатынасымен түсіндіріледі:

$$\gamma_n = \frac{\Delta X}{X_n}.$$

Қарастырылған мысалда аспаптың келтірілген қателігі 100 А құрайды, %,

$$\frac{1 \text{ А}}{100 \text{ А}} 100 = 1.$$

Демек, бұл жерден тікелей бағалаудың кез келген аспабы шкаланың соңғы үштігіндегі (дұрысы төрттігіндегі) көрсеткіш есептеуі кезінде қолданылуы қажет деген тұжырымдыма жасауға болады.

Осылайша, шкала басында жұмыс істеген жағдайда, тіпті жақсы аспаппен салыстырмалы өлшем қателігі жоғары болуы мүмкін.'

Аспапты пайдаланудың әртүрлі жағдайларында сапаны бағалау тұрғысынан аспаптың қателіктері екі категорияға бөлінеді.

Аспапты дайындау және құрылымының жетілмеуінен туындаған негізгі қателік қалыпты жұмыс жағдайлары деп қалыптаcқан аспапты өлшемдеу кезінде орын алатын келтірілген қателік ретінде анықталады. Қалыпты жұмыс жағдайлары әдетте былай түсіндіріледі: қоршаған ортаның температурасы 20 °С (немесе аспаптың шкаласында көрсетілген температура); 50 Гц жиілігі (немесе аспаптың шкаласында белгіленген жиілік); шкалада белгілі бір белгімен белгіленген аспаптың қалыпты жағдайы; сыртқы магнит және электр өрістерінің болмауы және т.б.

Аспаптың жалпы қателігін тудыратын қателіктер өздігінен кездейсоқтық болып табылады. Негізгі қателіктің басты құрамдас бөлігіне үйкеліс салдарынан болатын қателігі жатады.

Рұқсат етілген негізгі (келтірілген) қателікке қарай, аспаптар келесі кластарға бөлінеді: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Аспаптың әрбір класы ең үлкен рұқсат етілген негізгі қателікпен сипатталады, оның шамасы класс санына тең. Аспап класы шкалада тиісті сан бойынша шеңберде көрсетіледі.

Қалыпты жағдайлардың ауытқуы, яғни аспаптарды өлшемдеу кезіндегі жағдайлардың салдарынан болатын қосымша қателіктер параметрлерге, құрылымдық жетілуіне және қызметіне де байланысты болып келеді. Қосымша қателіктер, әдет-

те, жүйелі болып табылады. Сонымен, айналадағы әрбір 10 °C температураның құбылуынан болатын қосымша қателік класс нөмірінің шамасынан аспауға міндетті.

Сыртқы магнит өрісінің әсері келесі түрде нормаланады: 400 А / м кернеумен сыртқы өріс әрекеті қорғаныс категориясына байланысты, яғни сыртқы өрістердің әсерінен қорғаныстың құрылымдық шамасынан $\pm(0,5 \dots 5,0)$ асатындай аспап көрсеткіштерін өзгерістер әкелмеуге тиіс.

Тербеліс жиілігінен қосымша қателік $\pm 10 \%$ 50 Гц-ке немесе шкалада көрсетілген жиіліктен класс нөміріне сәйкес шамадан аспауы тиіс.

4.5. САЛЫСТЫРУ ӘДІСІ БОЙЫНША ЖҰМЫС ЖАСАУШЫ ӨЛШЕУІШ ҚҰРАЛДАР ДӘЛДІГІН БАҒАЛАУ

Тепе-теңдік режимінде (нөлдік құралдар) салыстыру әдісі бойынша жұмыс жасаушы өлшеуіш құралдар дәлдігі сұрағын қарастырамыз.

ЭҚК және кернеу төмендеуін өтем әдісі арқылы дәлдігін өлшеу келесімен анықталады:

- жұмыс тізбегі кедергісін оның номинал мәніне қиыстыру дәлдігі;
- жұмыс тогын бекіту дәлдігі;
- гальванометр сезгіштігі;
- тепе – теңдікті реттеу жатықтығы, яғни есептеу дәлдігі (есептелуші таңбалар санымен).

Жұмыс тізбектері кедергілерін олардың номинал көрсеткіштеріне қиыстыру $\pm 0,01 \%$ аспайтын қателікпен орындалуы мүмкін.

Жұмыс тогын бекіту дәлдігі қалыпты элемент қателігі, жұмыс тогы мен гальванометр сезгіштігі арасындағы кедергіні қиыстыру қателігі арқылы анықталады. Егер қалыпты токты 1 мкД аспайтын токпен жүктемесе, онда оның ЭҚК қателігі бөлме температурасынан $\pm 0,01\%$ аспайтын болады.

Неғұрлым гальванометр сезімталдығы жоғары болса, соғұрлым ол тепе-теңдік болмауын көрсетеді және E_x өлшемі дәлірек

жүзеге асырылады. Гальванометр сезімталдығы 0,01% артық емес қателікті көрсетпеуі тиіс. Ол үшін гальванометрдегі кернеу түсуі көзбен байқалатын минималды ауытқу жағдайында өлшенетін кернеуден 10 000 есеге аз болуы қажет.

Өтем әдісі арқылы әртүрлі көлемдер өлшемі дәлдігін $\pm(0,02...0,05)\%$ аспайтын қателікпен сипаттауға болады.

Тепе-теңдік режимінде көпірлік тізбекті қолданатын аспаптар көбінесе R_x өлшем қателігімен анықталады, ол есептеудің дәлдігімен және нөлдік бағыттамааның сезімталдығымен, көпірдің басқа үш иіндерінің кедергі дәлдігінің алға шығуымен анықталады. Алдында келтірілген тұжырымдарды өтемдік тізбектерге қайталай отырып, өлшеу қателігі тепе-тең көпірмен $\pm(0,01...0,02)\%$ төмендетіле алады деген қорытындығы келуге болады.

Тепе-тең емес режимде жұмыс істейтін көпірлік тізбекті қолдану кезінде өлшеу қателігі R_x негізінен өлшеуіштің қателігімен өлшенеді. Бұл жағдай $\pm(0,02...0,05)\%$ төмен емес тепе-теңдік емес көпірлер қателіктері дәлдігін шектейді.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тікелей бағалау әдісі салыстыру әдісінен айырмашылығы неде? Қай әдіс дәлірек және неліктен?
2. Электрлік шамаларды өлшеу құралдары жұмыстарының принциптері қандай? Олардың құрылымдық схемаларын суретке салып түсіндіріңіз.
3. Электрлік емес шамаларды өлшеу құралдарының құрылымдық схемалары айырмашылығы неде?
4. Тікелей әдісі арқылы өлшеуіш құралдары дәлдігі қандай көрсеткіштермен бағаланады?
5. Құралдың негізгі және қосымша қателігі деген не және олар қандай факторлармен анықталады?
6. Салыстыру әдісі арқылы жұмыс жасаушы құралдар дәлдігі қалай бағаланады?

5 ТАРАУ

ТОКТАР ЖӘНЕ КЕРНЕУЛЕРДІ ӨЛШЕУ

5.1. АМПЕРМЕТРЛЕР МЕН ВОЛЬТМЕТРЛЕРДІҢ ТҰТАСТЫҒЫ ЖӘНЕ АЙЫРМАШЫЛЫҒЫ

Кез келген өлшеуіш құрал оны пайдалану кезінде өлшеу объектісінің параметрлері мен жұмыс режимін өзгертпеуі керек. Бұл кез келген өлшеуіш құралға қойылатын негізгі талап, сондықтан да амперметр мүмкіндігінше аз кедергіге ие болуы керек, өйткені амперметр қосылғанға дейінгі тізбектегі ток (сурет 5.1, а):

$$I_x = \frac{U}{R},$$

ал ол қосылғаннан кейін,

$$I'_x = \frac{U}{R + R_A},$$

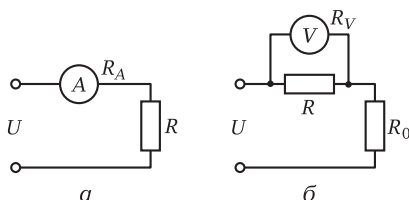
мұндағы U – тізбектегі кернеу; R – тізбек кедергісі; R_A – амперметр кедергісі.

$R_A \ll R$ болса ғана $I_x = I'_x$ ие боламыз.

Керісінше, вольтметр мүмкіндігінше жоғары кедергіге ие болуы керек. Шынында да, осылайша R_V кедергісімен вольтметр

Сурет 5.1. Электрлік тізбекке қосылу:

а – амперметр; б — вольтметр



көмегімен R кедергісі кернеу түсуін өлшеу қажет болса (сурет 5.1, б). Вольтметр қосылғанға дейінгі R кернеуінде түсу орын алды:

$$U_x = IR = \frac{UR}{R + R_0},$$

мұндағы I – тізбектегі ток; U – ток көзі кернеуі; R_0 – R кедергісіз бүкіл тізбек кедергісі. Вольтметр қосылғаннан кейін аламыз

$$U'_x = U \frac{RR_V / R + R_V}{R_0 + RR_V / R + R_V}.$$

Егер $R_V \gg R$ болса, онда $U'_x = U_x$.

Сонымен бірге өлшеуіш механизм амперметр және вольтметр ретінде қолданылуы мүмкін. Өлшеуіш механизмнің қозғалатын бөлігінің ауытқуы өлшеуіш механизм арқылы өтетін токтың тікелей функциясы болып табылады:

$$\alpha = f(I_V).$$

Өлшеуіш механизмді вольтметр ретінде қосылғандағы ток

$$I_V = \frac{U_x}{R_V},$$

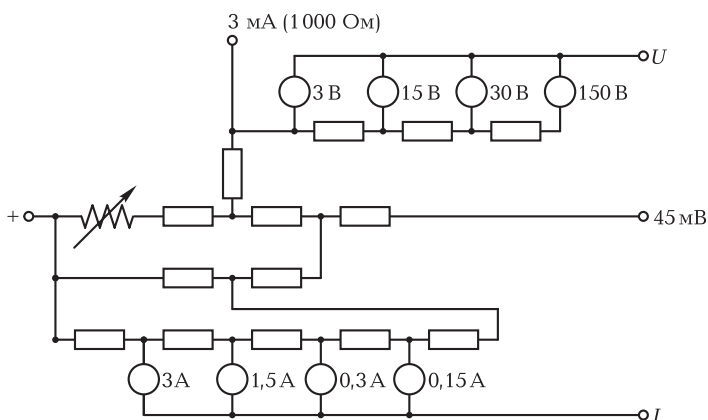
мұндағы U_x – өлшенетін кернеу; R_V – өлшеуіш механизмі тізбегінің кедергісі. Егер $R_V = \text{const}$ болса, онда

$$\alpha = \left(\frac{U_x}{R_V} \right) = f_1(U_x).$$

Осылайша, амперметр және вольтметр арасында принципиалды немесе конструктивті айырмашылық жоқ. Олардың айырмашылықтары өлшеуіш механизмі параметрлері мен құралдың өлшеуіш тізбегі құрылымы айырмашылығын көрсететін кедергілеріне деген қойылатын талаптар болып табылады.

5.2. ТҰРАҚТЫ ТОКТАР МЕН КЕРНЕУЛЕРДІ ӨЛШЕУ

Көп жағдайларда тұрақты токтар мен кернеулерді өлшеу магнитті-электрлік құралдар көмегімен жүзеге асырылады. Магнитті-электрлік амперметрлер шунтты милливольтметр үйлесімі



5.2 сурет. Құрастырылған вольтметр-амперметр өлшеуіш тізбегі схемасы

болса, ал вольтметрлер – қосымша кедергісі бар миллиамперметр болып табылады.

Магнитті-электрлік құралдар тікелей бағалаудың ең дәлірек құралдарына жатады. Олар зертханалық құралдар ретінде 0,1; 0,2 және 0,5 класында, және де қалқанды құралдар ретінде 1,0 және 1,5 класындашығарылады.

Магнитті-электрлік зертханалық құралдар көбінесе әмбебапты және көп шекті болып шығарылады. Құрастырылған вольтметр-амперметр өлшеуіш тізбек схемасы 5.2 суретте көрсетілген. Құрал қысқыштарын «+» және «I» қосқан кезде ол ішкі шунты 0,15; 0,3; 1,5 және 3 А амперметр ретінде жұмыс атқарады. Қысқыштарын «+» және «U» қосқан кезде құрал қосымша кедергілері 3; 15; 30 және 150 В бар вольтметр болады. Номинал ток кезінде 45 мВ кернеу түсуіне есептелген «+» және «45 мВ» қысқыштарына бөлек (сыртқы) шунттарды қосуға болады. Вольтметрдің 3 мА номинал тоғына есептелген «+» және «3 мА» (1000 Ом) қысқыштарына бөлек (сыртқы) қосымша резисторлар қосуға болады. Өлшеу тізбегінің қалған резисторлары құралдың температуралық қателігін өтеу үшін қажет.

Электродинамикалық жүйе құралдары 10 мА дан 100 А дейінгі токтар мен 100 мВ дан 600 В дейінгі кернеулерді өлшеу үшін қажет. Дәлдігі жағынан олар магнитті-электрлік жүйе құралдарына эквиваленті, бірақ маңызды көп қуатты тұтынады және бірегейлі емес шкалаға ие.

Электрмагнитті, электрдинамикалық, ферродинамикалық және электрстатикалық өлшеуіш механизмдерін айнаымалы токтар мен кернеулердің әрекетті мәндерін өлшеу үшін қолдануға болатыны және осы механизмдермен тікелей өлшенетін токтар мен кернеулердің жоғары шектерін көрсету туралы бұрын айтылған болатын.

Аталған өлшеуіш механизмдерінің ток бойынша өлшеу шектерін кеңейту, токтың өлшеуіш трансформаторлары көмегімен жүзеге асырылады, өйткені бұл механизмдер кернеу түсуі магниттіэлектрлікке қарағанда бірнеше есеге көп, сондықтанда шунттары шұбалаңқы және қымбат болуы мүмкін.

Кернеу бойынша өлшеу шектерін кеңейту қосымша кедергілер көмегімен және де кернеуді өлшеуіш трансформаторлары арқылы жүзеге асыруға болады. Соңығысынқолдану құралды жоғары кернеулі желіден ажырату қажеті туындағанда ең басты болып табылады. Электрстатикалық өлшеуіш механизмдердің өлшеу шектерін кеңейту қосымша конденсаторлар көмегімен жүргізіледі.

Электрмагнитті құралдар көбінесе 1,5 класты қалқанды құралдар, және 0,5 класты зертханалық көп шекті құралдар-ретінде қолданылады.

Электродинамикалық амперметрлер мен вольтметрлер айнаымалы токтағы ең дәлірек құралдар болып табылады. Олар 0,1; 0,2 және 0,5 класты зертханалық құралдар ретінде шығарылады.

Электрмагнитті, электродинамикалық және ферродинамикалық құралдары көбінесе өндірістік жиіліктегі айнаымалы ток-та немесе тұрақты ток-та бағаланады (тексеріледі). Бұл құралдар жоғары жиілікте өлшеу кезінде негізі шарғы индукциялығымен шартталған манызды қателікке ие. Аталған құралдар жоғары жиіліктерде жұмыс жасау үшін қолданылмайды.

Тәжірибеде электрстатикалық вольтметрлер аз жиіліктіден басқа (30...40 Гц дейін) кез келген жиіліктерде қолданылады, өйткені аз жиіліктерде өлшеуіш механизмі мен қосымша конденса-тордың толық Z кедергісі ауқымдық кедергіні шунттеуші ажы-рату кедергесіне байланысты.

Айнаымалы токтар мен кернеулердің әрекетті мәндерін өлшеу үшін термоэлектрлік құралдар қолданылуы мүмкін. Термоэлек-

трлік құралдар тізбегі схемалары сурет 5.3 көрсетілген. Термоэлектрлік құрал дегеніміз өлшенетін айнымалы тоқты I өткізуші температураны t өлшеу үшін қажетті сымтемір (терморезистор) 2 ретінде қызмет атқарушы термопара 1 үйлесімді магниттіэлектрлік өлшеуіш механизмі Γ болып келеді.

Магниттіэлектрлік өлшеуіш механизмі ауытқу α бұрышы термо ЭҚК-ға пропорционалды:

$$\alpha = S_i I_r = S_i \frac{E_T}{R_r + R_T} = k E_T,$$

мұндағы S_i — гальванометрдің токқа сезімталдығы; I_r — гальванометр термопара тоғы; E_T - термоЭҚК; R_r — термопара кедергісі; k — пропорционалдық коэффициенті.

ТермоЭҚК термопара еркін ұштары температурасы тұрақтылығы кезінде термопара жұмыс ұштары температурасының функциясы болып келеді:

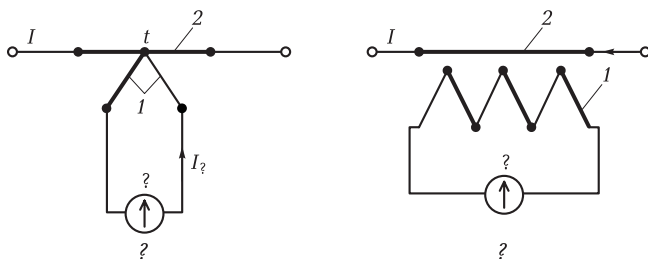
$$E_T = f_1(t).$$

Температура t өлшенетін ток I арқылы бөлінетін жылу функциясы болады, ол өз кезегінде ток квадратына пропорционалды:

$$t = f_2(I^2).$$

Демек, $\alpha = f(I^2)$ ауытқу бұрышы, яғни айнымалы ток I әрекетті мәнінің функциясы болып табылады.

Шкала сипаттамасы қатаң квадратты болмайды, өйткені терморезистор температурасы t сымтемірдің жылулық тепе-теңдігімен анықталады, яғни көптеген факторларға бағынышты бөлі-



5.3 сурет. Термоэлектрлік құралдар тезбегі схемасы:

а— жеке термопаралы; б — термопара батареясымен; 1 — термопара; 2 — ток өтетін терморезистор.

нетін жылу жоғалтуларымен. Егер өлшенетін ток аз болса, онда термоЭҚК мәні де аз болады. Бұл жағдайда бірнеше термопаралардан (сурет 5.3, б. қараңыз) тұратын батарея қолдануға болады. Осыған байланысты көбінесе термопара жұмыс ұштары терморезистордан шыны тамшыларыарқылы айырылады.

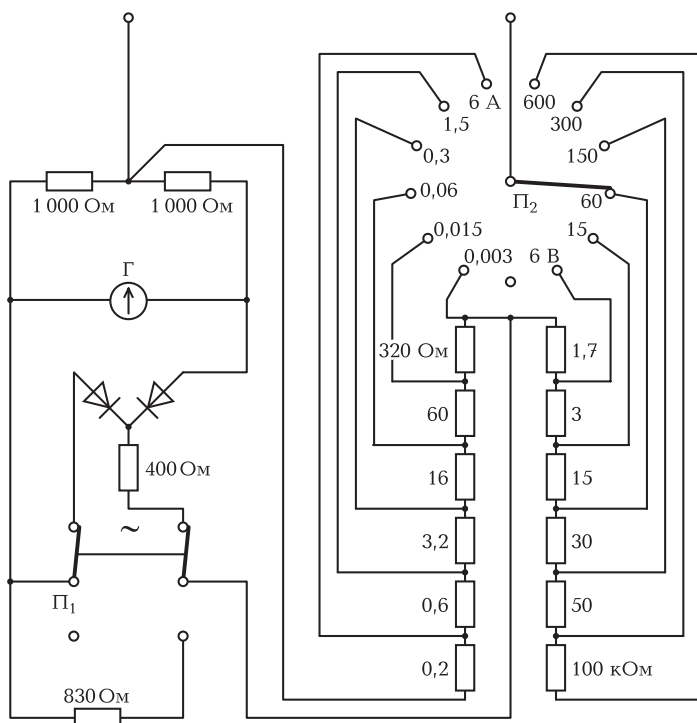
Көбінесе терморезисторды – *қыздырғыш* деп, ал қыздырғыш пен термопара үйлесімін – *термотүрлендіргіш* деп атайды. Терморезистор (қыздырғыш) әдетінше константан немесе платина мен родий қорытпасынан орындалады. Термопара ретінде хромель-копель термопарасы жиі қолданылады.

Терморезистор индукциялығы өте маңызсыз, сондықтанда термоэлектрлік құралдардың негізгі қолданысы жоғары жиілікті (мегагерцтардағы - МГц) токтарды өлшеу үшін болып табылады.

5.4. АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ОРТАША ЖӘНЕ АМПЛИТУДАЛЫҚ МӘНДЕРІН ӨЛШЕУ

Айнымалы токтың орташа және амплитудалық мәндерін өлшеу жартылайөткізуші және вакуумды диодтар, және вакуумды триодтармен үйлесімді түрде магниттіэлектрлік өлшеуіш механизмін қолдану көмегімен жүзеге асырылады. Жартылайөткізгіш диодтары бар құралдарды *түзеткіштер* деп атайды. Олар айнымалы токтың орташа мәндерін өлшейді. Вакуумды диодтары және триодтары бар құралдарды *шамдық* деп атайды. Олар айнымалы токтың амплитудалық және орташа мәндерін өлшейді. Бірақ екеуі де айнымалы токтың әрекетті мәндерінде бағаланады, сондықтанда түзеткіш құралдардың шкаласындағы сандық таңбалары 1,11 көбейтілген (синусоид үшін қисық формасы коэффициенті), шамдық құралдар шкаласында - $\sqrt{2}$ бөлінген (амплитуданың синусоида үшін әрекетті мәннің қатынасы).

Түзеткіш құралдар көбінесе тұрақты және айнымалы токта әмбебап көп шекті құралдары ретінде орындалады. Көп шекті түзеткіш құрал тізбегінің схемасы сурет 5.4 көрсетілген. Схемада Π_1 ауыстырып-қосқыш өлшеуіш механизмдерін түзеткіштермен (айнымалы ток) жұмыс жасау немесе түзеткіштерсіз (тұрақты ток) жұмыс жасауға ауыстырып қосу кезінде қызмет етеді.



5.4 сурет. Көп шекті түзеткіш құрал тізбегі схемасы:

Π_1 және Π_2 – ажыратып қосқыштар

Ажыратып қосқыш Π_2 ток және кернеу бойынша өлшеу шектерін өзгерту мүмкіндігін береді. Құрал ток бойынша (0,003; 0,015; 0,06; 0,3; 1,5 және 6 A) және кернеу бойынша (6; 15; 60; 150; 300 және 600 B) алты өлшеу шектеріне ие.

Түзеткіш құралдар 3...5 мың Гц дейін жиілікті айнымалы токтар мен кернеулерді өлшеу үшін қолданылуы мүмкін, өйткені одан жоғары жиіліктерде олардың кері кедергісін шунттеуші түзетушілердің ауқымды кедергісіне әсер ете бастайды. Түзеткіш құралдар 1,5 класты құралдар талаптарына сай келеді. Олар магниттіэлектрлік құралдар тұтынатын (3 мВт/В және 75 мВт/А) қуатты тұтынады.

Сурет 5.4 көрсетілген қосылған резисторлар көлемдеріне байланысты көп шекті құралдар басқа диапазонды токтар мен кернеулер үшін орындалуы мүмкін.

Шағын токтар мен кернеулерді өлшеу. Шағын токтар мен кернеулерді өлшеу қажеттілігі көбінесе тәжірибеде электрлік өлшеу кезінде пайда болады. Сонымен бірге екі жағдайды белгілейді. Бірінші жағдайда ток немесе кернеуді санды түрде өлшеу қажеттілігі. Бұл жағдайда құрал шкаласы ток немесе кернеу, немесе ток не кернеуде пайда болатын электрлік емес көлемнің бірлігінде бағаланады. Мұндай құралдарға деген ең басты талап – ол дәлдік.

Екінші жағдайда құралдың міндеттеріне тізбектің осы немесе сол аумағында ток болу факторларын табу кіреді, бұл жағдай нөлдік режимде (тепе-теңдік) салыстыру әдісі бойынша өлшеу кезінде орын алады. Осыған ұқсас құралдар *нөлдік көрсеткіштер* деп аталады. Оларға қойылатын ең басты талап ол жоғары сезімталдық. Нөлдік көрсеткіштер дәлдігі ешқандай рөл атқармайды. Сезімталдық ұлғаюы нөлдік көрсеткіш ауытқуын туындатушы бөгеуілдерімен қойылады. Бұл бөгеуілдерге қоректендіру көзін ажырату және құрастырудың бөлек бөліктері толық жетілмегендігі, механикалық шайқалулар, шарғылар мен сыртқы магнитті желілер арқылы өлшеуіш тізбектері сымтемірлерінде индукцияланатын ЭҚК және токтары шығып кету салдарын жатқызуға болады.

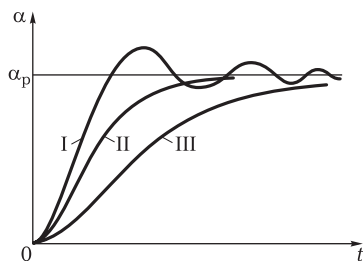
Нөлдік көрсеткіштер. Нөлдік көрсеткіштер ретінде әртүрлі айнымалы және тұрақты ток гальванометрлері және магнитті-электрлік өлшеуіш механизмдері бар шамдық және фотоэлектрлік күшейткіштер қолданылады.

Магнитті-электрлік гальванометр дегеніміз қарапайым ілгішке қозғалатын жиектемесі (немесе магнит) бекітілген және айналы есептегіші бар магнитті-электрлік өлшеуіш механизмі болып табылады. Гальванометрдің жоғары сезімталдығы негізінде ілгіштің қарсы іс-қимыл жасайтын сәті серіппенің қарсы іс-қимыл жасау сәтімен салыстырғанда күрт төмендеу арқылы жетеді. Бірақ азғантай қарсы іс-қимыл жасау сәтінде тыныштану сәті үлкен ролді ойнауын бастайды.

Егер қарапайым магнитті-электрлік құралдарда кернеуге жасалатындай етіп, жиектеме орамасын алюминий қаңқасына ораса, онда айналмалы немесе қарсы іс-қимыл жасаушы сәтіне қарағанда, жиектеме қозғалысы кезінде қаңқада индукцияланатын тұрақты магнит өрісі арқылы ток әсерімен құралатын ты-

5.5 сурет. Бекітілген ар ауытқуына қарай гальванометр қозғалатын бөліктерінің қисық қозғалысы:

I – теңселімді қозғалыс қисығы; II – сыншы қозғалыс қисығы; III – мерзімді емес қозғалыс қисығы



ныштану сәті маңызды жоғары болады. Сондықтанда гальванометр жиектемесін қаңқасыз етіп орындайды.

Гальванометр қозғалатын бөлігінің қисықтарының тепе-теңдік жағына қарай (яғни бекітілген ауытқуға қарай) қозғалысы ар сурет 5.5 көрсетілген. Қисық I кедергі $R_{вн}$ жоғары болған кезде орын алады. Құралдың бұл жұмыс режимі теңселімді немесе мерзімдік (жеткілікті тынышталынбаған) болып келеді. Қисық II қозғалатын бөліктің мерзімдік және мерзімді емес режимдер арасында шектелуші сыншы қозғалыс режиміне сәйкес келеді. Қисық III $R_{вн}$ төмен мәндеріне сипатты мерзімдік емес (қайта тынышталған) қозғалысты байқатады.

Бір гальванометрде токқа және кернеуге деген сезімталдықты үйлестіру мүмкін емес. Токқа сезімтал гальванометрларда көбінесе жиектеме кедергісі ұлғаюына, тасқын ілінісі ψ және де сыншы кедергіге тікелей әкелетін орамдардың маңызды сандарын тандайды. Кернеуге сезімтал гальванометрлер жиектеменің төмен кедергісі мен аз сыншы кедергіге ие болады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Амперметрлер мен вольтметрлер тұтастығы мен айырмашылығы неде?
2. Амперметрлер мен вольтметрлер қандай параметрлер арқылы ерекшеленеді?
3. Тұрақты токтар мен кернеулерді өлшеу үшін көп шекті құралдар қалай құрылған?
4. Айнымалы токтар мен кернеулердің әрекетті мәндерін қандай құралдармен өлшеуге болады?
5. Айнымалы ток орташа және амплитудалы мәндері қалай өлшенеді?
6. Шағын токтар мен кернеулерді өлшеу ерекшеліктері қандай?
7. Нөлдік көрсеткіштерге қандай талаптар қойылады?

6 ТАРАУ

ЭЛЕКТР ҚУАТЫ МЕН ЭНЕРГИЯНЫ ӨЛШЕУ

6.1. ТҰРАҚТЫ ЖӘНЕ БІРФАЗАЛЫҚ АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ ҚУАТТЫ ӨЛШЕУ

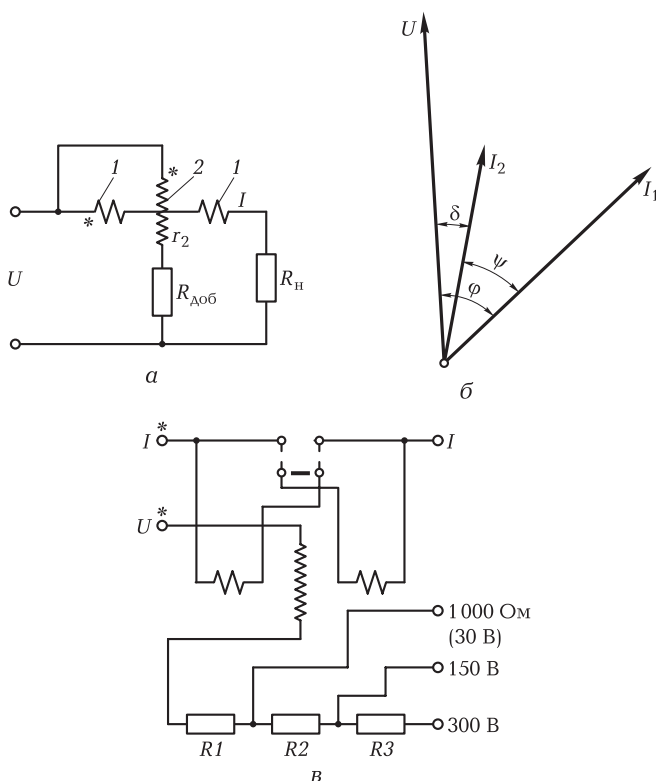
Айнымалы ток тізбектеріндегі қуатты өлшеу үшін электр-динамикалық ваттметрлер, ал бірфазалық ток тізбектерінде – электрдинамикалық (0,2 және 0,5 класты зертханалық аспаптар ретінде), ферродинамикалық және индуктивтік (1,0 және 1,5 класты щиттік аспаптар ретінде) қолданылады.

Электрдинамикалық ваттметрдің мысалында барлық ваттметрлердің жалпы қасиеттерін қарастырайық. Электрдинамикалық өлшеу механизмін ваттметр ретінде пайдаланған кезде, оның шарғылары суретте көрсетілгендей 6.1а-схемасы бойынша қосылады. Қозғалмайтын шарғының 1 екі жартысы да ток тізбегіне I дәйекті түрде, ал қозғалатын шарғы 2 жүктемеге R_n қатарлас U кернеуге қосылған. Қосымша кедергі $R_{\text{кoc}}$ кернеу бойынша ваттметрдің өлшеу шегін кеңейту үшін қызмет етеді, сондықтан қозғалмайтын шарғыны жиі *дәйекті*, ал қозғалатын шарғыны *қатарлас* деп атайды. Көрсеткіш γ_2 жылжымалы шарғының кедергісін білдіреді.

Бұрын ауытқу бұрышының тәуелділігі үшін келесі өрнек арқылы электрдинамикалық өлшеу жүйесі 1_1 және 1_2 токтар α алынған:

$$\alpha = \frac{c I_1 I_2 \cos \psi}{W} \frac{dM}{d\alpha}$$

мұндағы c – конструктивті тұрақты; ψ – I_1 және I_2 токтарының арасындағы фазалық жылжу; W – нақты қарсы іс-әрекет жасау моменті; M – дәйекті және параллель шарғы арасындағы өзара индуктивтілік.



6.1-сурет. Электродинамикалық ваттметр:

а - қосылу схемасы: 1 - қозғалмайтын (дәйекті) шарғылар; 2 - қозғалатын [параллель] шарғылар; б - векторлық диаграмма; с - көпшекті ваттметр тізбегінің схемасы

Егер ваттметр тұрақты ток тізбегіне қосылса, онда

$$I_1 = I; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad \psi = 0,$$

мұндағы $R_2 = r_2 + R_{\text{н}}$.

Сонда

$$\alpha = \frac{cIU}{R_2 W} \frac{dM}{d\alpha} = KP \frac{dM}{d\alpha},$$

мұндағы K – тұрақты, $K = \frac{c}{R_2 W}$; P – қуат.

Егер ваттметр айнымалы ток тізбегіне қосылса, онда фазалық жылжулар (6.1, б-сурет) қарастырылуы керек. Қозғалмайтын

шарғы тізбегінің аздаған индуктивтілігі салдарынан ондағы ток I_2 кернеуден U айтарлықтай үлкен емес бұрышқа δ артта қалады. Дәйекті шарғыдағы ток ($I_1 = I$) және кернеу арасындағы фазалық жылжу φ жүктеме сипатымен анықталады.

$\psi = \varphi - \delta$ болғандықтан, онда

$$\alpha = \frac{cIU \cos(\varphi - \delta)}{z_2 W} \frac{dM}{d\alpha},$$

мұндағы z_2 - параллельді шарғылар тізбегінің кешенді қарсылауының модулі.

$Z_2 = R_2 / \cos \delta$ формуласын (6.2) алмастырамыз

$$\alpha = \frac{cIU \cos \delta \cos(\varphi - \delta)}{z_2 W} \frac{dM}{d\alpha}.$$

Егер δ елемейтін жағдайда:

$$\alpha = KIU \cos \varphi \frac{dM}{d\alpha} = KP \frac{dM}{d\alpha}.$$

Осылайша, электродинамикалық ваттметрдің көрсеткіштері тұрақты және айнымалы токта да қуатқа P пропорционал болады. Олардың шкалалары іс жүзінде теңестірілген.

Егер ток бағытын шарғылардың біріне бағытталатын болса, онда формулаларға (6.1) және (6.2) байланысты, ауытқу α белгісін кері өзгертеді, яғни аспаптың бағыттамаcы кері жаққа шеттетіледі. Сондықтан, ваттметрды қосқан кезде, токтардың шарғыларға анық бағытын сақтау қажет.

Шарғы орамаларының «басын» және «сонын» ажырату үшін ваттметрде шарғы орамасының «басы» әрқашан ерекше белгімен «*» (жұлдызша) немесе «+» (плюс) анықталады. Белгімен көрсетілген қорытындылар генератор қорытындылары немесе генераторлық қысқыштар деп аталады. Бұл атау олар жүктемеге емес, ток көзіне (генераторға) баратын өткізгіштерге қосылатындықтан шыққан.

Электродинамикалық ваттметрлер әдетте жоғары дәлдіктегі сыныптардағы зертханалық аспаптар болып табылады және бірнеше ток және кернеу шектерімен шығарылады. Мұндай ваттметрдің ішкі байланыстарының схемасы 6.1, в- суретінде көрсетілген.

Схемада дәйекті тізбек құрайтын қозғалмайтын шарғылардың екі жартысы дәйекті немесе қатарлас қосылады. Соңғы жағдайда, осы шарғылардағы бірдей ток құралдың екі есе көбейтілген номиналды ток күшімен өтеді. Қатарлас тізбектің қосымша ке-

дергісі секцияланады, нәтижесінде кернеу бойынша да бірнеше шектер болады. Сонымен бірге, сыртқы қосымша кедергілері қосылыстары үшін қызмет ететін 1000-омдық деп аталатын қысқыш шығарылады. Өйткені электрдинамикалық ваттметрдің қатарлас тізбегінің номиналды тогы 30 мА құрайды, онда осы қысқыш 30 В кернеуге сәйкес келеді. Сурет 6.1, в схемасында R1, R2 және R3 - қосымша кедергілер.

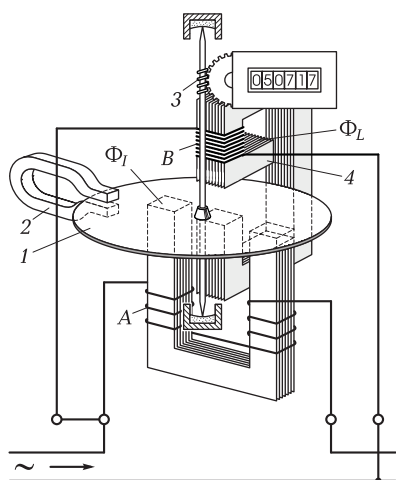
Көбінесе ваттметрлер бағыттамадың толық ауытқуы номинал ток, номинал кернеу және $\cos\varphi = 1$ кезінде түсетіндей етіп есептеледі. Осы мәндерге және шкаладағы бөлу сандарына сәйкес тұрақты ваттметр немесе оның бөлу бағасы анықталады. Осылайша, 5 А ваттметр, 150В және шкаламен 10 бөлімі бар $\cos\varphi = 1$, тұрақты құрамдас бөлігі болады, Вт/бөл.

$$c = \frac{5 \cdot 150 \cdot 1}{150} = 5.$$

Ферродинамикалық және индукциялық ваттметрлер 1,5-тен және одан төмен дәлдік класының қалқанды аспаптары ретінде шығарылады.

6.2. БІР ФАЗАЛЫҚ АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ БЕЛСЕНДІ ЭНЕРГИЯНЫ ӨЛШЕУ

Айнымалы ток тізбектеріндегі энергия индуктивтік есептегіштер арқылы өлшенеді. Есептегіштің қозғалмайтын бөлігі екі электрмагниттен тұрады: электрмагнит орамы А дәйекті түрде жүктеме тізбегіне, ал электрмагнит В оған қатарлас қосылған (сурет 6.2). Есептегіштің жылжымалы бөлігі тұрақты магнит өрісінде 2 айналатын диск 1 болып табылады. Диск өсі есептегіш механизмде бұрамдық беріліспен 3 байланысқан. Суретте 4 санымен электрмагнит В магнитті сымтемірінің



6.2-сурет. Индукциялық бір фазалы энергияесептегіш құрылғысы:

1 - дискі; 2 - тұрақты магнит; 3 - бұрамдық беріліс; 4 - магнит В магнит өткізгішінің «өсіндісі».

«өсіндісі» көрсетілген. 4 санымен суретте электрмагнит В магнит өткізгішінің «өсіндісі» көрсетілген.

Тежеу сәті алдыңғы бөлікте қарастырылған электрдинамикалық есептегіштегідей құрылады. Демек, тежеу сәті дискінің бұрыштық жылдамдығына пропорционалды.

Индукциялық өлшеу механизмінің айналу моменті

$$M_{\text{вр}} = Kf\Phi_1\Phi_U \cos\psi, \quad (6.3)$$

Мұндағы K – конструктивті тұрақты; f – жиілік; Φ_1 және Φ_U – дискіге енетін A және B электрмагниттерінің ағыны; ψ – ағындардың фазалық ауысуы.

Бірфазалы токтың қуаты

$$P = IU \cos\psi$$

Өйткені дәйекті A орамы бойынша ток I өтетіндіктен, Φ_1 ағынын бірінші жақындағынынан ток I -ге пропорционалды деп санауға болады:

$$\Phi_1 = cI$$

Қатарлас орам B жұқа сымтемірлер орамдарының үлкен санынан тұрады және қосымша кедергісіз U кернеуге қосылады. Демек, оның белсенді кедергісі реактивтімен салыстырғанда аз және оған салынған кернеу толығымен өзін-өзі индуктивтік E ЭҚК теңестіріледі деп санауға болады, ол келесі формуламен өрнектеледі

$$U \approx E = \omega w \Phi_{U_0},$$

мұнда ω – бұрыштық жиілік; w – параллель орамның орамдар саны; Φ_{U_0} – онымен жасалатын жалпы ағын.

Осыған байланысты

$$\Phi_{U_0} \approx \frac{U}{\omega w}.$$

Бұл ағынның бір бөлігі, яғни Φ_U , дискіні тесіп өтеді. Флюс Φ_U кернеуге пропорционалды және жиілікке кері пропорционалды:

$$\Phi_U = c_2 \frac{U}{w\omega} = c_3 \frac{U}{f},$$

мұндағы $\omega = 2\pi f$.

Осылайша, (6.3) өрнегінде Φ_L оған пропорционал I - мен, ал Φ_U -ті U шамасымен алмастыруға болады. Онда тендікті қамтамасыз ету қалады

$$\sin \psi = \cos \varphi, \quad \psi = \frac{\pi}{2} - \varphi.$$

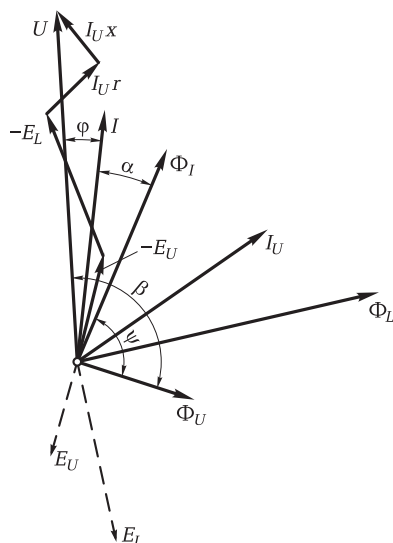
Сонымен, айналдыру кезі күшке пропорционал болады:

$$M_{\text{вр}} = KI U \cos \varphi = KP.$$

Осы соңғы шартты келесідегідей көрсетуге болады: $\varphi = 0$ (индуктивтік емес жүктеме) кезінде дискті қиып өтетін Φ_U және Φ_L ағындары арасындағы бұрыш 90° тең болуы тиіс. Индуктивтік есептегіштерде осындай қозғалысты құру үшін қатарлас орам ағымы дискті тесіп өтетін жұмыс ағымына Φ_U және «өсінді» арқылы диск жанынан өтетін жұмыссыз ағымға Φ_L бөлінеді (сурет 6.2 қараңыз).

Ағын Φ_L болуының салдарынан бұрыштың ұлғаюы ψ есептегіштің векторлық диаграммасын көрсетеді, сурет 6.3 берілген. Бұл диаграммада U — ток I векторы φ бұрышына біршама кейінделетін кернеудің қатарлас орамына салынған вектор (жүктеменің индуктивті сипаты күтілуде) болып келеді. Электромагнит өзегіндегі гистерезис және құйынды ток жоғалтуларына негізделген I токтан α бұрышына кейінделетін дәйекті орамның Φ_L ағын векторы (сурет 6.2 қараңыз). Электромагнит қатарлас орамының I_U ток векторы тізбектің жоғары индукциялығына байланысты 90° жақындау бұрышына кернеу векторынан кейінделеді. Бұл ток екі бөлікке бөлінетін

ағын қалыптастырады: жұмыс ағыны Φ_U және жұмыс істемейтін ағын Φ_L . Ағын Φ_U ток I_U қатысты фаза бойынша Φ_L ағынына қарағанда айтарлықтай көп жылжытылған, өйткені Φ_U жолында маңызды жоғалтулары бар диск болады, онда I_U қатысты Φ_L жылжуы магнитті сымтемірлері жолғатуларымен анықталады. Φ_L және Φ_U ағындары қатарлас тізбек орамында E_L және E_U электр қозғалтқыш күштерін туралайды. Сонымен



6.3-сурет. Индукциялық санауыштың векторлық диаграммасы

бірге, қатарлас орамдардың белсенді және реактивті кедергілерінде I_{Ur} және I_{Ux} кернеулерінің түсуі орын алады. Кернеу U векторы сурет 6.3 көрсетілгендей E_L , E_U , I_{Ur} және I_{Ux} теңестіруі керек. Егер β бұрышы арқылы U және Φ_U векторлары арасын белгілесе, онда Φ_U және Φ_I арасындағы 90° жылжу шартын келесі түрде көрсетуге болады (сурет 6.3):

$$\beta = \varphi + \alpha + \psi = 90^\circ + \alpha, \text{ немесе } \beta - \alpha = \varphi + \psi = 90^\circ.$$

Егер Φ_L ағыны және E_L ЭҚК болмағанда, онда іс жүзінде 90° астам дерлігі дискті тесіп өтетін кернеу U және Φ_U ағыны арасындағы β арасындағы бұрышты алу мүмкін емес. Осылайша, $\Phi_I = c_1 I$, $\Phi_U = c_3 U/f$, $\sin\psi = \sin\varphi$ шартын орындай отырып, келесіні есептеуге болады

$$M_{вр} = KP.$$

Жоғарыда көрсетілгендей тежеуіш кезді келесі формуламен есептеуге болады

$$M_{тор} = c \frac{d\alpha}{dt}.$$

Орнатылған жылдамдықта

$$M_{вр} = M_{тор} \text{ немесе } KP = c \frac{d\alpha}{dt}.$$

t_1 -тен t_2 уақыт аралығындағы интегралданғаннан кейін аламыз

$$W_e = cN,$$

мұндағы N - зәкір орамының уақытындағы ($t_2 - t_1$) жалпы саны.

Индуктивтік есептегіште, сондай-ақ бұрын қарастырылған электрдинамикалық есептегіштегідей үйкелу кезін өтеу және өздігінен жүрудің пайда болуына қарсы келетін құрал қарастырылады.

6.3. ҮШФАЗАЛЫҚ АЙНЫМАЛЫ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ БЕЛСЕНДІ ҚУАТ ПЕН ЭНЕРГИЯНЫ ӨЛШЕУ

Симметриялық жүктемесі бар үшфазалы ток тізбектерінде белсенді қуат пен энергияны өлшеу. Кезең ішінде үшфазалы тізбектің қуаты мен энергиясының орташа мәні формула бойынша анықталады

$$P = U_{1\phi} I_{1\phi} \cos\varphi_1 + U_{2\phi} I_{2\phi} \cos\varphi_2 + U_{3\phi} I_{3\phi} \cos\varphi_3,$$

мұндағы ϕ индексімен U және I әр түрлі мәндері белгіленген.

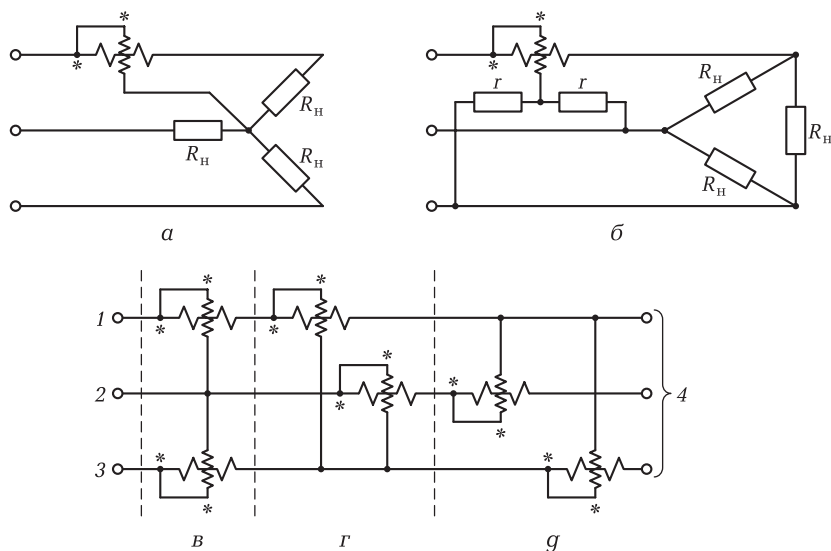
Жүйенің толық симметриясы кезінде, яғни $U_{1\phi} = U_{2\phi} = U_{3\phi} = U_{\phi}$, $I_{1\phi} = I_{2\phi} = I_{3\phi} = I_{\phi}$ және $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ қуатқа P теңдігі

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos\varphi,$$

немесе (ток және кернеудің сызықтық мәндері арқылы)

$$P = \sqrt{3} U_A I_A \cos\varphi.$$

Егер үш сымды тізбектің симметриялық жүктемесі жұлдыз арқылы қосылса және нөлдік нүкте қолжетімді болса, онда сурет 6.4 көрсетілгендей қуат пен энергия өлшеуі бір ваттметр және бір есептегіш арқылы жүзеге асырылады. Бұл жағдайда ваттметрдің үш еселі көрсеткіші R_H жүктемесінде тұтынылатын толық белсенді энергияға тең болады.



6.4-сурет. Үшфазалық симметриялық тізбектегі белсенді қуатты өлшеу үшін ваттметрді қосу схемасы:

а — жұлдыз және нөлдік нүктеде байланысу; б — қолжетімді емес нөлдік нүкте немесе жүктеме үшбұрышпен байланысқанда; в, г, д — симметриясыз жүктемеде қуатты өлшеу схемасы; 1, 2, 3 — үшфазалық тізбек фазалары; 4 — жүктеме

Егер нейтралды нүкте қолжетімсіз болса немесе кернеу үшбұрышпен қосылса, онда сурет 6.4 көрсетілген схеманы қолдануға болады, ондағы ваттметрдің қатарлас тізбегі кедергісіне көлемі тең екі г кедергісі жасанды нейтралды нүктені құрайды. Толық қуатты алу үшін бұл жағдайда да ваттметр көрсеткішін үш есеге арттыру керек.

Бейсимметриялық жүктемесі бар үш фазалық ток тізбегіндегі қуат пен энергияны өлшеу. Көбінесе осындай жағдайларда өлшеу сурет 6.4 в, г, және д көрсетілген схемаларының біреуіне сәйкес қосылған екі аспаптар арқылы жүзеге асырылады. Дәйекті шарғылар кез келген екі сызыққа қосылады, оларға қатарлас шарғылардың генераторлы ұштары қосылады. Қатарлас шарғылардың генераторлы емес ұштары сызықтың дәйекті орамдарынан босына қосылады.

Ваттметр сурет 6.4 в-схемасына сәйкес қосылған деп есептейік. Онда үш фазалық жүйеде жүктеменің үшбұрышпен немесе жұлдызбен қосылу схемасына қарамастан жүйенің лездік қуат мәні бөлек фазалар қуатының лездік мәніне тең болады:

$$P = P_1 + P_2 + P_3.$$

Қабылдағыштарды жұлдызбен байланыстырған кезде, бұл теңдеу келесі түрде қайта жазылуы мүмкін:

$$P = u_{10} i_1 + u_{20} i_2 + u_{30} i_3, \quad (6.4)$$

мұнда u_{10} , u_{20} , u_{30} - фазалық кернеулердің лездік мәндері; i_1 , i_2 , i_3 - токтың фазалық жүктемелерінің лездік мәндері.

Кирхгоф алғашқы заңы негізінде

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0,$$

бұдан

$$i_2 = -(i_1 + i_3). \quad (6.5)$$

Лездік қуаты үшін өрнек (6.5) ток i_2 мәнін (6.4) теңдеуіне қою арқылы аламыз:

$$\begin{aligned} P &= u_{10} i_1 + u_{30} i_3 - u_{20} (i_1 + i_3) = u_{10} i_1 + u_{30} i_3 - u_{20} i_1 - u_{20} i_3 = \\ &= i_1 (u_{10} - u_{20}) + i_3 (u_{30} - u_{20}), \end{aligned}$$

мұнда $u_{10} - u_{20} = u_{12}$ және $u_{30} - u_{20} = u_{32}$ - сызықтық кернеулердің лездік мәндері.

осылайша,

$$P = i_1 u_{12} + i_3 u_{32}.$$

Осындай тұжырымдарға үшбұрыш схемасы бойынша жүйені қосу арқылы келуге болады (сурет (6.4 көрсетілгендей). Бұл жағдайда *Кирхгоф екінші заңына* сай фазалық және сызықты кернеулердің лездік мәндері бір-біріне тең және токтардың лездік мәндері сәйкес сызықты токтар лездік мәндеріне тең екенін ескеру қажет.

$$u_{1\phi} + u_{2\phi} + u_{3\phi} = 0,$$

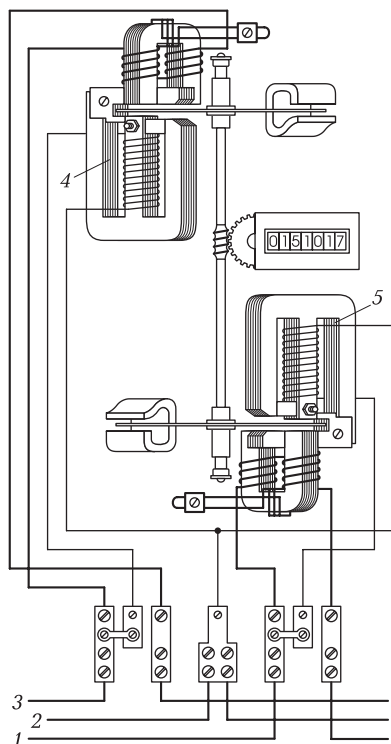
Қуаттың лездік мәннен орташа мәніне өту арқылы, аламыз

$$P = I_1 U_{12} \cos \beta_1 + I_3 U_{32} \cos \beta_2,$$

мұндағы $\beta_1 - U_{12}$ және I_1 арасындағы фазалық ауысу, $\beta_2 - U_{32}$ және I_3 арасындағы фазалық ауысу.

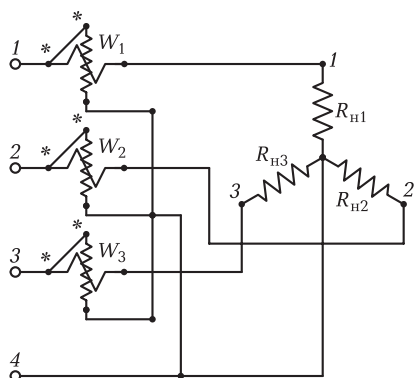
Үш фазалық энергия есептегіштері бір өске бекітілген және сурет 6.4 схемалараның бірімен қосылған жалпы қозғалмалы бөліктері бар екі өлшеуіш механизмдерден тұрады (сур. 6.5).

Үш фазалық төрт сымды тізбектегі қуат пен энергияны өлшеу. Бұл жағдайда қуат пен энергияны өлшеу үш ваттметрмен (W_1, W_2, W_3) немесе сурет 6.6 схемасына сәйкес қосылған есептегіштермен жүзеге асырылады. Әрбір ваттметр бір фазаның қуатын есепке алады. Сурет 6.6 схемасында R_{H1}, R_{H2} және R_{H3} - 1, 2 және 3 фазалардағы жүктемелер.



6.5-сурет. Бір өске бекітілген екі дискілі үш фазалық энергия есептегіш құрылғысы:

1,2,3-үшфазалық тізбек фазалары, 4,5-есептеуіш механизмдерін өлшеуіш.



6.6-сурет. Қуаты және үшфазалық төрт сымды тізбектегі энергияны өлшеу үшін ваттметр немесе есептегіштерді қосу схемасы:

1, 2, 3 - тізбек фазалары; 4 – нөлдік сымтемір.

Жүйенің толық қуатын үш ваттметр көрсеткіштерін қосу арқылы анықтауға болады:

$$P_1 + P_2 + P_3 = U_{10} I_1 \cos \varphi_1 + U_{20} I_2 \cos \varphi_2 + U_{30} I_3 \cos \varphi_3.$$

Төрт өткізгішті тізбектер үшін үш фазалы ваттметрлер және есептеуіштердің бір осьте бекітілген қозғалатын бөліктерімен үш өлшеуіш механизмі болады.

6.4. РЕАКТИВТІК ҚУАТ ПЕН ЭНЕРГИЯНЫ ӨЛШЕУ

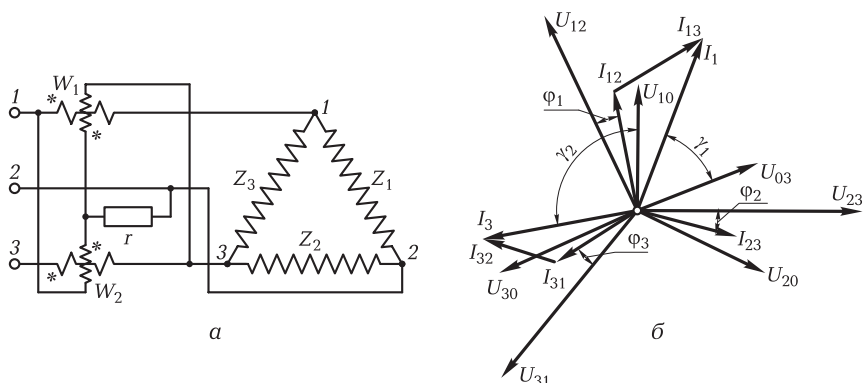
Реактивті қуат келесідей өрнекпен анықталады:

$$P_r = UI \sin \varphi.$$

Бұндай қуат уақыт бірлігі кезінде берілетін энергияны сипаттап бермесе де, реактивті қуат пен энергияны іс жүзінде өлшеу қажет, өйткені электрберіліс желілерінде реактивті энергияның бар болуы олардың ішіндегі тоқтың артуын тудырады, нәтижесінде жоғалтымдардың артуына және кернеудің төмендеуіне әкеліп соқтырады. Сол себепті $\cos \varphi$ -дің азаюына ұмтылу керек, яғни $\sin \varphi$ -дің азаюына, басқа сөзбен айтқанда реактивті қуат пен энергияның азаюына ұмтылу қажет.

Тәжірибе жүзінде үшфазалы ток тізбектерінің реактивті қуаты мен энергиясын өлшеудің зор мәні бар.

W_1 және W_2 екі электрдинамикалық ваттметрлері көмегімен жасанды нөлдік нүкте арқылы үшфазалы ток тізбектерінің реактивті қуатын өлшеу схемасы мен векторлы диаграммасы 6.7 суретінде бейнеленген. Бұл схема қарапайым ассимметрия кезінде

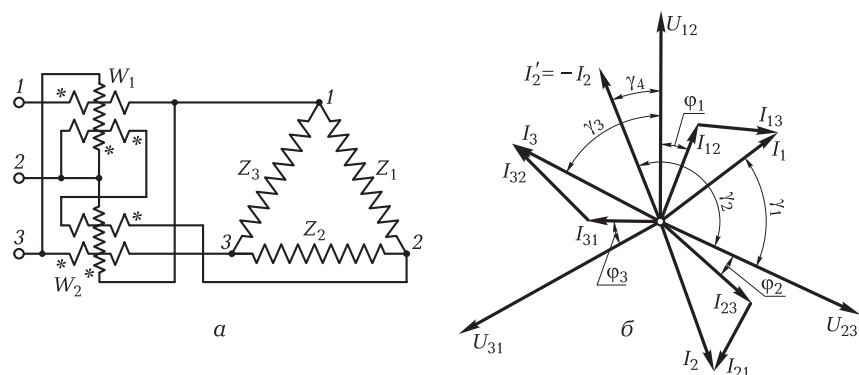


6.7-сурет. Қарапайым симметриялы үшфазалы тізбектердегі реактивті қуатты өлшеу:

1 - екі ваттметрдің диаграммасы; 1, 2, 3 - тізбектің фазасы; б - векторлық диаграмма. 6.7-сурет. Қарапайым симметриялы үшфазалы тізбектердегі реактивті қуатты өлшеу:

қолданылады, яғни кернеудің симметриясы және тоқтың симметрия еместігі және фазалық жылжуда. r кедергісі ваттметрлердің параллель орамаларының кедергісіне тең болуы керек. 6.7 суреттегі схемада Z_1, Z_2 және Z_3 - фаза желілеріндегі 1, 2 және 3 жүктемелер.

6.7, б суретте тоқтың векторлық диаграммасы және 6.7, а суретіндегі схема үшін кернеу көрсетілген.



6.8.-сурет. Жеке дәйекті орамалары бар реактивті энергияның үш фазалы есептегіші:

а - қосылу тізбектері; 1, 2, 3 – тізбектер фазалары; б - векторлық диаграмма.

Сурет 6.7. а, схемасына сәйкес ваттметрлер көрсеткіштері келесі өрнектер арқылы анықталады:

$$P_1 = U_{03} I_1 \cos(U_{30} I_1) = U_{03} I_1 \cos \gamma_1; \quad P_2 = U_{10} I_3 \cos(U_{10} I_3) = U_{10} I_3 \cos \gamma_2.$$

Қарапайым ассиметрия кезінде үшфазалық токтың реактивтік энергиясын өлшеу үшін қосымша дәйекті орамдары бар индуктивтік есептегіштер кеңінен таралған, оның схемасы 6.8, а-суретте көрсетілген. Бұнда әрбір элементтің дәйекті тізбегі орамасы саны бірдей екі орамдардан тұрады. Векторлық диаграммаға сәйкес (6.8б-сурет), ваттметрлердің көрсеткіштері келесідей болады:

$$P_1 = U_{23} I_1 \cos \gamma_1 + U_{23} I_2' \cos \gamma_2; \quad P_2 = U_{12} I_3 \cos \gamma_3 + U_{12} I_2' \cos \gamma_4,$$

Онда $I_2' = -I_2$, екінші орам секілді генераторға генераторлық емес соңымен байланысқан.

Қарастырылған схема бойынша реактивті энергияның тек индуктивтік есептегіштері шығарылады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Тұрақты ток және бір фазалы айнымалы ток тізбектеріндегі қуатты қалай өлшеуге болады?
2. Тұрақты ток тізбектерінде энергия өлшеу үшін электрдинамикалық есептегіш қалай жұмыс істейді?
3. Бір фазалы айнымалы ток тізбектерінде белсенді энергияны өлшеу үшін индуктивтік есептегіш жұмысының принципі неде?
4. Симметриялық және бейсимметриялық жүктемелер белсенді қуат және бір фазалы айнымалы ток тізбектеріндегі энергия қалай өлшенеді?
5. Төрт сымды үшфазалы тізбектерде қуат және энергияны өлшеу ерекшелігі неде?
6. Реактивтік қуат және энергия қалай өлшенеді?

ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ

7.1. КЕДЕРГІЛЕРДІ ӨЛШЕУ

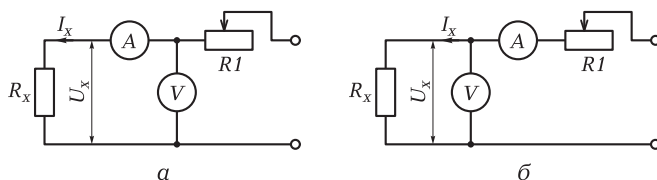
7.1.1. Амперметр-вольтметр әдісімен кедергілерді өлшеу

Тұрақты ток R кедергісі өлшеуі сурет 7.1 схемасы бойынша амперметр-вольтметр көмегімен жүзеге асырылуы мүмкін. Өйткені

$$R_x = \frac{U_x}{I_x},$$

мұндағы U_x және I_x - кернеудің түсуі және токтың тікелей өлшенетін кедергісі, онда схемалар (сурет 7.1 қараңыз) өлшенетін кедергі және қолданылатын аспаптар кедергілерінің мәндері арасындағы қатынасқа негізделетін әдістемелік қателіктерге әкеп соғады. Іс жүзінде, сурет 7.1. а, схемасы бойынша өлшеу кезінде P_x , вольтметр U_x және амперметр I_A аспаптары көрсеткіштері бойынша есептелген кедергі келесідегідей болады:

$$R'_x = \frac{U_V}{I_A}$$



7.1-сурет. Амперметр-вольтметр әдісімен кедергіні өлшеуге арналған тізбектер схемалары:

а – үлкен кедергілерді өлшеу үшін; б – шағын кедергілерді өлшеу үшін

Алайда, вольтметрдің көрсеткіші

$$U_v = U_x + I_A R_A,$$

I_A - ампермер, $I_A - I_x$ арқылы ағып жатқан ток; $I_A = I_x \cdot R_A$ - ампермердің кедергісі.

Осы теңдеудің оң және сол жағын I_x бөлу арқылы аламыз

$$R'_x = \frac{U_x}{I_x} + R_A = R_x + R_A.$$

Осы схема бойынша өлшеудің абсолюттік қателігі

$$\Delta R_x = R'_x - R_x = R_A,$$

ал салыстырмалы қателігі

$$\gamma = \frac{R_A}{R_x} 100.$$

Демек, $R_A \ll R_x$ болғанда, есептелген тізбекті тек қана үлкен кедергілерді өлшеу кезінде қолдануға болады. 7.1б-схемаға сәйкес R_A өлшемін өлшеу кезінде

$$R'_x = \frac{U_v}{I_A} = \frac{U_v}{I_v + I_x}; \quad U_v = U_x.$$

Демек,

$$R'_x = \frac{U_x}{I_x + \frac{U_x}{R_v}} = \frac{U_x}{I_x} = \frac{1}{1 + \frac{U_x}{I_x R_v}} = \frac{R_x}{1 + \frac{R_x}{R_v}}$$

Бұл жағдайда салыстырмалы қателік

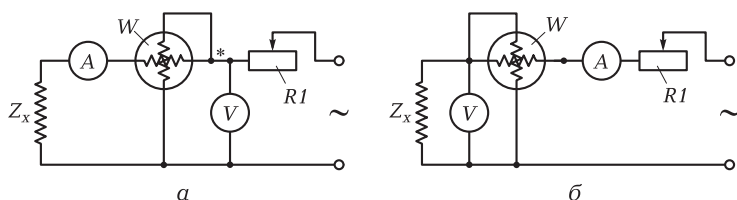
$$\gamma = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_v}} - 1 = -\frac{R_x}{R_x + R_v},$$

немесе

$$\gamma = -\frac{1}{1 + \frac{R_v}{R_x}} 100.$$

Осылайша, сурет 7.1. б, схемасын $R_v \ll R_x$ болғанда тек шағын кедергілерді өлшеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Сурет 7.1 R1 - схема жұмыс режимдерін өзгертуге арналған ауыспалы резистор.

Жоғарыда келтірілген өрнектер қателікті бағалау үшін, және егер аспаптар кедергілері белгілі болса R'_x өлшенген мәніне еңгізу үшін қызмет ете алады.



7.2-сурет. Тікелей бағалау арқылы айнымалы ток пен кедергі өлшеуге арған тізбектер схемасы:

а – үлкен кедергілерге; б – шағын кедергілер үшін.

Амперметр-вольтметр әдісі айнымалы токқа қолданылуы мүмкін. Бұл жағдайда тұрақты токқа R кедергісі емес, толық кедергі Z модулі өлшенетін болады.

Қажет болса, белсенді және реактивтік кедергілерді бөлек өлшеуге болады. Ол үшін амперметр мен вольтметрге қосымша, ваттметрді қосу қажет (7.2-сурет).

Сыналатын объектің белсенді R'_x және реактивті X'_x кедергілері келесі өрнектер арқылы алынуы мүмкін:

$$R'_x = \frac{P}{I^2}; \quad X'_x = \sqrt{(Z'_x)^2 - (P'_x)^2} = \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - \frac{P}{I^2}},$$

мұндағы U , I , P — вольтметр, амперметр және ваттметр көрсеткіштері

Берілген жағдайда әдістемелік қателіктің орын алуы мүмкін. Бірақ түзетулер енгізу іс жүзінде қиын болып табылады, өйткені құралдың реактивтік кедергісі әдетте белгісіз.

Сурет 7.2.: Z_x – жалпы өлшенетін кедергі; W – ваттметр; $R1$ – схеманың жұмыс режимін өзгерту үшін ауыспалы резистор.

7.1.2. Омметрлермен кедергілерді өлшеу

Омметрлер магнитті электрикалық өлшеуіш механизмдері негізінде орындалады. Оларды екі топқа бөлуге болады: көрсеткіштері кернеуге бағынышты омметрлер, және көрсеткіштері кернеуге бағынышты емес омметрлер. Бірінші топ омметрлері өлшенетін резистормен дәйекті немесе қатарлас қосылатын магниттіэлектрикалық өлшеуіш механизмін, ал екінші топ омметрлері магниттіэлектрикалық логометрді пайдаланады.

Өлшенетін кедергімен дәйекті қосылу омметрі (сурет 7.3, а). Құрал ауытқуын анықтаушы жақтауы тізбегіндегі ток,

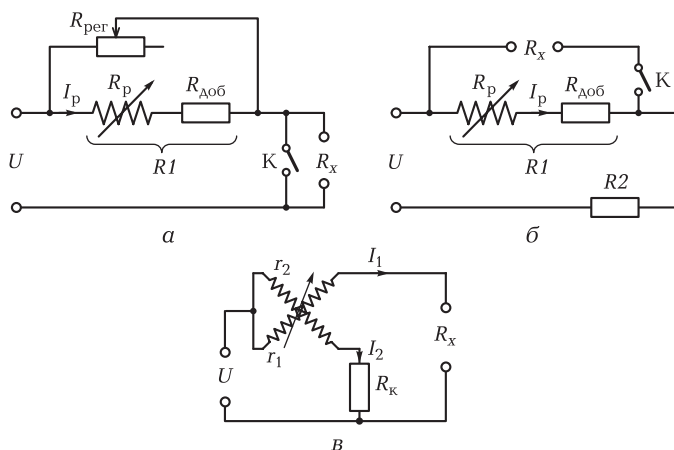
$$I_p = \frac{U}{R_1 + R_x}.$$

Белгілі бір кернеу U мәніне сәйкес, құрал тікелей R_x бірлігінде бағалануы мүмкін. Өйткені құралды пайдалану кезінде кернеу U бағалану барысында оның мәнінен өзгеше болуы мүмкін, онда, өлшемес бұрын кернеудің көлемін тексеру керек болады. Ол үшін K кілтімен R_x қысқышын қысқаға тұйықтайды. Егер осы кезде көрсетпе «0» белгісіне шықпаса, онда құрал сыртына шығарылған қозғалтқышы тұтқышпен байланысқан жақтауды шунттаушы $R_{\text{рег}}$ реостат көмегімен I_p токты өзгерту қажет.

Өлшенетін кедергілер дәйекті қосылатын омметрлер үлкен (1000 Ом) кедергілерді өлшеуге ыңғайлы болып табылады.

Көрсетпені «0» күйіне бекіткеннен кейін, K ашық кілті арқылы өлшеу жүргізіледі.

Өлшенетін кедергісі қатарлас қосылатын омметр (сурет 7.3, б). Бұл тізбек үшін



7.3-суреті. Омметрлер тізбектері схемалары:

а - өлшенетін кедергісі дәйекті қосылатын; б - қатарлас қосылумен; в – лого-метрмен.

$$I_p = \frac{UR_x}{R_x(R_2 + R_1) + R_1R_2}$$

мұндағы R_1 – ж R_p және қосымша $R_{\text{қос}}$ қосынды кедергісі; R_2 – қуат тізбегіндегі кедергі.

$R_x = 0$ кезінде ток $I_p = 0$, ал $R_x = \infty$ бұл ток ең жоғарғы мәніне жетеді

$$I_{p \max} = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Бұнда кернеуді тексеру және нөлді бекіту K ($R_x = \infty$) кілті ашылғанда, ал R_x өлшеуі K тұйық кілтімен орындалады. «Нөлді» реттеу электрикалық шунт арқылы жүргізіледі.

Өлшенетін кедергісі қатарлас қосылатын омметрлер де біркелкі емес шкалаға ие. Олар шағын кедергілерді өлшеуге ыңғайлы.

Логометрлері бар омметрлер. Өлшенетін кедергі R_x жақтаулардың біреуінің тізбегіне дәйекті немесе жақтаулардың біріне қатарлас қосылады. Сурет 7.3.в, логометрі бар омметр тізбегінің ең кең таралған схемасы көрсетілген. Схемада R_x - өлшенетін кедергі; r_1 және r_2 - логометр жақтауының кедергісі; R_c - өтемдік кедергі.

Жақтаулар I_1 және I_2 токтары келесі формулалар арқылы өрнектелуі мүмкін:

$$I_1 = \frac{U}{r_1 + R_x}; \quad I_2 = \frac{U}{r_2 + R_c}$$

Өйткені логометрдің ауытқу бұрышы α ауытқу бұрышы токтар қатынасы функциясы болғандықтан, яғни

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right),$$

онда

$$\alpha = f\left(\frac{U(r_2 + R_c)}{U(r_1 + R_x)}\right) = f\left(\frac{r_1 + R_c}{r_1 + R_x}\right).$$

Осылайша, логометрдің көрсеткіштері кернеуге принципалды түрде байланысты емес. Тәжірибеде, кернеуге деген біраз тәуелділік бар. Жақсы логометрлерде кернеудің $\pm 20\%$ номиналынан өзгеру кезінде кернеу әсері $\pm(0,1 \dots 0,2)\%$ -дан аспайды.

7.1.3. Көпірлік әдістермен кедергілерді өлшеу

Тепе-теңдік көпірлері. Көпірлік тізбектер жұмыс принциптері мен негізгі қатынастары бұрын қарастырылған. Шамамен 1 Ом және одан да жоғары кедергілерді өлшеу үшін дара көпірлер қолданылады. Кішігірім кедергілерді өлшеу үшін (1 Омнан аз) қосарлы көпірлер қолданылады.

Дара көпірлер. Ауыспалы (сурет 7.4, а) және тұрақты (сурет 7.4, б қараңыз) иін қатынасы бар екі типті дара көпірлер тізбектері схемаларын қарастырамыз. Дара көпірі тепе-теңдік шартына сәйкес:

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}$$

мұндағы R_2, R_3, R_4 – дара көпірдің кедергілері.

Ауыспалы иін қатынасы бар көпірлерде тепе-теңдікке жету үшін шкаламен қамдалған реохорд R көмегімен R_3/R_4 қатынасын өзгереді (реттеледі), ол бойынша осы қатынасты тікелей оқуға болады. Иін R_2 кедергі магазині түрінде орындалған, оның көмегімен R_3/R_4 қатынасында көбейткішті өзгертуге болады. Бұл көбейткіш 0,1; 1; 10; 100 және 1000 тең. Ол өлшенетін кедергі шамасына байланысты таңдалады.

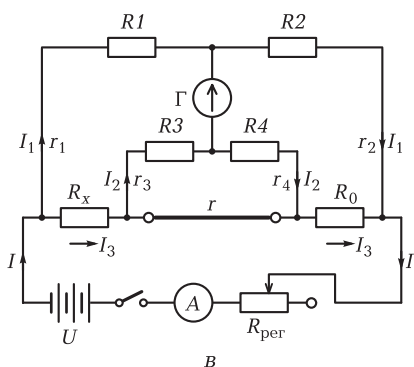
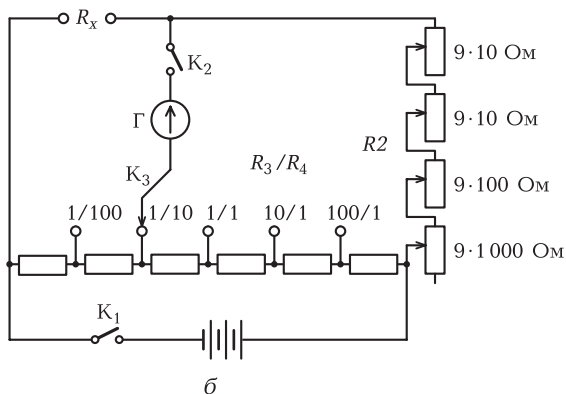
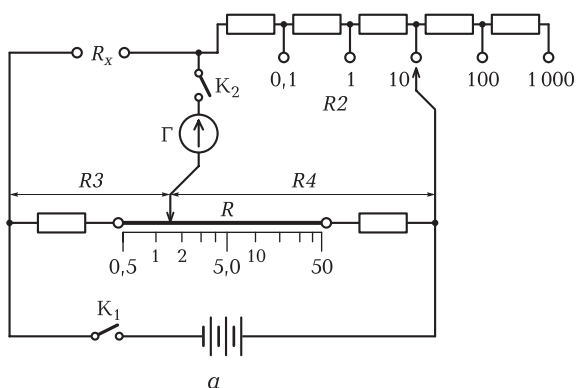
Иіннің тұрақты қатынасы бар дара көпірлерде (сурет 7.4, б қараңыз) теңдестіру төрт немесе он бес ондық кернеу магазині түрінде орындалатын R_2 кедергісін реттеу арқылы жүзеге асырылады. Иіндер қатынасын ажыратып қосқыш K_3 арқылы орнатуға болады, ол 1/100-ден 100/1 тең, R_x өлшемдерін 0,1-ден 106 Ом диапазонында жүргізуге мүмкіндік береді. K_1 кілті қуатты қосуға, ал K_2 кілті гальванометрді қосуға арналған. Иін қатынастарын орай көпір тепе-теңдігінде R_2 иіннің барлық төрт ондығы (тармақтарына) пайдаланылатындай етіп таңдалуы тиіс.

Көпір сезгіштігі деп түсінуге болады

$$S_M = \alpha / (\Delta R_x / R_x) = (\alpha / \Delta I_r) [\Delta I_r / (\Delta R_x / R_x)],$$

мұнда $\alpha / \Delta I_r$ - токка гальванометрдің сезімталдығы.

Осыған байланысты, гальванометр және қуат көзінің кернеуі U сезгіштігі көп бөлген сайын, көпір сезгіштігі де арта түседі. Дегенмен, көпір иіндерінің шарғы кедергілерінде кернеуінің U көбеюі шектелген. Өлшенетін кедергі көлеміне байланысты кер-



7.4-сурет. Көпірлер тізбектерінің схемасы:

а – иіннің айнымалы қатынасы; б – иіннің тұрақты қатынасы; K_1 – қуат қосқышы; K_2 – гальванометрді өшіру кілті; K_3 – көпір иінінің қосқышы; с – қосарлы көпір тізбегі

неу мен иін қатынастарының рұқсат етілген мәндері көпір төлқұжатында көрсетіледі.

Қосарлы көпір. Шағын кедергілерді (1 Ом кем емес) дара көпір арқылы өлшеу кезінде қосылыс сымтемірлері кедергілеріне әсер ету салдарынан қателіктер болады, олар арқылы өлшенетін кедергі көпірге және ауыспалы байланыстар кедергісіне қосылады. Бұл қателіктерді азайтуға болады, егер шағын кедергілерді қосарлы көпірмен өлшесе.

Қосарлы көпір тізбегінің принципіалды схемасы сурет 7.4. в, келтірілген. Схемادا R_x және R_0 өлшенетін және үлгілі (салыстырмалы) кедергіні білдіреді; R_1, R_2, R_3 және R_4 - көпірді теңдестіретін резисторлар шарғыларының жиынтығы; R – реттелуші кедергі; r, r_1, r_2, r_3 және r_4 – біріктіруші сымтемірлер кедергісі (өтпелі кедергі қоса алғандағы байланыстар); Γ - өлшеуіш механизмi; I – қуат тогы; I_1, I_2 - көпірдің иініндегі токтар; I_3 - өлшенетін және эталондық кедергілер арқылы өтетін ток.

Схеманы құрастыру кезінде үлгілі және өлшенетін кедергілердің потенциалды және ток қысқыштарын дұрыс пайдаланылуына назар аудару қажет. r, r_1, r_2, r_3 және r_4 қосылыс сымтемірлері потенциалдыға қосылуы тиіс, ал r сымтемірі мен және ток сымтемірлері ток көзінен баратын – ток қысқыштарына қосылады.

Көпірлердің тепе-теңдігі үшін контурлы токтар әдісін қолдана отырып келесі теңдеулер жазылуы мүмкін:

$$I_3 R_x + I_2 R_3 = I_1 R_1;$$

$$I_3 R_0 + I_2 R_4 = I_1 R_2;$$

$$I_2 (R_3 + R_4) = (I_3 - I_2) r.$$

R_x қатысты теңдеуді шешу арқылы осы көлемді келесі формуламен анықтауға болады

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0 + \frac{R_4 r}{r + R_3 + R_4} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$$

Өлшеу нәтижесі тек теңдеудің оң жағының бірінші мүшесімен ғана анықталуы үшін,

$$d = \frac{R_4 r}{r + R_3 + R_4} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right) \rightarrow 0.$$

Осы шарт орындалуы үшін қосарлы көпірдегі R_1 және R_3 резисторлары, және R_1/R_2 қатынасы өзгеруімен көпір тепе-теңдігін реттеу кезінде R_3/R_4 қатынасы R_1/R_2 қатынасымен бірдей өзгерілетін механикалық байланысы бар R_2 және R_4 жұбына ие. Өйткені осындай қатынастардың мінсіз тепе - теңдігі болмауы да мүмкін, r кедергісі өте аз r мәнде болатындай үлкен кесіндінің қысқа өткізгіші түрінде орындау керек. Сонда d көлемі шамамен нөлге тең болады және

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2}$$

Осындай жолмен, R_x және R_0 кедергілері r -ге қосылу орындарында өтпелі кедергілердің әсері жойылады.

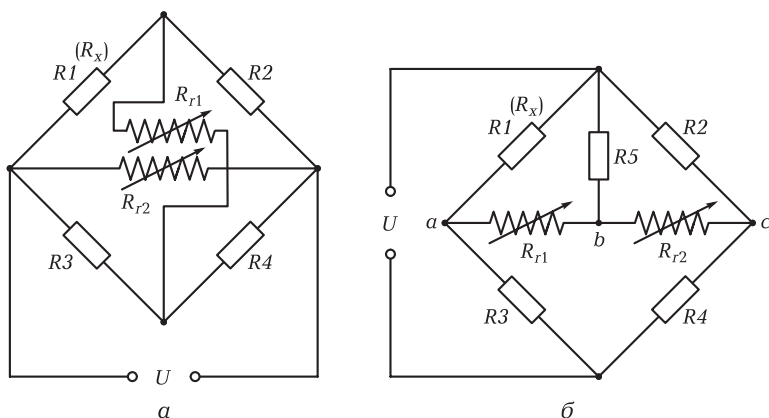
Ток I өткізетін сыртқы өткізгіштер қосылу орындарында ауыспалы кедергілер өлшеу дәлдігіне әсер етпейді, тек ток I көлемі әсер етеді. Потенциалды қысқыштар мен байланыс сымтемірлері кедергілерінің r_1 , r_2 , r_3 және r_4 өтпелі кедергілері жағдайында R_1 және R_2 кедергілері мен R_3 және R_4 кедергілерін мүмкіндігінше жоғарғысын (10 Ом кем емес) тандай отырып осы кедергілердің әсерін шамалы аз етуге болады.

Теңдеспеген көпірлер. Теңдеспеген көпірлермен жұмыс істеу кезінде ең бірінші өлшеуіш көрсеткіштері көпір иіні кедергілеріне ғана байланысты және қуат көзі кернеуінің теңселуіне байланысты емес болуын қамтыған дұрыс болады. Сондықтан теңдеспеген көпірлер, әдетте, логометрді өлшеу құралы ретінде пайдаланады. Көпір сезімталдығы аз және ток немесе кернеуді күшейту шамдары мен өлшеуіш диагоналды қолдануға мәжбүр болған кездерде кернеуді қуаттандырушы тұрақтандырғышты пайдалану қажет.

Тәжірибеде магниттiэлектрикалық логометрі бар өлшеуіш ретінде көпірлік тізбектердің екі типі кең таралған (сурет 7.5). Сурет 7.5. а. логометр жақтауларының бірі (R_{r2}) көпір өлшеуіш диагоналына қосылған, және екінші жақтауы (R_{r2}) - көпірдің диагональ қуаты. Көпір иіні біріне қосылған R_{r2} кедергісі өзгеру кезінде логометр R_{r1} жақтауындағы ток қана өзгереді, соңымен бірге R_{r2} жақтауындағы ток R_x кедергісі өзгеруіне бағынышты болмайды.

Логометрдің бұрышы ауытқуы жақтаудағы токтар қатынасы функциясы болып табылады:

$$\alpha = f(I_{r1} / I_{r2}).$$



7.5-сурет. Логотрмен көпір схемаларының сызбалары:

а – әр түрлі диагональдарға жақтауларды қосу арқылы; б – бір өлшеуіш диагональға жақтауларды қосу арқылы

Сонымен I_{r1} және I_{r2} токтары көпір қуатының U кернеуіне пропорционалды, ал α ауытқуы U -ның тұрақтылығына байланысты емес.

Сурет 7.5. б, көрсетілген логотрмені бар көпір тізбегінде R_x кедергісі өзгеруі кезінде екі жақтауда да токтар өзгерістері жүреді, бұл осы тізбекте сурет 7.5.а, тізбегімен салыстырғанда жоғары сезімталдықты қамтамасыз етеді. Бірақ бұл жағдайда да екі ток-та U бірдей бағынышты және логотрмендің ауытқу α бұрышы қуат көзі кернеуіне байланысты болмайды.

Теңдеспеген көпірлерді пайдаланудың маңызды мәселесі – бұл ΔR_x -дің берілген өзгерісінде ең көп ауытқуды α қамтамасыз етуші иін кедергілерін таңдау болып табылады, яғни R_x берілген қатынасы өзгерісінде

$$\alpha_x = \Delta R_x / R_x.$$

Магниттіэлектрикалық өлшеуіш механизмінің ауытқу α бұрышының мәні бойынша жақтау қуатының квадрат түбіріне пропорционалды. Жақтаудағы ауытқу α бұрышының токқа байланысы келесі түрге ие:

$$\alpha = c_1 w I_r, \quad (7.1)$$

мұндағы $c_1 = B_s / W$ тең тұрақты; w – орам саны.

Бір жағынан, әдетте берілген жақтау терезесі ауданынан шыққан жағдайда

$$S = W \frac{\pi d^2}{4} k_y,$$

мұндағы d – орам сымтемірінің диаметрі; k_y — аз бірлік және сымтемірді айыру қалыңдығымен анықталатын төсеу коэффициенті, онда

$$\pi d^2 / 4 = S k_y / w.$$

Екінші жағынан, жақтаудың кедергісі

$$R_r = \rho w I_r / (\pi d^2 / 4),$$

мұндағы ρ – жақтау материалының кедергісі; I_r – бір жақтау орамының ұзындығы.

Бұл өрнектен аламыз:

$$\pi d^2 / 4 = \rho w I_r / R_r.$$

(7.2) және (7.3) өрнектерін салыстыру үшін алынады, бұдан

$$w = \sqrt{\frac{S R_r k_y}{I_r \rho}} = c_2 \sqrt{R_r}.$$

Сонда формула (7.1) келесі түрге ие болады:

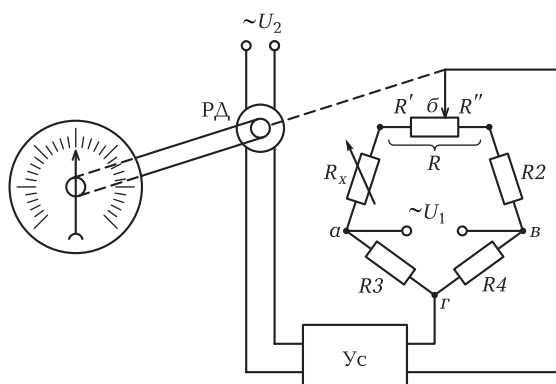
$$\alpha = c_1 c_2 I_r \sqrt{R_r} = c I_r \sqrt{R_r} = c \sqrt{R_r},$$

мұндағы R_r – логометрдегі қуат.

Осылайша, көпір иіні кедергілерін тандау кезінде өлшеуіштегі максималды қуатты алуға тырысу қажет. Электрикалық емес көлемдерді өлшеу үшін көпірлі тізбектерді қолдану барысында көпір иініне түрлендіргіш қосылған кезде температуралы, жиілікті және т.б. қосымша қателіктерді болдырмау өте маңызды болып табылады.

Көпірлі тізбекті температуралық қателіктерді өтеудің радиалды құралы ретінде түрлендіргішті қосу кезінде көрші көпірге R1 жұмыс иінін жұмыс жасаушы түрлендіргішке аналогия ретінде R2 жұмыс істемейтін түрлендіргішке қосу болып табылады, сонымен бірге, R1 және R2 температуралық өзгерістері бірін-бірі өтейтін болады.

Автоматты көпірлер. Айнымалы токқа белсенді кедергіні өлшеу үшін автоматты теңдестіру көпірі тізбегінің принципіалды схемасы сурет 7.6 көрсетілген. Осы схемада көпірдің екі иініне қозғалтқышы беріліс арқылы реверсивті қозғалтқыш өсімен байланысты реохорд R-дың R' және R'' бөліктері кіреді. Егер көпір



7.6-сурет. Автоматты теңдестіру көпір тізбегінің схемасы

теңдестірілсе, онда б және г нүктелері арасындағы кернеу нөлге тең және қозғалтқыш роторы қозғалыссыз болып табылады. Өлшенетін кедергі өзгерген кезде (б және д нүктелері арасындағы) көпір диагоналында көлемі R_x мәніне бағынышты айнымалы ток кернеуі пайда болады. Бұл кернеу күшейткіш Ус арқыюы күшейтіледі және реверсивті қозғалтқышқа беріледі. Соңғының роторы айналмалы қозғалысқа келеді, және де айналым бағыты $U_{\text{гр}}$ кернеу фазасына байланысты. Айналу кезінде ротор реохорд қозғалтқышын көпірдің тепе-теңдікке жету жағына өткізеді және бір уақытта көрсетпе тілін ауыстырады. Қозғалтқыш роторының айналуы көпір тепе-теңдікке жеткенше орын алады. Көрсеткіш шкаласы өлшенетін көлемдер бірлігінде бағалануы мүмкін, мысалы, егер R_x термометр кедергісінің түрлендіргіші болған жағдайда градустарда өлшенуі мүмкін.

Автоматты көпірлер қателіктері әдетте 0,5% -дан аспайды. Сезімталдық шегі, яғни қозғалтқышты іске қосатын өлшенетін көлемі өзгеруінің ең төменгі мәні құрал шкаласының шамамен 0,2% құрайды.

Автоматты көпірлер көмегімен өлшеу дәлдігін қамтамасыз ету үшін реверсивті қозғалтқыш сипаттары маңызды болып табылады.

Сондай-ақ, реверсивті қозғалтқыш мойынтіректердегі минималды үйкелуді қамтамасыз ететін минималды сезімталдық шегіне ие болуы керек. Соңымен бірге өлшеуіш көпірдің біраз келісілмеуі реверсивті қозғалтқыш қозғалысы мен реохорд қозғалтқыш өтуін туындатады.

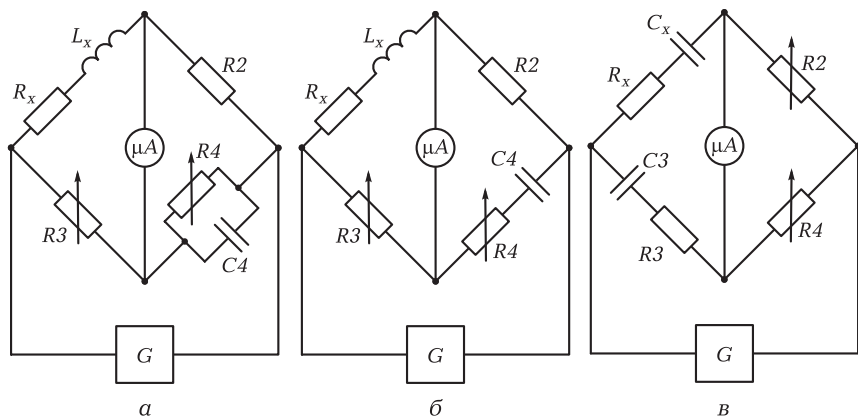
7.2. ИНДУКТИВТІК ПЕН СЫЙЫМДЫЛЫҚТЫ ӨЛШЕУ

Индуктивтікті өлшеу көпірлері. Сыйымдылық пен индуктивтікті өлшеу көбінесе айнымалы ток көпірлері көмегімен жүргізіледі. Олар салыстырмалы онайлықта сезімталдықтың жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді.

Шарғылардың индукциялығы мен беріктігін өлшеу үшін сурет 7.7 көрсетілген схемалар қолданылады. Сурет 7.7. а, схемасы төмен беріктікте ($Q < 30$) қолданылады, ал сурет 7.7. б, схемасы жоғары беріктікке ($Q > 30$) арналған. Индукциялығы L_x және кедергісі R_x өлшенетін шарғылар көпірдің бірінші иініне қосылады, үлгілі конденсатор C_4 және ауыспалы резистор R_4 – қарама-қарсы иініне. Тағы да бір ауыспалы элемент R_3 резисторы болып келеді. Резистор R_4 қатарлас (сурет 7.7. а, қараңыз) немесе дәйекті (сурет 7.7. б, қараңыз) қосылуы мүмкін. Қуат айнымалы ток көзі G арқылы жүзеге асырылады. Иіндердің кешенді кедергілеріне сәйкес ($Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$) сурет 7.7.а, схемасы үшін көпір тепе-теңдігі шартын келесі түрде жазамыз:

$$(R_x + j\omega L_x)[1/(1/R_4 + j\omega C_4)] = R_2 R_3,$$

мұндағы ω - кернеудің жиілігі; j – кешенді кедергінің жалған құрамдас көрсеткіші; R_2 , R_3 және R_4 – көпір иіндері.



7.7-сурет. Индуктивтік пен сыйымдылықты өлшеу схемалары:

а – төмен беріктік индукциялығын өлшеу; б – жоғары беріктік үшін; в – сыйымдылықты өлшеу көпірінің схемасы

Теңдеулердің шынайы және жалған құрамдастарын бөлу келесі қатынастарға алып келеді

$$R_x = R_2 R_3 / R_4 \quad (7.7)$$

және

$$L_x = C_4 R_2 / R_3. \quad (7.8)$$

(7.7) және (7.8) теңдеулерге жиілік кірмейді, демек, кернеудің қуаттандырушы қисық формасы таза синусоидты болмаса да көпір тендестірілуі керек. Шарғының беріктігі келесі формула арқылы анықталады.

$$Q_x = \omega L_x / R_x = \omega C_4 R_4.$$

Қуат кернеуінің бекітілген жиілігін ω және айнымалы ток резисторының R_4 тұрақты сыйымдылығын C_4 беріктік Q_x мәндерінде бағалауға болады. Беріліс кернеуінің тұрақты жиілігі мен тұрақты сыйымдылығында R_4 кедергісінің айнымалы ток шкаласы беріктік мәндерінде аяқталуы мүмкін.

Сурет 7.7. б, көрсетілген көпір схемасы келесі тепе-теңдік жағдайына сәйкес келеді:

$$(R_x + j\omega L_x)[R_4 + 1/j\omega C_4]R_2 R_3 \quad (7.9)$$

Тепе-теңдік шарты (7.9) теңдеулер жүйесіне сәйкес келеді:

$$R_x R_4 + L_x / C_4 = R_2 R_3;$$

$$\omega L_x + R_4 = R_4 / (\omega C_4),$$

Оның шешуі R_x және L_x қатысты келесі түрге ие болады:

$$R_x = \omega^2 C_4^2 R_2 R_3 R_4 / [1 + (\omega C_4 R_4)^2]; \quad (7.10)$$

$$L_x = C_4 R_2 R_3 / [1 + (\omega C_4 R_4)^2] \quad (7.11)$$

және

$$Q_x = \omega L_x / R_x = 1 / (\omega C_4 R_4).$$

Сонымен айнымалы ток резисторы R_4 қайта беріктік Q_x мәндерінде бағалана алады.

(7.10) және (7.11) қатынастарда R_x және L_x үшін жиілік кіреді, сондықтан көпір жиілікке тәуелді. Тепе-теңдік қуаттандырушы кернеудің белгілі бір жиілігінде ω болады. Егер ол өзгертілсе, онда тепе-теңдік бұзылады.

Сыйымдылықты өлшеу көпірлері. Сыйымдылықты өлшеу кезінде C_3 үлгілі конденсаторлы және R_2 және R_4 ауыспалы ре-

зисторлары бар схема қолданылады (сурет 7.7. с қараңыз). Бұл схемада зерттелетін конденсатор сыйымдылықтың C_x дәйекті қосылу және белсенді кедергісі R_x арқылы көрсетілген. R_x -ты еңгізу конденсатордағы шығындардың болуына байланысты қажет. Қуат айнымалы ток көзінен жеткізіледі. Тепе-теңдік шарты келесіге ие:

$$R_x = R_2 R_3 / R_4 \quad (7.12)$$

және

$$C_x = C_3 R_4 / R_2. \quad (7.13)$$

Конденсатордағы жоғалтуларды тангесті жоғалту $\operatorname{tg} \delta$ бұрышымен сипаттауы қарастырылған, ауысудың дәйекті схемасы жағдайында R_x –пен келесі қатынас арқылы байланысты

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x.$$

(7.12) және (7.13) шарттарын ескере отырып, бұл қатынас келесідей жазылуы мүмкін:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_3 C_3.$$

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ:

1. Ампермер-вольтметр әдісімен кедергі өлшеу кезінде қандай әдістемелік қателер пайда болады?
2. Омметр дегеніміз не және онымен өлшенетін кедергіні байланыстырудың қандай тәсілдері бар?
3. Қандай кедергілер дара көпір, қандай қосарлы көпірлерімен өлшенеді? Тепе-теңдік және теңдеспеген көпірлер дегеніміз не?
4. Кедергіні өлшеу үшін автоматты көпір қалай жұмыс істейді?
5. Шарғылардың индукциялығы қай тәсілмен өлшенеді?
6. Шарғылардың төмен және жоғары беріктік мәндерін өлшеу көпірлері арасындағы айырмашылық неде?
7. Шарғылардың беріктігін қалай өлшеуге болады?
8. Конденсатор жоғалтулары тангенс бұрышын қандай құралмен өлшеуге болады?
9. Шарғылардың беріктігі қалай өлшенеді?
10. Қосарлы көпір схемасы қандай және оны қандай өлшемдерге қолданады?

8 ТАРАУ

САНДЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНДЫҚ ӨЛШЕУІШ АСПАПТАР МЕН ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР

8.1. САНДЫҚ ӨЛШЕУІШ АСПАПТАРДЫҢ СЫНЫПТАЛУЫ

СӨҚ негізгі біліктілік белгілері ретінде өлшенетін шаманың түрі, кіріс сигналын түрлендіру тәсілі және дәлдік пен тезәрекеттік сияқты маңызды сипаттарын анықтаушы уақыттағы өзгерістер сипаты жатқызылады.

Өлшенетін шаманың түріне қарай сандық өлшеуіш аспаптары бөлінеді:

- тұрақты және айнымалы ток (кернеулер) вольтметрлері мен амперметрлері;
- тұрақты және айнымалы ток омметрлері мен көпірлері;
- аралас аспаптар;
- жиілік, уақыт интервалы мен фазалық ауытқуды өлшеуіштер;
- түрлі элементтің жұмысқа салыну уақытын анықтауға арналған мамандандырылған СӨҚ және т.б.

СӨҚ арқылы өлшенетін шаманың диапазоны мейлінше кең әрі бірнеше шағын диапозондарға бөлінеді. Шағын диапазонның қажеттісін таңдау өлшеу кезінде қолмен не автоматты түрде жүргізіледі. Тандалған шағын диапазондағы өлшеулер үнемі автоматтық түрде жүргізіледі.

СӨҚ физикалық кіріс шамасы түріне қарай өлшеу құралының негізгі үш түріне біріктірілген:

- 1) тұрақты және айнымалы ток (кернеу);
- 2) R , L және C электр тізбектерінің параметрлері;
- 3) уақыттық параметрлері (жиілік, кезең, уақыт аралық интервалы, фазалар).

Аталмыш топқа енетін СӨҚ түрлері микропроцессор, олар компьютерлер мен сандық осциллограф негізіндегі виртуалды аспаптарарқылы өлшеу құралына жатады.

СӨҚ техникалық сипаттамаларының нақты өлшеуіш міндеті үшін қолдану мүмкіндігін анықтаушы ең маңыздылары: өлшеу шектері, бөлік бағасы, жылдам әрекет ету, кедергіге берік, сонымен қатар кіріс кедергісі, дәлдік пен беріктік.

Өлшеу шегі деп аспап шкаласындағы өлшенетін шаманың максималды мәнін атайды.

Шкаланың бөліну бағасын мына формуламен анықтауға болады

$$Z = x_{\max} / 10^m,$$

мұндағы $x_{\max}$ — өлшеу шегінің максималды мәні; m — ондық сандық есептеудің бөлініс саны.

Шектің әрқайсысы үшін бөліну құны тұрақты және СӨҚ аталмыш типі үшін болуы мүмкін рұқсат етілген қабілеттілік максимумын анықтайды. *Рұқсат етілген қабілеттілік* — алғашқы (кіші) разряд бірлігіне сандық есептеудің өзгерісін білдіреді. Рұқсат етілген қабілеттілік деп СӨҚ кіші шегінің (көп шекті аспаптар үшін) бөліну бағасы мәнін түсінеді.

Тезәрекет етуші өлшеудің бір толық өлшеу циклын орындауға немесе кіріс көлемін аналогты-сандық түрлендіруіне қажетті максималды уақыт интервалымен анықталады (СӨҚ үшін бұл өлшеу уақыты да, индикация уақыты да). Біркелкі уақыттық дискретизацияланған СӨҚ үшін бұл өлшеу интервалы Δt дискретизациялау қадамымен анықталады, ал тезәрекет етуші - 1 с.өлшеу санымен, яғни $1/(\Delta t)$ мәнімен.

Кедергіге беріктік — қандай да бір кедергі етуші әсер болған кезде өлшеудің қажетті дәлдігін сақтау қабілеттілігі. СӨҚ кіріс қысқышы сигналымен бірге туындаушы кедергінің әсерін толықтай жою мүмкін болмайды, сондықтан СӨҚ кірісіне кедергіні басу дәрежесінің саны кедергіге беріктігімен сипатталады.

СӨҚ кедергіге беріктігін бағалауды әдетте аддитивтік, яғни пайдалы сигнал, кедергімен қосындыланатындар қатарына жатқызады.

Сонымен, СӨА қазіргі өлшеуіш аппаратурасына қойылатын негізгі талаптарды мейлінше толық қанағаттандырады — жоғары дәлдік және жылдам әрекет ету, өлшеу үрдісін және ақпа-



8.1-сурет. СӨА жалпылама құрылымы

ратты өндеуді толықтай автоматтандыру. СӨА жалпылаушы құрылымдық схемасы 8.1-суретінде берілген.

Сандық құралда өлшенетін шама x кедергіден алып шығу және ауқымды өзгертуге арналған ШҚ шығыс қондырғысына беріледі.

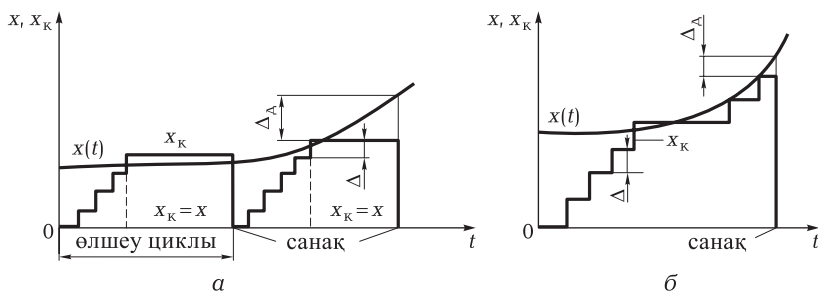
Аналогтық–сандық өзгерткіш (АСӨ) x' шамасын N кодымен өзгертеді, ол өз кезегінде СӨҚ сандық есеп беру қондырғысына беріледі де, сандар қатары ретінде танылады. Сандық кодтар сыртқы қондырғыға да, мәселен компьютерге, әрі қарай өндеу не сақтау үшін шығарыла алады. СӨҚ жұмысын басқару қондырғысы БҚ аспаптың қызмет етуші барлық буынына командалық сигналды белгілі тәртіп ретімен беру арқылы өңделетін бұйрық беріп басқарады.

Кіріс сигналын өзгерту тәсіліне қарай СӨҚ шартты түрде тура және теңдестіріліп өзгерту аспаптары деп бөлінеді. *Тура өзгерту* СӨҚ-да қайшы кері байланыс тізбегі (яғни, кіріс пен шығыстың байланысы) болмайды. *Теңдестірілген өзгерткіштер* сандық өлшеуіш аспаптары жалпы қайшы кері байланыс тізбегін қамтыған. Қайшы кері байланыс тізбегі дегеніміз өлшенетін шаманың физикалық $x(t)$ табиғаты болатын x_k шамасының орнын толтырушы шығыс дискреттік сигналы сандық-аналогтық түрлендіргіш (САТ) болады. Теңдестірілген өзгерткіштің СӨҚ қателігі кері байланыспен қамтылған ақаулары, түп негізінде тура өзгерткіш өзгертуші тізбегінің ақауларына еш тәуелді емес, олар САТ негізгі көрсеткіштерімен анықталады.

Уақытта өзгеру сипатына қарай СӨҚ орны толушы шамалар хк талдаушы және бақылаушы теңдестіруші аспаптар деп бөледі.

Талдаушы теңдестірілуші СӨҚ мысалы ретінде Δ кванттау қадамына тең баспалдақ нөлінен әр өлшеу кезеңіне қатысты өсе түсетін x_k шамасының орнын толтырушы аспаптар жұмсалады (8.2, а-суреті).

Шамалар тең болған жағдайда $x_k = x$ теңдестірілу үрдісі тоқтатылады да өлшеу нәтижесі орнын толтырушы шаманың кванттау сатысы санына тең деп тіркеледі. Көрсеткіштер есебі әдетте



8.2-сурет. Тепе-тең типтегі СӨА схемасына арналған уақытша диаграммалар:

а — кеңейтілген; б — бақылаушы

x_K шамасының өзгеру кезеңінің соңына қарай жүргізіледі. Сол кезде теңдестірілу және есептеу сәттері арасындағы уақыт аралығында өлшенуші шаманың өлшемімен негізделген Δ_d динамикалық ақау болуы ықтимал.

Бақылаушы теңдестірілу аспаптарында (8.2, б-суреті) орнын толтырушы шаманың деңгейі өлшенетін шамамен теңестірілуге қол жеткізгеннен соң нөлге қайтарылмайды да, тұрақты күйінде қалады. Шама x сәйкесінше x_K өзгерген кезде осы өзгерісті бақылайды (тексереді), ол кезде $x - x_K$ аралығындағы айырмашылық Δ_d кванттау қадамынан артық болмауы тиіс. Есеп беру теңдестірілу сәтінде, немесе сыртқы команда бойынша жүргізіледі. Келесі теңдестірілу техникалық жүзеге асырылуы жағынан күрделі әрі қиын, алайда басқа да тең жағдайда кванттау қадамынан еш аспайтын динамикалық ақаудың азын қамтамасыз етеді.

8.2. ОПЕРАЦИЯЛЫҚ КҮШЕЙТКІШТЕР. САНДЫҚ АНАЛОГТЫҚ ЖӘНЕ АНАЛОГ-ТЫҚ-САНДЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР

Операциялық күшейткіштер. Кешенді технологияның ең маңызды элементі болып табылатын сандық-аналогтық тізбектерінің және аналогтық-сандық түрлендіргіштер принципін талдаудан бұрын интегралдық техниканың маңызды элементін - заманауи компараторлар (салыстыру құрылғысы) негізделіп құрастырылған операциялық күшейткіштерді (ОК) қарастырайық.

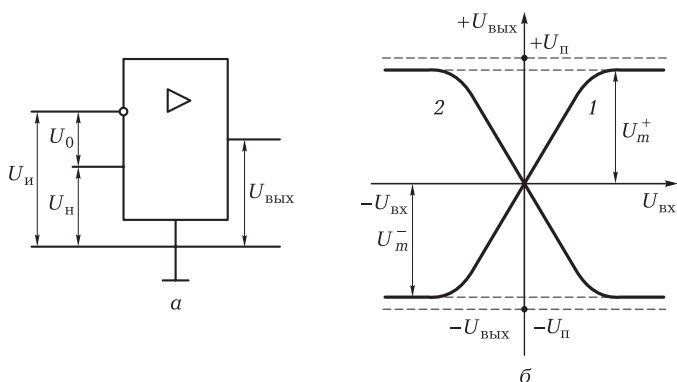
Күшейткіш коэффициенті ($10^6 \dots 10^7$), жоғары кіріс (жүздеген мега Ом) және төмен шығыс (бірнеше Ом) қарсылық бар сияқты жоғары сапалы шоғырланған сызықтық кернеу күшейткіш операциялық күшейткіш деп аталады. ОК әдеттегі графикалық белгіленуі 8.3, а-суретте көрсетілген.

ОК шығаруға байланысты кірістерінің бірі ауыспайды, ал екіншісі терістелмейді. Соңғысы инверсия белгісімен көрсетіледі (айнымалы кірістегі шеңбер). Қуаты (қуат көздері үшін графикалық нотация әдетте көрсетілмеді) ОК қарсы полярлығы және екі бірдей көзін қамтамасыз етіледі. Бұл қуат кіріс және шығыс сигналдар көмегімен биполярлық болуы мүмкін және нөлдік кіріс сигналы нөлдік шығыс сигналына сәйкес келеді. ОК шығу сигналы дифференциалдық кіріс сигналына - ионның кіріс кернеулерінің $U_n - U_n$ айырмашылығына пропорционалды болады.

Нақты ОК K_0 кернеуінің күшейту коэффициенті шығыс кернеуінің дифференциалдық кіріс кернеуіне қатынасына тен:

$$K_0 = \frac{U_{\text{шығ}}}{U_0}$$

Ауыстыру сипаттамалары (8.3б-сурет) ОК үшін өте маңызды. Терістелуге енгізу және терістелмеу кіріске тамақтандырып күшейтілген сигнал жерге болса, шығыс кернеу белгісі кіріс кернеуі (1-жол) белгісімен сәйкес келеді. Терістелу сигналы кірісінде қолданылады және шығыс кернеу белгісі енгізуге (2-желі) қарама-қарсы болмайды. Терістелу кезде пропорционалды K_0 кернеу пайда болады, беру сипаттамаларын сызықтық учаскелерін көл-



8.3-сурет. Операциялық күшейткіш:

а – шартты графикалық белгілеу; б – беріліс сипаттамалары.

беу бұрышы трансмиссия сипаттамаларын қанықтыру режимі терминал каскадының транзисторлар сәйкес көлденең секциясына тән, сондықтан шығыс кернеуі

$$\pm U_{\text{шығ}} = U_m^{\pm} \approx \pm U_{\Pi}$$

Операциялық күшейткіштер үшін талдау және есептеу тізбектерді жеңілдету мақсатында күшейтетін ажырамас теориясы ОК ұғымын енгізіледі, біз мынадай «мінсіз» жорамал айтамыз: шексіз үлкен күшейту коэффициенті $K_0 = \infty$, кіріс кедергісі $R_{\text{кір}0} = \infty$ және нөлдік шығыс кедергісі $R_{\text{шығ}0} = 0$. Осы болжамдарға сай ОК екі негізгі қасиетті (талдау ережесі) пайда болады.

1. Дифференциалдық кіріс сигналы нөлге тең:

$$U_0 = \frac{U_{\text{шығ}}}{K_0} = \frac{U_{\text{шығ}}}{\infty} = 0.$$

2. ОК кірістері кіріс көзінен ағымды пайдаланбайды:

$$I_0 = \frac{U_{\text{кір}}}{K} = \frac{U_{\text{кір}}}{\infty} = 0.$$

Мінсіз ОК көрсетілген тұжырымдамасы оның тұйықталу, терістелу және терістелмеу кірістердің (айқын) виртуалдық деп аталатын принципіне сәйкес келеді. Виртуалдық жабылғанда, физикалық шама жабылған жағдайда, қосылатын терминалдар арасындағы кернеу нөлге тең болады. Сонымен бірге физикалық жабылудан айырмашылығы, іс жүзінде жабық терминалдардың арасындағы ағым ағып кетпейді. Басқаша айтқанда, ток үшін виртуалдық терминалдар электр тізбегін бұзуға тең болады.

ОК кірісіне күшейткіш сигнал беру және оған қосылатын сыртқы элементтерді беру шарттарына байланысты екі іргелі коммутациялық схемалар алынуы мүмкін: терістелу және терістелмеу. ОК қолданатын кез-келген схемаға негізделген шешім осы қосындыларға негізделген. Олардың бірі компараторда жүзеге асырылады.

Компаратор – екі аналогтық кернеуді салыстыратын құрылғы. Ең қарапайым компараторлы схемада кіріс кернеуі шығыс кернеуінің бөлігі ретінде пайдаланылатын кейбір сілтеменен салыстырылады (8.4а-сурет).

Кіріс кернеуі ОК терістелмеу кірісінде қолданылады, ал R_1, R_2 бөлгішінен алынған $U_{\text{тк}} = U_n = \beta U_m$ тірек кернеуі терістелмеген кіріске қолданылады. Осылайша, ОК терістелмеген кіріс тура-

лы оң кері байланыспен жабылады және кіріс кернеуі мен негізгі кернеулерін салыстыру кезінде шығыс кернеуі полярлықта күрт өзгереді.

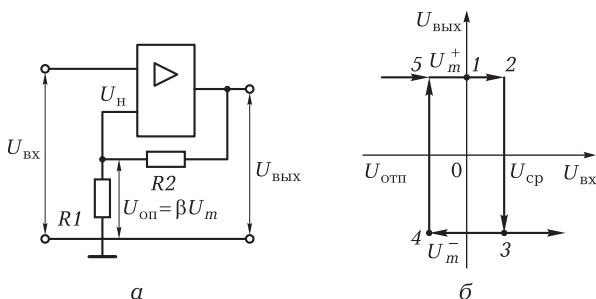
Компаратор принципі трансферттік сипаттаманы - шығыс кернеуіне кіріс кернеуіне тәуелділігін қарастырады (8.4, б-суреті). Кіру кернеуі $U_{\text{кір}} = 0$ және шығу кернеуі $U_{\text{шығ}} = U_m^+$ (8.4, б-суреті). Терістетпеудің кіріс кернеуі:

$$U_{\Pi} = \beta U_m^+,$$

мұнда β – салыстырмалы $R1, R2$ резистивтік схемасының беру коэффициенті, $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$.

Егер кіріс кернеуі нөлден үлкен және оның амплитудасын кернеуімен салыстыра отырып $U_{\text{сал}} = \beta U_m^+$ кернеуіне тең келетін болса, салыстырушы қосылады. Бұл U_m^+ -дан U_m^- -ға дейінгі шығыс кернеуінің күрт өзгеруіне әкеледі (8.4, б-суреттегі 2 нүктеден 3 нүктеге ауысу). Кіріс кернеуінің одан әрі артуы компаратордың жағдайын өзгертпейді, ал ампердің терістеле кіру кернеуі де тұрақты болады: $U_n = \beta U_m^-$. Егер кіріс кернеуі терістелу кернеуіне сәйкес келетін кернеудің мәніне азайса және $U_{\text{жіб}} = U_{\text{кір}} = \beta U_m^-$, онда компаратор бастапқы күйіне күрт қайтарады. Шығу кернеуі U_m^- -дан U_m^+ -ке ауысады (8.4, б-суретінде 4-тармақтан 5-тармаққа өту).

Осылайша, компаратордың трансферттік сипаттамасы гистерезис циклінің нысанын құрайды. Мұндай компаратор триггер (коммутациялық) әсерге ие, ал радиоэлектроникада *Шмитт*



8.4-сурет. Компаратор:

а – схема; б – беріліс сипаттамасы.

триггері деп аталады. Сума қосылуының кернеу және босату кернеу гистерезис деп аталады.

$$U_r = U_{\text{сал}} + U_{\text{жиб}} = 2\beta U_m$$

Ол «шытынау» триггерін жояды, бөгетке жақсарту үшін енгізіледі, яғни кіріс сигналы кезінде оның кездейсоқ коммутациялық кедергілер кернеуі болады.

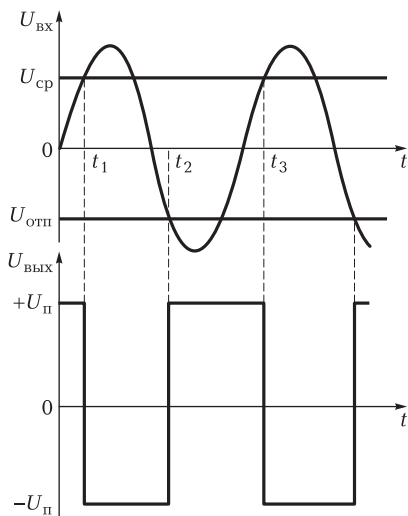
ОК шығыс кернеу амплитудасының компаратор жабдықтау кернеуге тең дерлік:

$$U_{\text{шығ}} = U_m^{\pm} = \pm U_{\Pi}$$

Салыстырғыштар үздіксіз сигналдардың әр түрлі типінен тікбұрышты толқындық формаларды құру үшін қолданылады. Кіріс синусоидалды кернеу компаратор қолданылғанда, атап айтқанда, (8.5-сурет), оның шығу кезінде симметриялық меандр қалыптасады - меандр (ежелгі гректің *meandros* - өрнек, геометриялық үлгі дегенді білдіреді).

Кернеудің $U = U_m$ кезінде кернеуі $t = 0$ тең болуы керек. Бұл күйде, компаратор кіріс кернеуі $U_{\text{кір}} < U_{\text{сал}}$ амплитудасының дейін болады. $t = t_1$ уақытта кіріс кернеуі $U_{\text{кір}} = U_{\text{сал}}$ болады және компаратор қосылады. Бұл жағдайда жаңадан шыққан шығыс кернеуі $U_m +$ мәнінен $U_m -$ бағасына ауысады. $t = t_2$ уақытында кіріс кернеуі босату кернеуіне тең болады, сосын компаратордың жаңа коммутациясы болады.

Сандық-аналогтық түрлендіргіштер. Төртразрядтық САТ түрлендіргішінің жұмыс принципі 8.6-суретте көрсетілген. ОК ең қарапайым тізбегі арқылы бейнеленген. Негізі екілік код (мысалы, код есептегішті шығару) арқылы басқарылады, каскадының пернелері терістелу кірісіне байланысты тұрақты кернеу көзі бар матрица тұйықталу резистор-



8.5-сурет. Синусойдты компаратормен меандрды қалыптастыру.

лары болып табылады. Сандық сигналдың кіретін кодына байланысты әртүрлі кедергісі бар резисторлар қосылады. Схемада кілттер логикалық модульге сәйкес келетін командаларды алған кезде ғана жабылады. Кернеу күшейткіштің күшейту коэффициенті тиісінше 2^0 , 2^1 , 2^2 және 2^3 болып табылады:

$$K_0 = -R_0 Q_0 / R; K_1 = -2R_0 Q_1 / R; K_2 = -4R_0 Q_2 / R; K_3 = -8R_0 Q_3 / R.$$

Мұнда Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 - екі мәнді қабылдайтын код сандары: 1 (перне жабық) немесе 0 (кілт ашық).

Формула бойынша, төртразрядтық екілік код (кванттау қадам Δ екенін еске салайық) 0-ден 15Δ үшін амплитудасының түрлі шығыс кернеу айналуы мынадай. Мысалы, екілік саны 1001 шығыс кернеуінің $u_{\text{шығ1}} = \Delta (1 \cdot 1 + 2 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 8 \cdot 1) = 9\Delta$ және саны 1100 - $u_{\text{шығ2}} = 12\Delta$ сәйкес келеді.

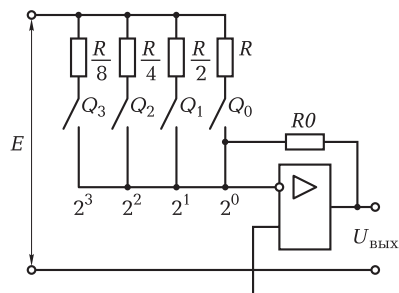
Тұрақты кернеу резистивтік матрицаның кірісіне қолданылғандықтан, САТ шығу кернеуі сандық сигнал кодын ауыстырған кезде күрт өзгереді. Шығу сигналы төмен өткізгіштік сүзгі (ТӨС) арқылы тегістеледі.

Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер. Олар САТ қарағанда құрылымында күрделі, ал екіншісі жиі САТ негізгі түйін болып табылады. Қазіргі уақытта САТ тізбектерін құру үш түрлі әдістері бар: дәйекті, параллель және дәйексіз-параллель.

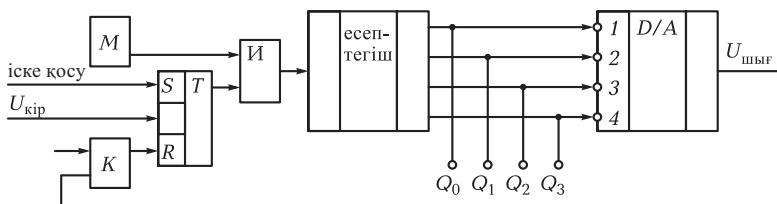
Енгізу кернеуі тең алуға қажетті жинақтау ТӨС тірек кернеу санын санау негізінде тізбегі САТ құру әдісі болып табылады (санау) (8.7-сурет). Бұл жағдайда бір үлгідегі төртразрядтық екілік коды 2^k аралығындағы іріктеу аралығындағы схемада анықталады.

М тактілі импульстердің Сч – есептеуіші үшін генератор (санау) импульстарды қосатын RS-триггер Т арқылы және қақпасы іске серпін алған уақытымен анықталатын сигналының үздіксіз түрлендірумен іске қосылады.

Сандық код есептегішті диаграмма САТ D / A кіріс кернеуімен $U_{\text{кір}}$ беріледі. Компаратор қақпасы арқылы осы кернеулерді салыстыра отырып ком-



8.6-сурет. Төртразрядты САТ схемасы.

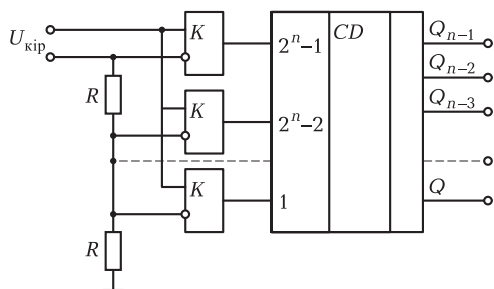


8.7.-суреті. Реттік есептелетін САТ жеңілдетілген құрылымдық схемасы

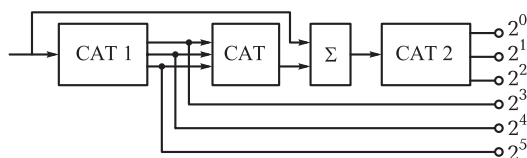
паратор $K - U_{\text{кiр}}$ салыстырылады. $U_{\text{шығ}}$ шығу кернеуі қарсы $S_{\text{ч}}$ ағынын тоқтату үшін сигнал беруге болады. Нәтижесінде есеп-тегіштен төртразрядтық шығу коды оқылады, ол конверсияның соңында шығыс кернеуінің цифрлық эквивалентін білдіреді. САТ-те сипатталғандай, шығыс сандық кодының мәндері конверсия кезінде бірнеше рет өзгереді, сондықтан ол төмен жылдамдыққа ие.

Іс-шаралар параллель (оқу әдісі бойынша) k -разрядтық САТ компараторларына $2^k - 1$ (8.8-сурет) пайдалануға негізделген. ОК компаратор емес терістелу кірістері біріктіріледі және үздіксіз сигнал және резистивтік бөлгіш алынған жеке анықтамалық кернеу қосылған әрбір терістелмей кіріске жеткізіледі. Оны түрлендіреді, компаратор шығыс CD кодтаушымен беріледі, логикалық ақпаратпен - екі көршілес компаратор анықтамалық кернеулер арасындағы айырмашылық логикасын 1 және басқа да генерациялау, кіріс кернеуі тиісті тірек кернеу асатын кванттау қадамы $\Delta = U_{\text{тiр}} / 2^k$ компараторлары тең екілік кодта болады.

Параллель тізбектер САТ басқа түрі арасында ең жоғары жылдамдыққа ие. Алайда, өлшеу дәлдігін арттыруға және параллель



8.8.-суреті. Параллель САТ құрылымдық схемасы



8.9.-сурет. Реттік-параллельдік САТ құрылымдық схемасы

САТ кванттау қуатын азайту үшін компаратор санын ұлғайтуды талап етеді.

Айтарлықтай дәйекті түрлендіргіштер өнімділігін арттырады және параллель әдістері мен сериялық-параллель конверсиялық сигналдарды тіркесімін пайдалана отырып, дәйекті-параллель САТ тізбектерді азайтады. 8.9-суретте көрсетілген екі үш таңбалы параллель САТ және үш таңбалы қосындылағыш Σ пайдаланады, алты разрядтық САТ түріне құрылымдық сұлбасында беріледі.

Аналогтық-сандық түрлендіргіш ОК қайтадан, магнитудасы конверсиялық тұйықталу САТ қате туралы кіріс кернеуі, аналогтық кернеуі айырбасталады үш разрядтық САТ, кіріс болып мәндерді 23, 24, 25-тіісті шығыс кодын үш енгізу кернеуді шығарады. САТ тізбек аналогтық кернеуі шығу кіріс кернеуі шегеріледі, Σ қосындылағышқа жеткізіледі. нәтижесінде дифференциалды кернеу үш сандық разряд 22, 21, 20, түрлендіргіштен шығыс кодына айналады, онда 2 САТ жеткізіледі.

Соңғы жылдары аналогтық дискреттік өлшеу аспаптары пайдаланылады. САТ айырмашылығы: олар, дискретті оның ұзындығы (тобы) немесе орнын (нүкте) шкаласы салыстырмалы өзгерту, меңзер немесе жылтыр жолағы жылтыр нүктесі ролін орындайды, оқу құрылғысын пайдаланады. Мұндай құрылғылар аналогтық аспаптар мен САТ артықшылықтарын біріктіреді.

8.3. АНАЛОГТЫҚ ЭЛЕКТРОНДЫҚ ВОЛЬТМЕТРЛЕР

Радиоэлектрондық техникада кернеуді көп жағдайда электрондық вольтметрлермен өлшейді. Күшейткіш қондырғылармен жабдықталған электрондық вольтметрлерде өлшегіш

тізбектен тұтынылатын қуат шамасы өте аз болып табылады. Электрондық вольтметрлер артықшылықтарына жататындар: өлшеудің кең шектері мен жиіліктік диапазонның бар болуы (20 Гц-тен 1 000 МГц-ке дейін), жоғары сезімталдық, жақсы асқын жүктемелік қабілет, энергияның өзіндік аз тұтынылуы.

Электрондық вольтметрлерді кейбір қасиеттері бойынша келесідей түрде классификациялауға болады:

- *Тағайындалуы бойынша* – тұрақты және айнымалы кернеу вольтметрлері; синусоидалды және импульсті кернеу вольтметрлері; фазалық сезімталды, селективті, әмбебап вольтметрлер.
- *Өлшеу әдісіне қарай* – тікелей бағалау құралдары және салыстыру құралдары.
- *Кернеудің өлшеу мәнінің сипатына қарай* – амплитудалы (шыңдық), орташа квадраттық мәнді, орташа түзетілген мәнді;
- *Жиіліктік диапазонына қарай* – төмен жиілікті, жоғары жиілікті, аса жоғары жиілікті.

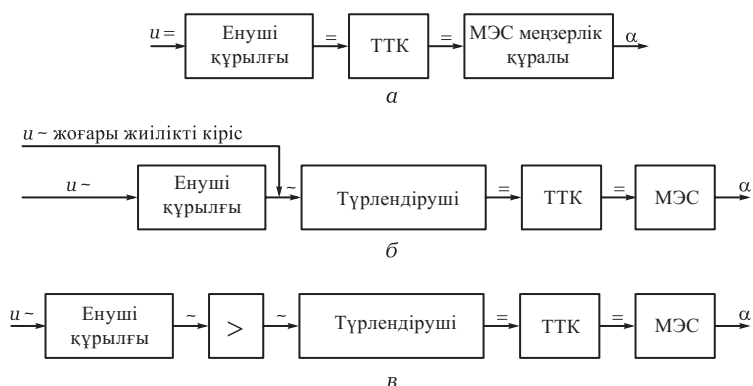
Бұдан басқа, барлық электрондық құралдарды екі үлкен топқа бөлуге болады: аналогты мензерлік есептеу құралдары мен дискретті типті цифрлық есептеу құралдары (8.4. тармақшасын қараңыз).

Электрондық вольтметр көмегімен ток күшін өлшеу қажет болған жағдайда, ол келесідей формула бойынша кернеуге түрлендіріледі:

$$I_x R_0 = U_x.$$

Мензерлік есептеу аналогты вольтметрлер. Аналогтық вольтметрлердің жеңілдетілген құрылымдық схемалары 8.10 суретінде кескінделген. Қазіргі кезде тұрақты ток аналогты электрондық вольтметрлердің (8.10, а сур. қараңыз) қолданылуы шектелген. Өйткені олардың техникалық қасиеттері тұрақты ток цифрлық вольтметрлермен салыстырғанда төмен, осылай электрондық вольтметрлер цифрлық вольтметрлермен іс жүзінде алмастырылады.

8.10, б суретінде кескінделген құрылымдық схема вольтметрлерде үлкен деңгейлі айнымалы кернеуді өлшеу үшін қолданылады, өйткені тұрақты ток күшейткіші көмегімен үлкен күшті қамтамасыз ету қиын. Алайда бұндай күшейткіштердің жиіліктік диапазоны жүздеген мегагерцтерді құрауы мүмкін. 8.10, в суретінде кескінделген құрылымдық схема милливольтметрлерде қолданылады, өйткені оның сезімталдығы аса жоғары. Соңғысы қосымша күшейткіштің бар болуымен байланысты, алайда бұн-



8.10.-сурет. Аналогты сандық вольтметрлердің құрылымдық схемалары:

а – тұрақты тоқтың; б – үлкен деңгейлі кернеулердің; в – милливольтметрдің; ТТК – тұрақты ток күшейткіші; > - айнымалы ток күшейткіші; МЭС – магнитті электрлік схема

дай схеманың жиіліктік диапазоны төмен (жүздеген килогерцке дейін), өйткені айнымалы токтың кеңжаоқты күшейткішін құрған кезде кейбір қиыншылықтар туындайды.

Детекторлар. Айнымалы ток вольтметрлерін құру үшін қолданылатын элементтік база вольтметрді құру кезінде бар болған техника (жартылай өткізгіш үлгілерінен бастап микроинтегралды орындалуына дейін) дейгейімен анықталады, алайда функционалды блоктардың тағайындалуы бірдей. Бұл орайда ерекше маңызды функцияны айнымалы кернеуді тұрақты кернеуге түрлендіретін түрлендіргіштер (детекторлар) атқарады.

Детекторларды кірмелік кернеуді шығыс кернеуіне түрлендіру функциясына байланысты келесідей типтерге классификациялауға болады: амплитудалы (шыңдық), орташа квадраттық мәнді, орташа түзетілген мәнді детекторлар. Детектор типі көп жағдайда құралдың қасиеттерін анықтайды. Осылай, амплитудалы детекторлары бар вольтметрлер ең жоғары жиілікті болып табылады; орташа квадраттық мәнді детекторлары бар вольтметрлер кез-келген формадағы кернеуді өлшеуге мүмкіндік береді; орташа түзетілген мәнді вольтметрлерді тек қана гармоникалық сигналды өлшеу үшін ғана қолдануға болады, алайда олар ең қарапайым, сенімді және арзан.

Амплитудалы (шыңдық) детектор – бұл құрылғының шығыс бөлігіндегі, яғни жүктемесіндегі, кернеуі өлшенетін сигналдың максималды (амплитудалы) мәніне сәйкес келетін құрылғы. Максималды мәнге сәйкес келуі кернеуді конденсаторда есте

сақтау (тоқтың диод арқылы өткен кезінде энергияның жинақталуы) арқасында жүзеге асырылады. Кез келген детектордың нақты жүктеме тізбегі пайдалы сигналды (тұрақты құаушысын) тиімді түрде іріктеп алуы үшін және паразитті жоғары жиілікті гармоникаларды бастыруы үшін келесідей теңсіздіктің орындалуы қажет:

$$1/\omega C_H \ll R_H$$

мұнда C_H – шығыс фильтрінің сыйымдылығы; R_H – детектор жүктемесінің кедергісі.

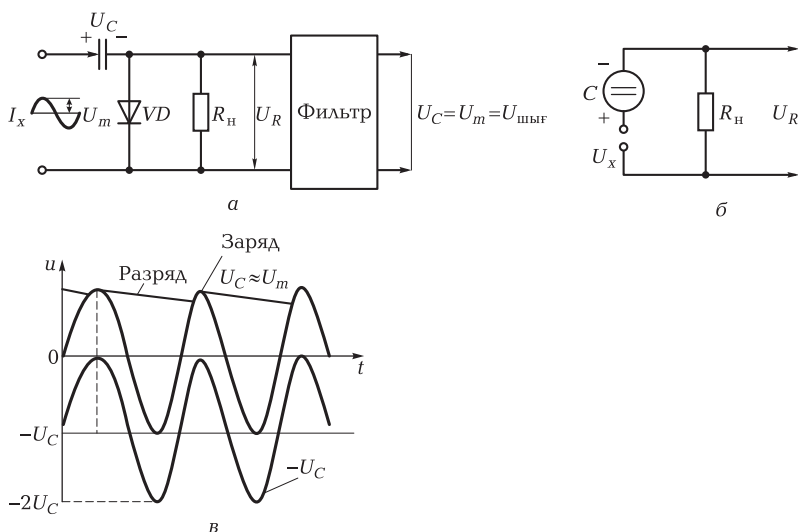
Детектор жұмыс істеуінің тағы бір шарты: R_H резистор жүктемесінің кедергісі оның тура өткізгіш бағытындағы диод кедергісінен айтарлықтай көп болуы тиіс.

Принципиалды және эквивалентті схемалар, диодтың параллельді қосылуы (кіріс жағы жабық детекторлар) тән амплитудалы детектордың уақыт диаграммалары 8.11 суретінде бейнеленген.

Кіріс жағы жабық болатын детекторлардың қарапайым гармоникалық кернеуді беру кезіндегі жұмысын қарастырайық:

$$u_x = U_m \sin \omega t.$$

Кіріс жағына оң жартылай толқын енген кезде, C конденсаторы диод арқылы зарядталады. Оның ашық күйіндегі кедергісі



Сур. 8.11. Параллельді диоды бар амплитудалы детектор:

а – принциналды схема; б – эквивалентті схема; в – уақыт диаграммалары.

R_0 азғантай ($R_0 \ll R_n$) болады. Заряд уақытының тұрақты шамасы $\tau_3 = R_{0c}$ кішкентай болып келеді, ал конденсатордың максималды мәнге U_m дейін зарядталуы жылдам жүзеге асырылады. Теріс жартылай толқын уақыты кезінде C конденсаторы разрядталады, өйткені жүктеме кедергісі біршама үлкен етіліп тандалып алынады (50...1 000 МОм). Осылай, $\tau_p = RC$ тұрақты разрядкасы айнымалы кернеудің $T = 2\pi/\omega$ периодынан біршама үлкен болып қалады. Нәтижесінде конденсатор $U_c = U_m = U_{\text{күр}}$ кернеулеріне жақын кернеуге дейін зарядталған болып қала береді. Амплитудалы детектордың жеңілдетілген эквивалентті схемасы және оның жұмысын түсіндіретін уақыт диаграммалары 8.11, б, в суреттерінде бейнеленген.

R_n жүктемелік кедергісіндегі кернеудің өзгерісі конденсатордағы кірмелік кернеу амплитудасының U_x айырмасымен анықталады. $C : UR = U_x - U_c$. Осылай, U_R шығыс кернеуі лүпілдеп тұрады, ал оның өлшенетін кернеуінің амплитудасы екі еселенген болады. Бұл 8.11, в суретінде бейнеленген. Бұл қарапайым математикалық есептеулермен де дәлелденеді:

$$U = U_m \sin \omega t - U_c \approx U_m \sin \omega t - U_m$$

Мұнда $\sin \omega t = 1$ $UR = 0$; $\sin \omega t = 0$ $UR = -U_m$; $\sin \omega t = -1$ $U_R = -2U_m$ болғанда дәлелденеді.

Детектордың кіріс жағында $U = -U_c$ сигналының тұрақты құраушысын анықтап алу үшін, тоқтың басқа барлық гармоникаларын бастыратын сыйымдылық фильтрі қойылады.

Жоғарыда айтылғандардың негізінде, зерттелетін сигналдың периоды аз болған сайын (жиілілік үлкен болған сайын), соғұрлым $U_c = U_m$ теңдігі дәл орындалады. Осымен детектордың жоғары жиілікті қасиеттері түсіндіріледі. Бұл құралдар көбінесе синусоидалды сигналдың орташа квадраттық мәндерінде орындалады, яғни $U_{\text{күр}}$ көрсеткіштері синусоидтың амплитуда коэффициентіне бөлінген амплитуда мәніне тең болады.

$$U_{\text{күр}} = U_m / K_a.$$

Орташа квадраттық мәнді детектор – айнымалы кернеудің өлшенетін кернеудің ағымдағы мәнінің квадратына пропорционалды болатын тұрақты кернеуге түрлендіретін түрлендіруші. Яғни, ағымдағы кернеудің өлшемі үш операцияның орындалуымен байланысты: сигналдың бір мезеттегі мәнін квадратқа шығару, орталандыру және орталандыру нәтижесінің түбірін табу. Бір мезеттегі мәнді квадратқа шығару, ережеге сәйкес, жартылай өткізгіш элементі бар ұяшық арқылы оның сипаттамасы-

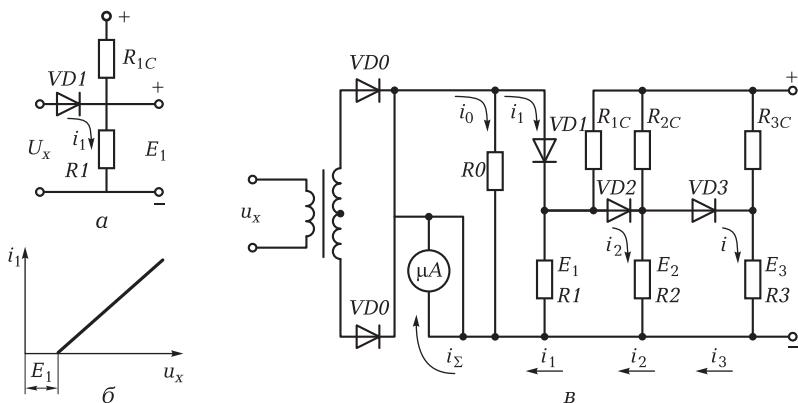
ның квадраттық учаскісін қолдану көмегімен жүзеге асырылады. Кей жағдайларды бұл учаскісі жасанды түрде жасалынады. $VD1 - R_{1c}$ диодты ұяшығы 8.12, а суретінде бейнеленген.

Бұнда R_1 резисторында өлшенетін кернеу $u_x(t)$ E_1 шамасынан артып кеткен кезге дейін диодтың жабық болып қала беретіндей етіп тұрақты кернеу E_1 $VD1$ диодына жанастырылған.

Естен шығармаған жөн, жартылай өткізгіш диодының вольт-амперлі сипаттамасының бастапқы учаскісі, ережеге сәйкес, аз ұзындыққа ие (8.12, б суреті). Сол себепті квадратты бөлікті жасанды түрде ұзартады, бұнда бөлікті-сызықтық аппроксимация әдісі пайдаланылады. Ол үшін детектор схемасында бірнеше диодты ұяшықтарды қолданады. (8.12, в суреті).

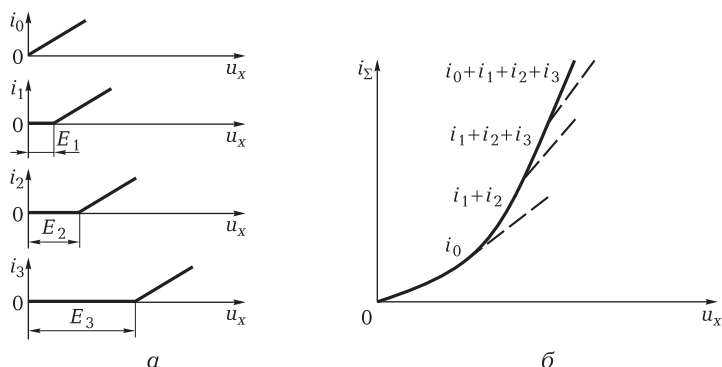
8.13 суретінде $VD1, VD2, VD3$ диодтары бар R_C, R_{2C}, R_{3C} резисторлар тізбегін біртіндеп қосу кезінде квадратты сипаттамасының қалай жасалынатыны бейнеленген. $VD1$ диоды бастапқы кезде E_1 кернеуімен жабылып тұрады, кейін $u_x(t)$ кернеуі өскен сайын, ол ашылады да идеалды сипаттамасының бастапқы аумағы ұлғаяды.

8.12, в суретінде бейнеленген схемасында $VD1, VD2, VD3$ диодтары E_1, E_2, E_3 ығысу кернеулерімен жабылып тұрады, және $u_x(t)$ аздаған сигналдары кезінде ток миллиамперметр арқылы i_0 тең болады. Содан кейін біртіндеп бұл диодтардың барлығы ашылады, миллиамперметр арқылы жалпылама ток артады. Нәтижесінде, вольт-амперлік жалпылама сипаттамасы пішіні бойынша квадратты қисық пішініне жақындайды.



Сур. 8.12. Детектордың ағымдағы көрсеткіштері:

а – диоды ұяшық; б – сәйкестендірілген сипаттама; в – квадратты детектордың схемасы.



Сур. 8.13. Квадратты вольт-амперлі сипаттамасының аппроксимациясы:

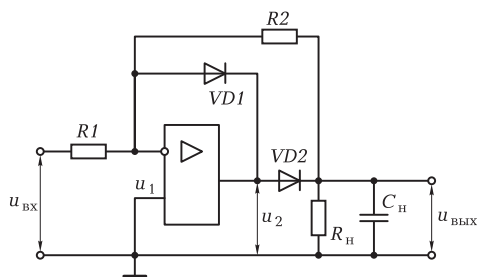
а – диодты ұяшықтардың кіріс жағындағы ток; б – нәтижелік сипаттама.

Бұл құралдарға деген сұраныс аса жоғары, өйткені олар кез келген күрделі пішіндес кернеуді өлшеуге мүмкіндік береді.

Орташа түзетілген мәнді түрлендіруші – айнымалы кернеуді кернеудің орташа түзетілген мәніне пропорционалды болатын тұрақты кернеуге түрлендіретін қондырғы. Орташа түзетілген мәнді детекторы бар өлшеу құралының шығыс тогының құрылымы жоғарыда қарастырылған түзетілген жүйе түйініне сәйкес келеді, сол себепті олардың қасиеттері көп жағдайда бірдей болып келеді (сингал пішінінен тәуелділігі, жиіліктік сипаттамалары, дәлдік класы). Орташа түзетілген мәнді аналогты электрондық вольтметрдің, түзету схемасы бар құралымен салыстырғанда, сезімталдығы жоғары және өлшеу тізбегінен қуаттың тұтынылуы азырақ (қосымша күшейткіштің бар болуы арқасында) болып келеді.

Диодты (транзисторлы сияқты) амплитудалы детекторлар аздаған кернеу кезінде өлшенетін сигналға біршама сызықты емес бұрмалауларды ендіреді, сол себепті соңғы кездері өлшеу қондырғыларында **интегралды микросхемалардағы** (операциондық күшейткіштердегі) **амплитудалы детекторларды** қолдану кең орын алады (сур. 8.14.).

Детектор терістеуші схема (терістеуші емес қосылу да мүмкін) бойынша жасалынғандықтан, оң жартылай толқындарды берген кезде, u_2 кернеуі ОУ шығыс бөлігінде теріс болады. Бұл орайда $VD1$ диоды ашық болады, ал $VD2$ диоды жабық болады. ОК шығыс бөлігі $VD1$ диодының кішігірім тура кедергісі арқылы кіріс жаққа қосылған. Бұл терең теріс кері байланысты



Сур. 8.14. Операциондық күшейткіштегі амплитудалы детектор

тудырады. Нәтижесінде ОК шығыс бөлігіндегі кернеу оның кіріс бөлігіндегі кернеуіне тең болады және нөлге жақын болады. Детектордың шығыс кернеуі де нөлге тең болады. Теріс жартылай толқынды берген кезде u_2 кернеуі ОК шығыс бөлігінде оң болады, сол себепті $VD1$ диоды жабық болады, ал $VD2$ – ашық. Бұл орайда ОУ шығыс бөлігіндегі және детектордағы кернеу $u_{\text{шығ}} = u_2 = -u_{\text{кір}} R_1 / R_2$.

8.4. ЦИФРЛЫҚ ВОЛЬТМЕТРЛЕР

Цифрлық вольтметрлер – ең жиі таралған цифрлық құрылғылар болып табылады. Цифрлық вольтметрдің жеңілдетілген схемасы 8.15 суретте келтірілген.

Енгізу құрылғысында КБ бар; айнымалы ток вольтметрлерінде ол сондай-ақ айнымалы токты тұрақтыға көшіру түрлендіргішін қамтиды. Аналогты-цифрлық түрлендіргіш цифрлық кодпен ұсынылған аналогты сигналды цифрлық түрге түрлендіреді. АСТ-да екілік-ондық кодты пайдалану цифрлық есептік құрылғымен көрсетілетін цифрлық кодтың ондық сан қатарына кері түрленуін жеңілдетеді. Схема түйіндері басқару құрылғысымен қосылған.

АСТ цифрлық вольтметрлерді түрлеріне қарай келесі топтарға бөлуге болады: кодты импульстік, импульстік уақыт, жиілікті импульстік және кеңістіктікті кодтау.

Тұрақты токтың орташа статистикалық цифрлық вольтметрінің негізгі техникалық сипаттамалары төмендегідей:

- өлшеу диапазоны: 100 мВ, 1 В, 10 В, 100 В, 1000 В;
- 100 мВ диапазонындағы сезімталдық шегі (кванттық немесе дискреттік бірлік) 1 мВ, 100 мВ, 10 МВ болуы мүмкін;
- таңбалардың саны – бұл диапазондағы максималды өлшенетін шаманың ең аз шамаға қатынасы.

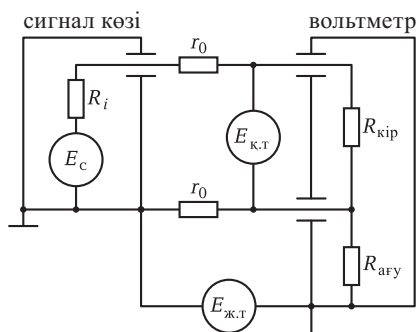


8.15-сурет. Цифрлық вольтметрдің жеңілдетілген құрылымдық схемасы

Мәселен, 10 мКв квантта 100 мВ өлшем диапазоны 10^4 мәндері сәйкес келеді;

- кіріс кедергісі – жоғары, әдетте 100 МОм астам;
- кедергісақтауы – цифрлық вольтметрлер жоғары сезімталдыққа ие, сондықтан кедергі сақтауын қамтамасыз ету маңызды.

Цифрлық вольтметр кірісінде кедергінің пайда болуы принципін сипаттайтын оңайлатылған құрылымдық схема 8.16 суретінде көрсетілген. Мұндағы, E_c – сигнал көзі; $E_{к.т}$ – вольтметрдің кірісіне қолданылатын кедергі (қалыпты шу, кедергі); $E_{ж.т}$ – сигнал көзі мен вольтметр корпусы потенциалдарының айырмашылығына байланысты жалпы түрдегі кедергі; R_1 – сигнал көзінің ішкі кедергісі; $R_{кір}$ – вольтметрдің кіріс кедергісі. Жалпы түрдегі кедергі 50 және 100 Гц жиіліктеріндегі қорек көзінің жетілдірілмеуі салдарынан орын алады және егер клемма мен корпус арасындағы $R_{ағу}$ ағып кету кедергісі шамалы болса, кернеудің түсімін байланыстырушы өткізгіштегі r_0 кедергісіне құрады. Егер клеммалардың біреуі жерге тұйықталса, кіріс схемасына енетін жалпы кедергінің үлесі артады. Осыған байланысты кіші сигналдарды өлшеу кезінде жерден оқшауланған вольтметрлік кіріс (корпус) қолданылады.



8.16-сурет. Цифрлық вольтметрдің кірісінде кедергінің пайда болу схемасы

Кедергінің әсерін азайтудың үш әдісін ерекшелейді:

1) Экрандалған сымдар мен оқшауланған вольтметр кірісін қолдану;

2) Интеграцияланатын вольтметрлерді қолдану; сол кезде кедергі кезеңі $u_{\text{кел.}}(t) = U_{\text{м кел.}} \sin \omega t$ өлшеу уақытымен қысқарады және кедергі кезең бойынша жойылады

$$u_{\text{кел.}} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{\text{м кел.}} \sin \omega t dt \rightarrow 0.$$

3) Кедергіні (60...70 дБ) басудың үлкен коэффициентімен фильтрдің вольтметр кірісіне орнату.

Кедергіні басу коэффициенті келесідей анықталады:

$$K_{\text{под}} = 20 \lg(U_{\text{кпр.кел.}} / U_{\text{шығ.кел.}}),$$

мұндағы $U_{\text{кпр.кел.}}$ – фильтр кірісіндегі кедергінің амплитудасы; $U_{\text{шығ.кел.}}$ – оның шығысындағы кедергінің амплитудасы.

Цифрлық вольтметрдің дәлдігі. Өлшеу диапазоныны бойынша қателіктің таралуы дәлдік классын сипаттайтын формулаға сәйкес анықталады:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{u_{\text{к}}}{u} - 1 \right) \right]$$

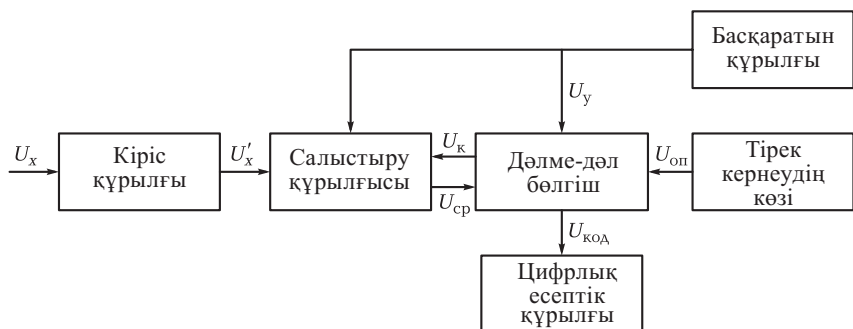
мұндағы c, d – сәйкес келтірілген тұтас жиынтықты және аддитивті құрылымды қателіктер; $u_{\text{к}}$ – өлшеу диапазонының соңғы мәні; u – өлшенетін кернеу.

0,1 ... 1,0 В өлшеу диапазондары үшін 0,001 ... 0,5%, мұнда әрдайым $c > d$, шегіндегі c және d сандық мәндері.

Тезәрекеттесуі. АСТ-ның заманауи схемалары, оларды цифрлық вольтметрларда пайдаланылуы өте үлкен жылдамдықты қамтамасыз ете алады, алайда алынған нәтижені тіркеудің және цифрлық вольтметрде желілік кедергіні орталандырудың нақты тіркелімі есебінен ол шамамен секундына 20-50-ге дейін азаяды.

Кодты-импульстік вольтметрлер. Кодты-импульсті цифрлық вольтметрлерде кернеуді өлшеудің компенсациялық принципі әдісі жүргізіледі. 8.17 суретте осындай вольтметрдің қарапайым құрылымдық схемасы келтірілген.

Кіріс құрылғысынан алынған $U_{\text{к}}$ кернеуінің өлшемі дәлме-дәл бөлгішпен берілетін $U_{\text{к}}$ компенсацияланатын кернеумен салыстырылады. Компенсацияланатын кернеу екілік-ондық есептеу жүйесіне сәйкес болатын квантты бірнеше дәрежелерді иеленеді.. Мысалы, 100 В дейін өлшеуге арналған екіразрядты



8.17-сурет. Кодты-импульсті вольтметрдің қарапайым құрылымдық схемасы

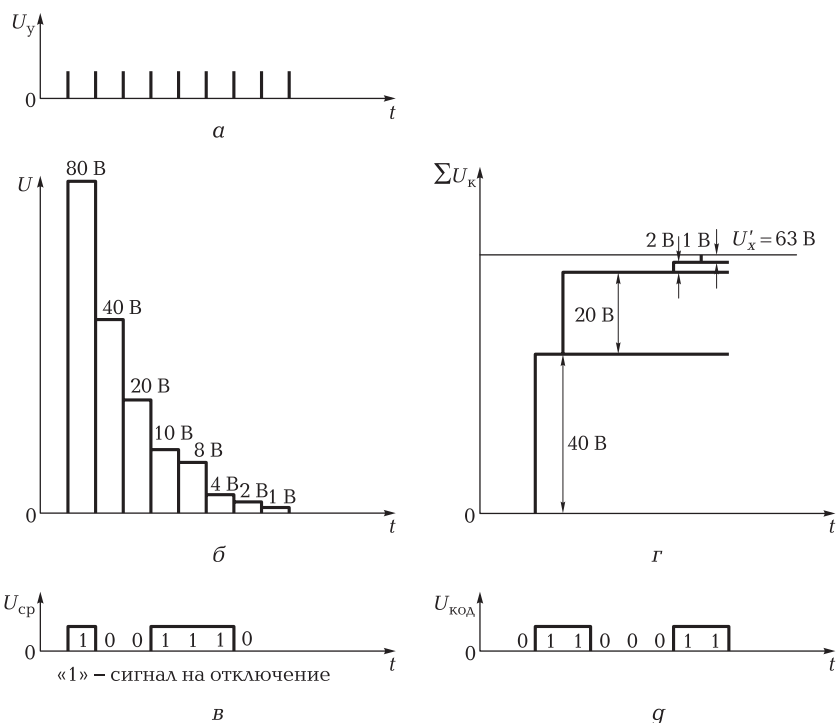
цифрлық вольтметр келесі дәрежелерді иелене алады: 80, 40, 20, 10 және 8, 4, 2, 1 В.

Екі кернеуге арналған (үлғаятын U_x және өтем U_0) екі жақты салыстыру жүргізілген басқару командалары арқылы жүзеге асырылады. 8.18 суреттегі процесті салыстыру. Басқарушы импульсінің U_y ұзақтығы белгіленген уақыт бойынша қозғалтқыштың ауытқуын өзгертуге мүмкіндік береді, бұл шығу сигналының соңынан кейінгі жіберушіге: 80, 40, 20, 10 және 8, 4, 2, 1 В.

Шамасы бойынша екі кернеудің салыстырылуы (өлшенетін U'_x және компенсацияланатын U_k) басқару құрылғысының командасы бойынша жүзеге асырылады. Салыстыру процесі 8.18 суретінде көрсетілген. U_6 басқару импульстері нақты уақыт аралығынан кейін нақты қозғалтқыштың кедергісін ажыратқыш шығысында келесі сигналдар тізбектеліп шығатындай етіп ажырата қосады: 80, 40, 20, 10, 8, 4, 2, 1 В; дәлме-дәл ажыратқыштың сәйкес шығысына салыстыру құрылғысы бір уақытта қосылады.

Егер кернеу қатынасы $U_k > U'_x$ болса, онда салыстыру құрылғысынан $U_{сал}$ сигналы ажыратқыштағы сәйкес буынның ажыратылуы U_k сигналын алатындай етіп түседі. Егер $U_k > U'_x$ болса, онда салыстыру құрылғысынан сигнал түспейді. Салыстыру процесі аяқталғаннан кейін $U_{код}$ алынған сигналдың дәлме-дәл ажыратқышының кілттер жағдайы есептеуіш құрылғы болып саналатын сол код болып табылады. 8.18 суретінде 63 В баламалы кернеудің кодтау процесі көрсетілген. Осы сигналға сәйкес келетін код келесідей болады: 01100011.

Кодты-импульсті құрылғыдағы кернеуді өлшеу процесі таразыда өлшеуге ұқсас, сондықтан құралдарды кейде разряд бойынша теңдестірушілер деп атайды. Импульстік код құрылғысының негіз кернеу көзінің тұрақтылығына, ажыратқыш өндірісінің



Сурет 8.18. Коды импульстік вольтметрдің жұмысын көрсететін диаграммалар:

а – басқару құрылғысынан импульс; б – бөлгіш сигналдардың айнымалыкоммутациясы; в - салыстыру құрылғысының шығуындағы сигналдар; г - толық өтемдік кернеу; д - ажыратқыштағы ажыратқыштардың орналасуы

дәлдігіне, салыстырушы құрылғының жұмыс шегіне байланысты болады. Қалыпты кедергіден сақтауды құру үшін, құралдың кірісіне фильтр орнатылады. Жалпы айтқанда мұндай сандық құрылғы жақсы техникалық сипаттамаларға ие болады және зертханалық түрінде қолданылады. Бірінші сандық құралдар өлшеу әдісі бойынша құрылған, бірақ қазір уақыт-импульстік түрдегі құралдар кеңінен таралған.

Уақыт-импульстік вольтметрлер. Уақыт-импульстік (уақытша) түрдегі цифрлық вольтметрлерде танымал жиіліктен кейін келетін импульспен толтырылатын пропорционалды уақыт аралығындағы өлшенетін кернеудің аралық түрлендіргіші бар АСТ болады. Мұндай түрленудің нәтижесінде түрлендіргіштің шығысындағы өлшемді ақпараттың дискретті сигналы

саны өлшенетін кернеуге пропорционалды болатын есептеуіш импульстер жинағын иеленеді.

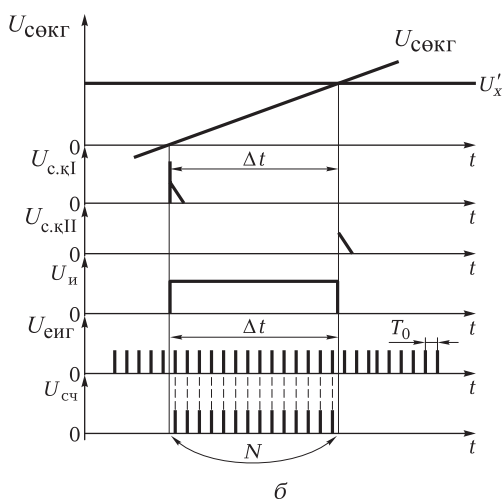
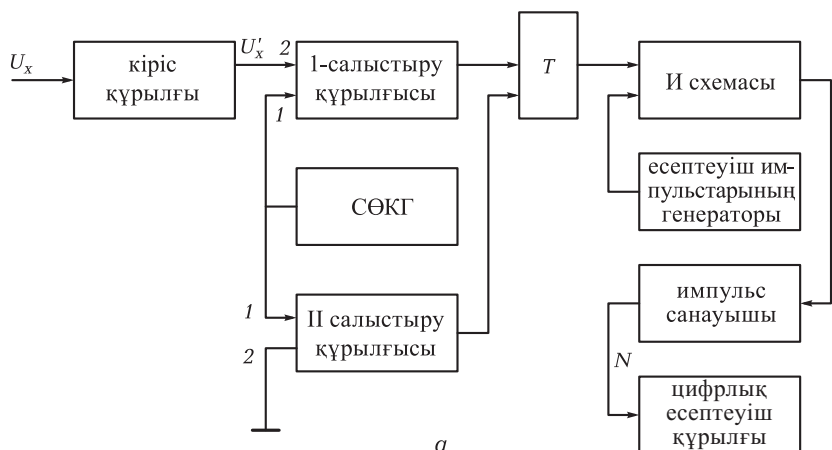
Уақыт-импульстік вольтметрлердің өлшеу қателігі бірнеше факторлармен анықталады: өлшенетін сигналдың дискреттелу қателігі; есептік импульстердің жиіліктерінің тұрақсыздығы; салыстыру схемасындағы сезімталдық шегінің болуы және салыстыру схемасына түсетін аратісті кернеудің бейсызықтығы.

Сызықты өзгермелі кернеуі бар генераторымен бірге уақыт-импульстік вольтметр. Цифрлық вольтметрдің құрылымдық схемасы және оның жұмысын түсіндіретін уақыт диаграммалары 8.19 суретте келтірілген. Вольтметрдің бұл түрі мыналарды қамтиды: кіріс құрылғысында орналасқан пропорционалды уақыт аралығында өлшенетін кернеудің аралық түрлендіргіші бар АСТ; сызықтық өзгеретін кернеу генераторы (СӨКГ); екі салыстырмалы құрылғы; Т триггері; И схемасы; есептік импульстік генератор; импульстік санауыш; цифрлық есептеу құрылғысы.

Түрлендіргіштің шығысындағы өлшеу ақпаратының дискретті сигналы санауыш импульстардың жинағы түріне ие болады, олардың саны салыстыру құрылғысының $U_{с.к}$ яғни U'_x кіріс кернеуінің шамасына пропорционалды. Уақыт бойынша сызықтық түрде өзгеретін $U_{сөкг}$ СӨКГ-мен бірге екі салыстырылатын құрылғының кірісіне түседі. II салыстыру құрылғысының басқа кірісі корпуспен қосылған.

I салыстыру құрылғысының кірістеріндегі кернеудің $U_{сөкг} = 0$ теңестірілуі сәтінде оның шығысында импульс (кіріс сигналының нөлдік дәрежесі осылай реттеледі) пайда болады. Т триггерінің жалғыз кірісіне берілетін бұл импульс оның шығысында сигналдың пайда болуына әкеледі. Триггер II салыстырмалы құрылғысының шығысынан келетін импульстің бастапқы жағдайына қайтады. Бұл сигнал салыстырмалы U'_x және $U_{сөкг}$ сызықтық өзгермелі кернеудің теңестірілуі сәтінде пайда болады. Осылайша құрылған $\Delta t = U'_x S$ ұзақтығы бар UT сигналы И жүйесінің кірісіне беріледі, оның екінші кірісіне $f_0 = 1/T_0$ жиілігімен келетін есептік импульстің генераторынан $U_{сиг}$ сигналы түседі. И схемасының шығысында $U_{сс}$ импульстік сигналы екі жақ кірістерде де импульстар болған кезде ғана пайда болады, яғни, триггер шығысында сигнал болған жағдайда.

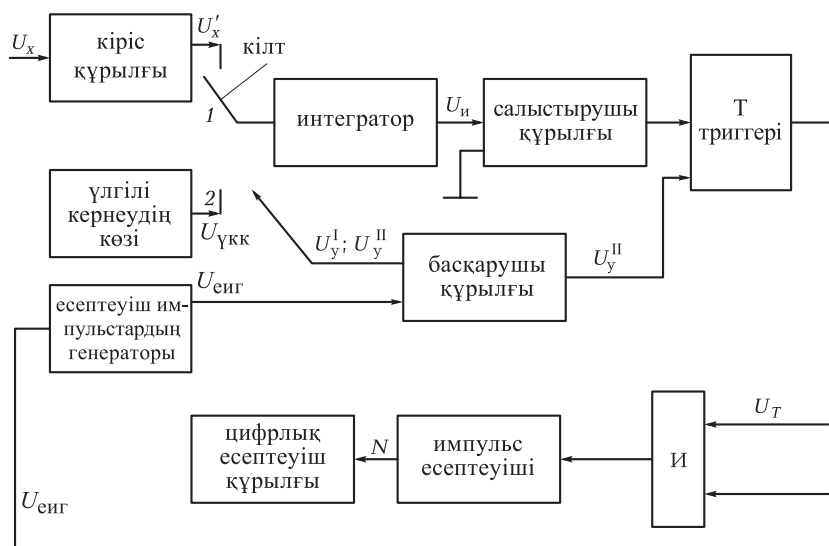
Өткізілген $N \approx \Delta t/T_0$ импульстардың саны (S түрлендіргішінің коэффициенті есебімен) есептеуішпен саналып және құрылғының цифрлық есептеуіш құрылғысының көрсеткішінде көрсетіледі. Алынған формула $U'_x = N / (f_0 S)$ есептік импульстардың Δt аралық бас және соңымен сәйкес келмеуі себебімен дискрет қателігін есепке алмайды. Алайда, S түрлендіргішінің коэффи-



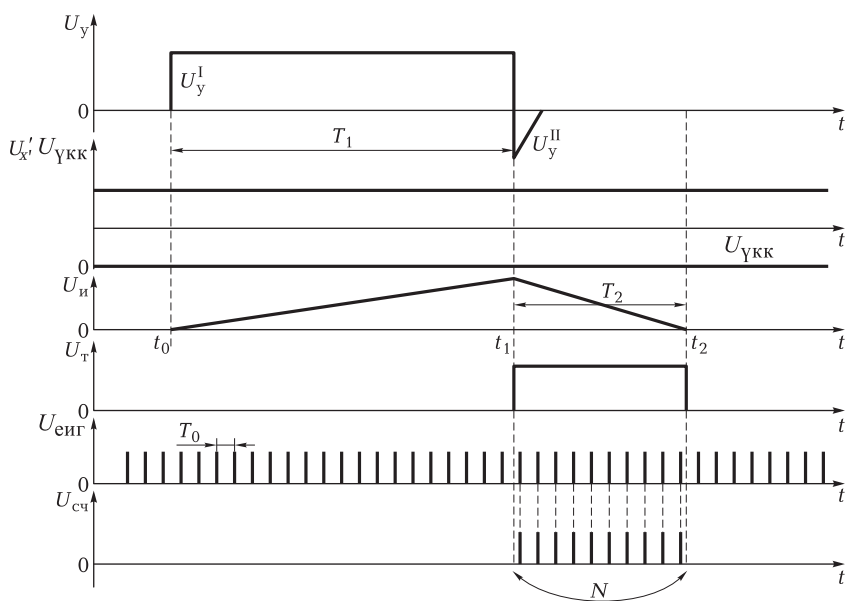
8.19 – сурет. СӨКГ бар тұрақты токтың цифрлық вольтметрі:
а – құрылымдық схемасы, б – уақытша диаграммалар

циент бейсызықтығы факторы одан да көп қателікті енгізеді, сондықтан осы схема бойынша құрылған вольтметрлер цифрлар ретінде ең аз дәлдікті көрсетеді. СӨКГ бар вольтметрлардың кемшіліктеріне құрылғылар интеграцияланатын болып есептелмейтіндіктен кедергілерді басу үшін фильтрлерді қолдану қажет.

Қос интеграцияланатын уақыт-импульстік вольтметрлер. Вольтметрдің құрылымдық схемасы және оның жұмысын сипаттайтын уақытша диаграммасы 8.20 суретінде көрсетілген.



а



б

8.20 – сурет. Қос интеграциясы бар цифрлық вольтметр:

а – құрылымдық схема; б – уақытша диаграммалар

U_x кіріс кернеуінің өлшем циклы екі уақыт бөлігінен тұрады: $T_x = T_1 + T_0$ $t = t_0$ кезіндегі өлшем циклының басында басқарушы құрылғы $T_1 = T_0 K$ ұзақтығы бар U_y мөлшерленген импульсті өндіреді, мұндағы, T_0 - есептік импульстардың кезектесу кезеңдері; K – санауыштың сыйымдылығы. U_y басқарушы импульсі шебінің пайда болу сәтінде кілт t күйінде тұйықталады және кіріс құрылғыдан интеграторға өлшенетін кернеуге U_x пропорционалды болатын U'_x кернеуі беріледі.

U'_x кернеуінің интеграциялануы T_1 аралығы кезінде жалғасады (интегратор шығысында U_{ii} үдемелі кернеуі пайда болады), ол аяқталған кезде $t = t_0$ кезінде U'_y басқарушы сигналы кілтті 2 күйіне ауыстырады және үлгілі кернеу көзінен интеграторға $U_{yкк}$ үлгілі кері кернеу беріледі. Осымен қатар U'_y басқарушы сигналы триггерді аударады. $U_{yкк}$ кернеуінің интеграциялануы жылдамырақ болады, себебі схемада $|U_{yкк}| > U'_x$ орнатылған. Интегратор шығысында U_{ii} түсім кернеуі пайда болады, мұнда T_2 интеграциялану аралығының ұзақтығы үлкен болған сайын, өлшемелі U'_x кернеуінің амплитудасы да жоғарырақ болады.

$t = t_2$ кезінде интегратордың шығуындағы U_{ii} кернеуі нөлге тең болады және салыстырушы құрылғы (оның екінші кірісі корпуспен қосылған) триггерге сигнал жібереді де, оны бастапқы күйіне қайтарады. Оның шығысында И схемасына түсетін T_2 ұзақтығымен U_T импульсі пайда болады. Оның басқа кірісіне есептеуіш импульсы генераторынан $U_{yкк}$ сигналы беріледі. Триггерден келген импульс аяқталған кезде салыстыру процесі аяқталады. Санауышта, яғни цифрлық есептеуіш құрылғысында да өлшенетін U'_x кернеудің дәрежесіне пропорционалды болатын $N(U_{ec})$ импульстер саны да жазылған болады.

$$\int_{t_0}^{t_1} U'_x dt - \int_{t_1}^{t_2} U_{yкк} dt = 0.$$

Бұл өрнек келесі формулаларға әкеледі:

$$T_1 = T_0 K; \quad T_2 \approx T_0 N; \quad U'_x = U_{yкк} T_2.$$

Соңғы формулалардан алатынымыз

$$U'_x = U_{yкк} N / K.$$

Өлшеу нәтижесінің қателігі (импульстік-код құрылғысындағыдай бірнешеуінен емес) үлгілі кернеу деңгейіне байланысты болады. Дегенмен, мұнда дискреттік туралы қателік бар. Құрылғының артықшылығында кедергіден сақтаудағы жақсы

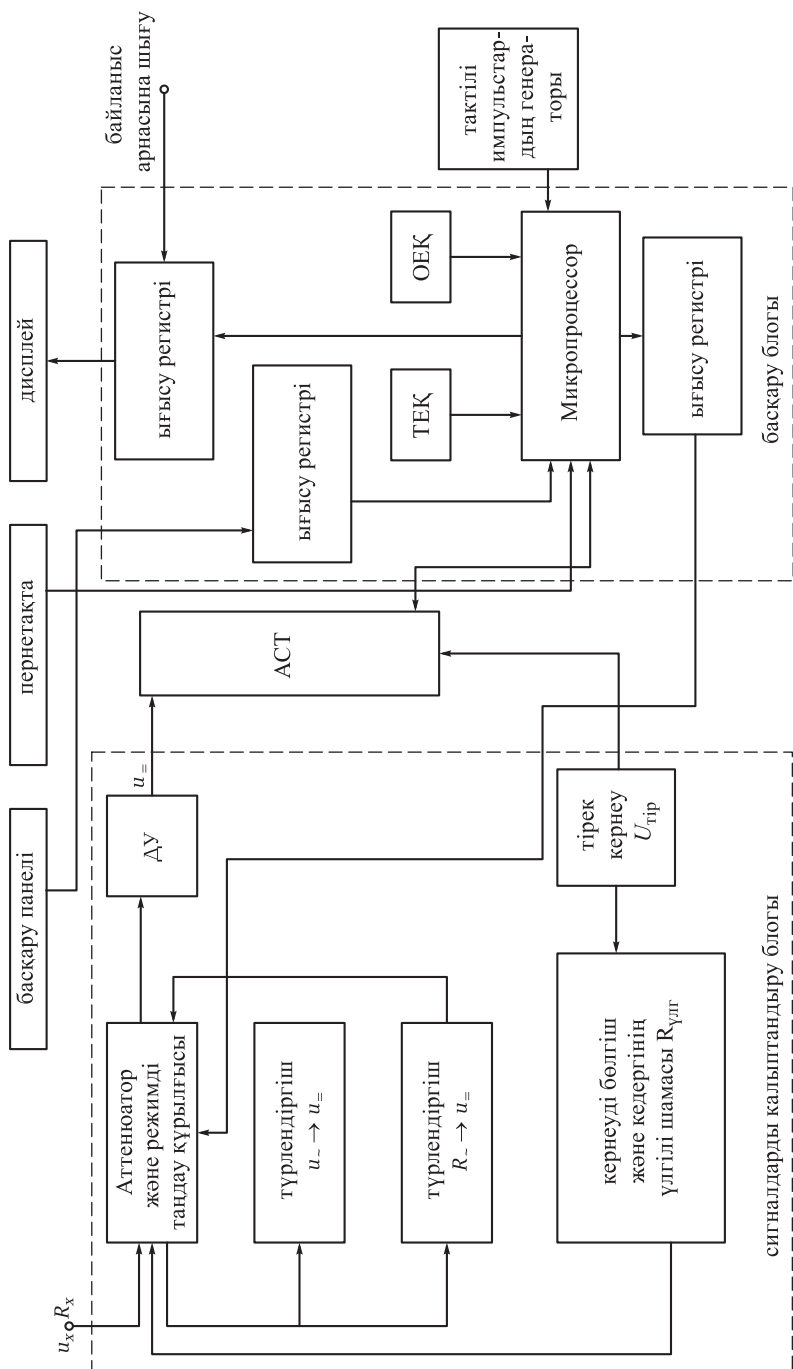
сипаттамасы бар, себебі бұл интеграцияланатын құрылғы болып табылады. Қос интеграциясы бар құрылғылар негізінде СӨКТ құрылғыларына қарағанда жоғары дәлділік класы бар құрылғылар жасалады.

Ең жоғары дәлділік классы бар цифрлық вольтметрлер біріктірілген түрде құрылады: тізбекті теңгерімдеу әдістері бар схемалар және уақыт-импульстік интеграцияланатын түрлендіргіш. Айнымалы токтың сериялық цифрлық вольтметрлерінің көбісі орташа түзетілген және әрекеттегі шамалардың тұрақты (детекторлар) мәннен айнымалы токты түрлендіруді қолдану арқылы құрылады. Жоғарыда айтылғандай, бұл құрылғылардың қасиеттері көбінесе детекторлармен анықталады.

Цифрлық мультиметрлер. Микропроцессорлар мен қосымша түрлендіргіштердің цифрлық вольтметрін құрылымдық схемаға қосу оны әмбебап өлшеу құралы мультиметрге айналдыруға мүмкіндік береді. Цифрлық мультиметрлер тұрақты және айнымалы ток кернеуін, ток күшін, резистор кедергісін, электр дірілінің жиілігін өлшейді. Осциллографтармен қатар қолдану кезінде мультиметрлер уақытша аралықтарды (мысалы, мерзімі, импульс ұзақтығы) өлшеуге мүмкіндік береді. Микропроцессорлық вольтметр схемасында оның болуы қатенің автоматты түзелуін, авто-калибрлеу және диагностикалау мүмкіндіктерін береді.

Мысал ретінде 8.21 суретінде микропроцессормен бірге заманауи цифрлық вольтметрлер көрсетіледі. Вольтметрдің негізгі құрылғысына АСТ, сигналдарды қалыпқа келтіру блогы және басқарушы сигналдар, микропроцессор жатады. Тиісті түрлендірушілер көмегімен сигналды қалып келтіру блогы АСТ кірісіне берілетін бірегейленген ($U=$) сигналға өлшенетін параметрлер (айнымалы және тұрақты ток кернеулері, тұрақты токқа кедергі және т.б. беріледі. Соңғысы қос интеграциялау әдісімен әрекет етеді. Басқару блогы өлшемнің берілген түрі, АСТ басқару, дисплей үшін жұмыс режимін таңдауды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар ол өлшеу жүйесінің қажетті конфигурациясын құрады.

Басқару блогының негізі болып микропроцессор табылады, ол басқалармен ығысу регистрі арқылы байланысады. Микропроцессорды басқару басқару панелінде орналасқан пернетақта көмегімен немесе байланыс арнасын қосатын қалыпты интерфейс (қосарлану, түйіндесу блогы) арқылы жүзеге асырылады. Микропроцессор жұмысының бағдарламасы тұрақты есте сақтаушы құрылғыда (ТЕК) сақталады және Операциялық есте сақтаушы құрылғыда (ОЕК) көмегімен қамтамасыз етіледі.



8.21 – сурет. Микропроцессоры бар қазыргі заманғы цифрлық вольтметр.

Өлшем үшін тірек кернеуінің өте тұрақты дәлме-дәл, резистивтік бөлгіштер, сараланған күшейткіш СК және элементтер қатары (аттенуатор және режимді таңдау құрылғысы, тірек кернеуінің блогы $U_{\text{тір}}$) қолданылады. Барлық импульстік және цифрлық құрылғылар тактілі импульстер генераторының сигналдарымен синхрондалады.

8.5. САНДЫҚ ЖИІЛІК ӨЛШЕУІШТЕР

Сандық жиілік өлшеуіштер – электр сигналдарының жиілік-уақыттық параметрлерін бағалау үшін ғылым, техника, өнеркәсіптің әртүрлі салаларында пайдаланылатын айтарлықтай кең тараған өлшеу аспаптары. Олар кезеңді сигналдарының (немесе олардың кезеңінің) өлшенетін жиіліктерінің мәндерінің өте кең диапазонында жұмыс істейді.

Заманауи сандық жиілік өлшеуіштері басқадай барлық СӨА арасында ең жоғары метрологиялық сипаттамаларын (дәлдік және рұқсат ету қабілеті) қамтамасыз етеді, жеткілікті тез әрекет етуімен, ауқымды функционалдық мүмкіндіктерімен, пайдалану қарапайымдылығымен, жоғары сенімділігімен ерекшеленеді.

Кезеңді сигналдардың жиілік-уақыттық параметрлерін өлшеумен қатар заманауи сандық жиілік өлшеуіштері сондай-ақ, әртүрлі физикалық шамаларды өлшеуге қолданылады. Бұл үшін оларға жиілігі немесе кезеңі (ұзақтылығы) өлшенетін шамаға пропорционалды болатын шығу сигналдары бар қосалқы бастапқы өлшеуіш түрлендіргіштерді (датчиктер) қосу қажет. Мысалы, сандық жиілік өлшеуіштерді қозғалтқыштың біліктің айналу жылдамдығын өлшеуге, құбырдың ішіндегі сұйықтықтың шығындалуын, ауа ағынының жылдамдығын өлшеуге пайдалануға болады. Сонымен қатар, олар тұрақты жиіліктер генераторлары немесе уақыттың тұрақты немесе бағдарламаланатын уақыт аралықтары таймерлері ретінде қолданысы табылады. Сонымен қатар, сандық жиілік өлшеуіштерімен импульстар санын (оқиғалар санын) есептеуді оңай ұйымдастыруға болады.

Іс жүзінде барлық дерлік сандық жиілік өлшеуіштері жұмыстың екі негізгі режимін қамтамасыз етеді: жиілікті өлшеу және кезеңді өлшеу (уақыт интервалының ұзақтылығы).

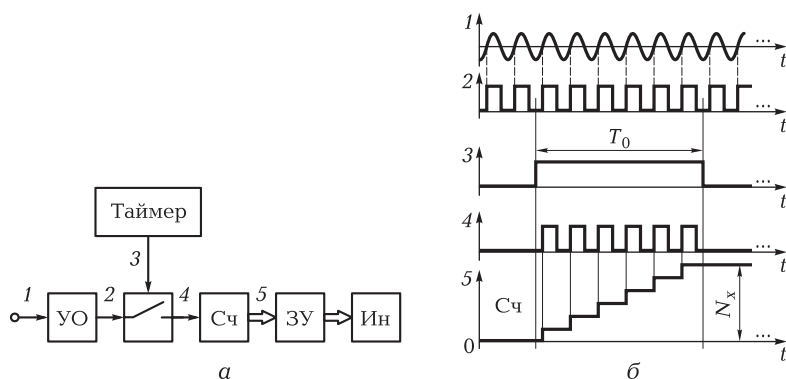
Жиілікті өлшеу режимі. Жиілікті өлшеу режимін жүзеге асырушы сандық жиілік өлшеуіштің жеңілдетілген құрылымы 8.22, а-суретінде көрсетілген, ал жұмыстың осы режиміндегі уақыттық диаграммалары 8.22., б-суретінде келтірілген. Зерттелетін кезеңдік сигналы 1 (тиісінше диаграмма 1) КШ күшейткіш-шектегішінің кірісіне беріледі, бұл жерде ол жиілігі кіріс сиг-

налының f_x жиілігіне тең тіркелген амплитуданың тік бұрышты импульстар 2 (диаграмма 2) тізбектілігіне түрлендіріледі. Әрі қарай бұл сигнал оны уақыттың (диаграмма 3) тұрақты тоқтаусыз кезеңді тұйықтағыш таймерімен басқарылатын электронды кілттің кірісіне келіп түседі, мысалы, $T_0 = 1\text{с}$. Осылайша қалыптасқан импульстар сериясы 4 (диаграмма 4) құрамы 5 аралықтың басында T_0 нольге тең, ал есептеудің аралығының аяғында келіп түскен импульстар N_x санына тең болған есептеуіштің E_c кірісіне келіп түседі. Бұл сан кіріс дабылының өлшенетін жиілігіне f_x тура пропорционал болады:

$$N_x = \text{Ent} [T_0 / T_x] = \text{Ent} [T_0 f_x],$$

мұнда, $\text{Ent} [\dots]$ өрнектің бүтін бөлігін анықтау операторы $[\dots]$; T_x — кіріс сигналының кезеңі ($T_x = 1 / f_x$); f_x — кіріс дабылының жиілігі.

Есептеуіштің құрамы 5 буферлік жадында сақтау құрылғысында (ЖСҚ) сақталады және өлшеудің келесі циклі және жаңа нәтиже санағы аяқталғанға дейін сақталады. Нәтиже бір мезгілде сандық есептеу құрылғысына келіп түседі (индикатор Ин). Егер, мысалы, $T_0 = 1\text{с}$ аралығы ішінде есептеуіштің кірісіне 254 импульс келіп түскен болса, онда, демек, кіріс дабылының жиілігі $f_x = 254\text{ Гц}$. Аспап жұмысы циклді, яғни, әр бір жаңа циклдің басында есептегіш нольденеді. Сонымен, өлшеу нәтижесі кезеңді жаңғыртылып отырады. Айта кету керек, кезеңді дабылдың нысаны маңызды емес.



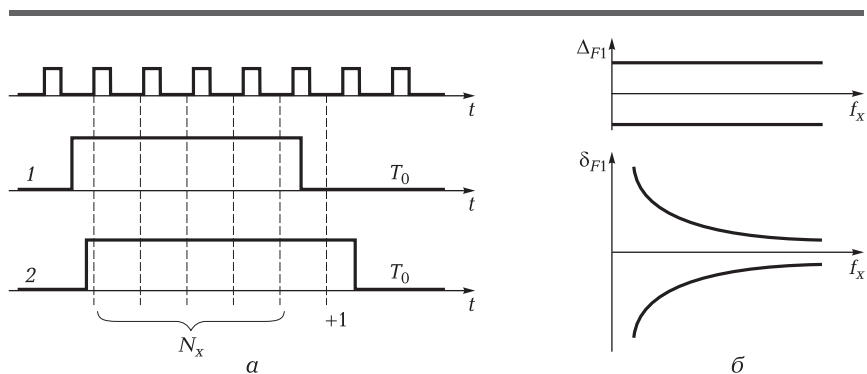
8.22 сурет. Жиілікті өлшеу режиміндегі сандық жиілік өлшеуіші:

а — жеңілдетілген құрылым; б — уақыттық диаграммалары.

Нақты сандық жиілік өлшеуіштерінде жиілікті өлшеудің бірнеше диапозондары болады, яғни, ұзақтылығы жағынан біршама әртүрлі тұрақты аралықтары бар T_0 (мысалы, $T_{01} = 0,1\text{с}$; $T_{02} = 1,0\text{с}$; $T_{03} = 10\text{с}$). сандық жиілік өлшеуішімен жиілікті өлшеу режимінде жұмысы барысында диапозонды дұрыс таңдау маңызды болып табылады, яғни, импульстар есептелетін T_0 аралығын таңдау. Есептегішге T_0 аралығында импульстар N_x неғұрлым көп келіп түсетін болса (әрине, максималды мүмкінді шектерінде), индикатордағы өлшеу нәтижелерінің маңызды сандары соғұрлым көп болады, яғни, демек, жақсы. Жиілікті f_x өлшеу нәтижесінің **жалпы қателігі** Δ_F екі құраушысынан қалыптасады: дискреттік қателігі және T_0 уақыт аралығына берілген дәлсіздіктен (идеалды еместігінен) туындаған қателіктен.

Дискреттік қателігі. Δ_{F1} кез келген аналогтық-сандық түрлендіруінде сөзсіз кездеседі. T_0/T_x қатынасы кез келген болуы мүмкін, себебі, кіріс сигналының жиілігінің әртүрлі мәндердің шексіз саны болуы мүмкін. Жалпы жағдайда T_0/T_x қатынасы бөлшек сан болып табылады. Әйтседе, есептегіш санайтын импульстер N_x саны тек қана бүтін сан болуы мүмкін, онда осындай автоматтық дөңгелектеу үдерісі барысында дискреттік қателігі орын алады.

T_0 аралығының кіріс сигналының уақыт бойындағы орналасуына (кездейсоқ) байланысты және T_0 аралығының бірдей тұрақты мәнінде T_0 аралығына келетін импульстар саны қайсы бір жағына қарай бір бірлікке ерекшеленетін болады. Бірдей бастапқы жағдайларындағы екі әртүрлі жағдайлары 8.23, а-су-



8.23. – сурет. Жиілікті өлшеу режиміндегі аддитивтік қателігі:

а — пайда болуы; б — абсолютті және салыстырмалы қателіктері.

ретінде көрсетілген: бірінші жағдайда (диаграмма 1) есептегішке келіп түскен импульстар саны беске тең, ал екінші жағдайда (диаграмма 2) – импульстар саны алтыға тең.

Δ_{F1} қателігі - кездейсоқ шама, себебі кіріс сигналы және таймер сигналы бір бірімен байланысы жоқ. Аталмыш қателіктің максималды мүмкінді мәні өзгеріссіз және кіші разрядтың бір бірілігін құрайды – бір квант:

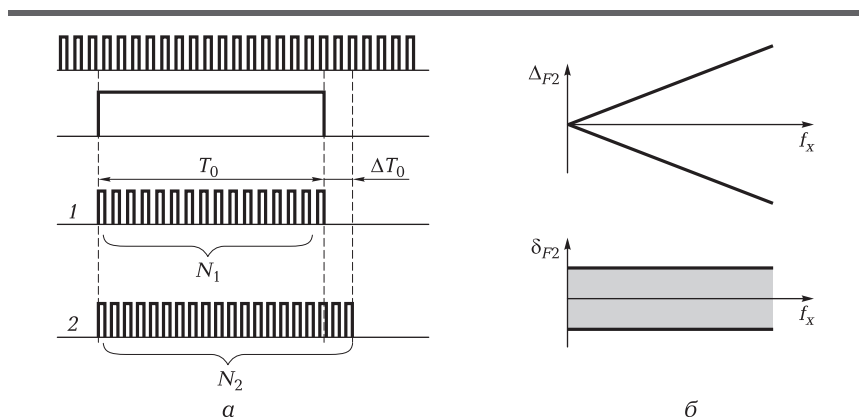
$$\Delta_{F1} = \pm 1 \text{ импульс} = \pm 1/T_0.$$

Осылайша, Δ_{F1} – бұл аддитивтік қателік, яғни, өлшенетін шаманың f_x жиіліктің мәніне тәуелді емес (8.23, б-сурет).

T_0 аралығының берілуінің дәлсіздігінен (идеалды еместігінен) туындайтын қателік 8.24, а-суретінде көрсетілген. Егер T_0 аралығының ұзақтылығы қатаң номиналды мәніне ие болса, онда есептегішке келіп түскен импульстер саны N_1 тең болатын еді (8.24, а-сурет). Егер T_0 аралығы номиналды мәнінен біршама көп болып, және $T_0 + \Delta T_0$ құрайтын болса, онда сол өлшенетін жиілікте f_x есептегішке көп импульстары келіп түседі: $N_2 > N_1$ (8.24, а-суретін қараңыз).

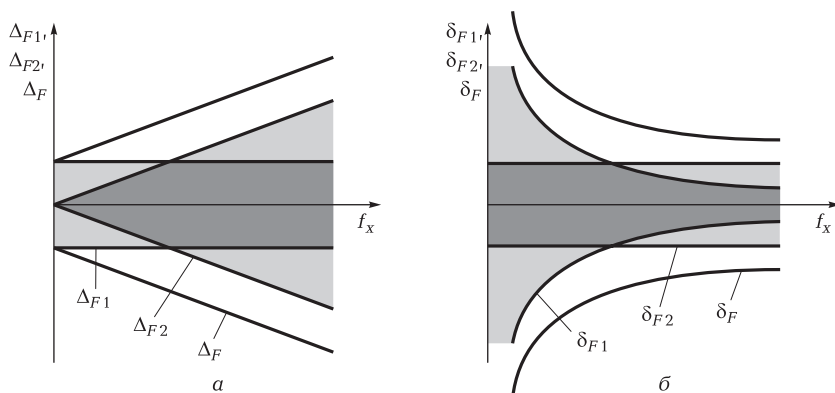
Осы ΔT_0 аралықтың берілуі дәлсіздігі, яғни, құраушының өлшенетін жиіліктің f_x мәнінен сызықты тәуелді мультипликативтіктің пайда болуына әкеліп соқтырады:

$$\Delta_{F2} = \pm f_x \Delta T_0 / T_0.$$



8.24. – сурет. Жиілік өлшеу режиміндегі мультипликативтік қателік:

а — пайда болуы; б — абсолютті және салыстырмалы қателіктер



8.25. — сурет. Жиынтық қателіктер:

а — абсолютті; б — салыстырмалы.

Жиілікті өлшеу нәтижесінің f_x жиынтық абсолютті қателігі және жиынтық салыстырмалы қателігі $\delta_F\%$, тиісінше:

$$\Delta_F = \Delta_{F1} + \Delta_{F2} = \pm[1/T_0 + f_x(\Delta T_0/T_0)];$$

$$\delta_F = \delta_{F1} + \delta_{F2} = \pm[1/T_0 f_x + \Delta T_0/T_0].$$

Жиілікті f_x өлшеу нәтижесінің абсолюттік және салыстырмалы қателіктердің жиынтық және құраушылар тәртібінің графикалық суреттемесі 8.25, а және 8.26, б-суреттерінде келтірілген тиісінше.

Жиілікті өлшеу нәтижесінің қателіктерін анықтаудың мысалын қарастырамыз. Айталық, аралықтың мәні $T_0=1\text{с}$ және оны берудің мүмкінді қателігі $\Delta T_0 = \pm 2\text{мс}$, белгілі. Жиілікті өлшеу нәтижесі алынды: $f_x = 1\text{КГц}$.

Абсолютті аддитивті Δ_{F1} және мультипликативті Δ_{F2} қателіктердің мәндері, тиісінше, Гц:

$$\Delta_{F1} = \pm 1/T_0 = \pm 1; \quad f_x \Delta T_0/T_0 = \pm 1000 \cdot 2 \cdot 10^{-3}/1 = \pm 2.$$

Салыстырмалы аддитивтік δ_{F1} және мультипликативтік δ_{F2} қателіктердің мәндерін, %, әдеттегі жолмен анықтаймыз:

$$\delta_{F1} = (\Delta_{F1}/f_x) 100 = \pm(1/1000) 100 = \pm 0,1;$$

$$\delta_{F2} = (\Delta_{F2}/f_x) 100 = \pm(2/1000) 100 = \pm 0,2.$$

Жиілікті f_x өлшеу нәтижесінің жиынтық абсолютті Δ_F , Гц, және салыстырмалы $\delta_F\%$, қателіктері тиісінше:

$$\Delta_F = \Delta_{F1} + \Delta_{F2} = \pm 3;$$

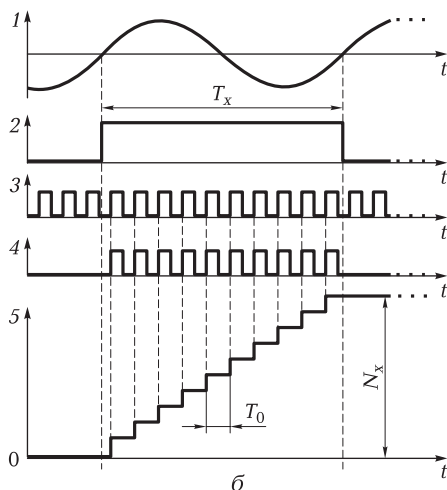
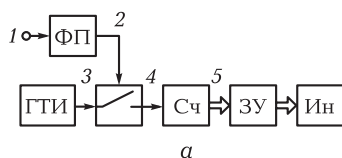
$$\delta_F = \delta_{F1} + \delta_{F2} = \pm 3.$$

Кезеңді өлшеу режимі. Кезеңді өлшеу режимінде сандық жиілікті өлшеуіштің жеңілдетілген құрылымы 8.26, а-суретінде келтірілген, ал уақыттық диаграммасы – 8.26, б-суретінде. Бұл режимінде, кез келген нысандағы кіру кезеңді сигналы (1-диаграмма тиісінше) кезең қалыптастырғыштың КҚ кірісіне беріледі, бұл жерде ол амплитудасы бекітілген ұзақтығы T_x кіру сигналының кезеңіне тең тік бұрышты сигналына 2 (2-диаграмма) түрленеді.

Әрі қарай осы сигнал электрондық кілттің басқарушы кірісіне келіп түседі және оны T_x уақытына тұйықтайды. Электрондық кілттің кірісінде – тактілік импульстер генераторының (ТИГ) шығысына үнемі келіп тұратын жиілігі тұрақты белгісіз F_0 тік бұрышты импульстері 3 (диаграмма 3). Сонымен, кілттің шығысында тік бұрышты импульстер 4 сериясы қалыптасады (диаграмма 4), мұнда импульстер саны N_x ұзақтылыққа T_x тура пропорционал:

$$N_x = \text{Ent} [T_x/T_0] = \text{Ent} [T_x F_0],$$

мұнда, $\text{Ent} [\dots]$ - $[\dots]$ өрнегінің бүтін бөлігін анықтау операторы; T_0 – тактілік импульстар кезеңі.



8.26 сурет. Кезеңді (аралық) өлшеу режимдері:

а — сандық жиілік өлшеуіштің жеңілдетілген құрылымы; б — уақыттық диаграммалары.

Бұл серия келесі циклдың аяғына және жаңа нәтижесінің санағына дейін сақталатын жадында сақтаушы құрылғысына беріледі.

Ин индикаторы өлшеу нәтижесін оқуға мүмкіндік береді. Егер, мысалы, тактілік импульстер генераторының импульстер жиілігі $F_0 = 1\text{кГц}$ орнатылып, ал есептің аралығының аяғындағы Сч есептегіш $N_x = 1520$ болады, онда кіріс сигналының кезеңі $T_x = 1,52\text{с}$ құрайды.

Сандық жиілік өлшеуіші бұл режимде циклді жұмыс жасайды, яғни, түрлендірудің әр бір жаңа циклдің басында есептегіш нөлденеді. Сонымен, өлшеу нәтижесі үнемі жаңғыртылып отырады.

Әдеттегі сандық жиілік өлшеуіштің тактілік импульстарының жоғары жиілікті тұрақты генераторы және әртүрлі бірнеше тактілік жиіліктерді F_0 қалыптастыратын жиілікті сандық бөлігіші бар (мысалы, $F_{01} = 1,0\text{ кГц}$; $F_{02} = 10\text{ кГц}$; $F_{03} = 100\text{ кГц}$; $F_{04} = 1,0\text{ МГц}$), ал бұл кезеңді өлшеудің бірнеше ықтималды диапазондарының бар екендігін білдіреді.

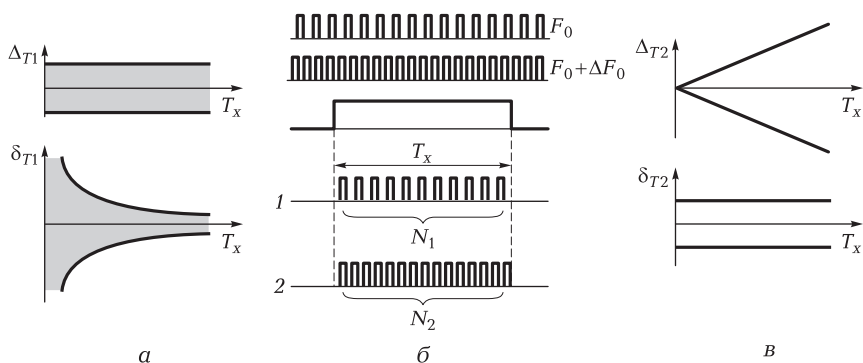
Кезеңді (уақыт аралығын) T_x , өлшеу нәтижесінің қателігі ΔT_x жиілікті өлшеу режиміндегі сияқты екі құраушысы болады, яғни: дискреттік қателігі Δ_{T1} және тактілік импульстер генераторының жиілік F_0 мәндерінің дәлсіздігінен (идеалды еместігінен) туындайтын қателік Δ_{T2} .

Дискреттік қателігі өзінің табиғаты бойынша бірінші режимде қарастырылғанға ұқсас және аддитивтік қателігі болып табылады (8.27, а-сурет). Екінші құраушының пайда болуы – дәлсіздіктен (идеалды еместіктен) туындаған қателігі Δ_{T2} 8.27, б-суретінде көрсетілген.

Егер тактілік импульстер генераторының сигнал жиілігі қатаң номиналды F_0 тең болса, онда T_x аралығы ішінде есептегішке келіп түскен импульстер саны N_1 тең болар еді. Егер тактілік импульстер генераторының сигнал жиілігі, мысалы, номиналды мөлшерінен шамалы көп және $F_0 + \Delta F_0$ құрайтын болса, онда сол T_x аралықта есептегіштерге көп импульстер келіп түседі, яғни: $N_2 > N_1$. Бұл қателіктің құраушысы мультипликативті, яғни, оның мәні неғұрлым көп, өлшенетін кезеңнің T (аралықтың) ұзақтығы соғұрлым көп (8.27, в-сурет).

T_x кезеңін өлшеу нәтижесінің жиынтық абсолюттік қателігі Δ_1 және жиынтық салыстырмалы қателігі δT , % тиісінше:

$$\Delta_T = \Delta_{T1} + \Delta_{T2} = \pm [1/F_0 + T_x (\Delta F_0 / F_0)];$$

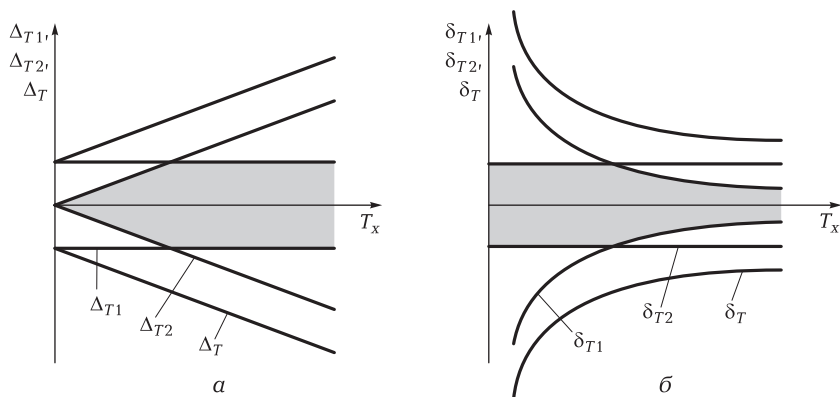


8.27-сурет. Кезеңді өлшеу режиміндегі қателік құраушылары:

а – аддитивтік құраушысы; б - екінші құраушының пайда болуы; с - мультипликативтік құраушысы.

$$\delta_T = \delta_{T1} + \delta_{T2} = \pm(1/F_0 T_x + \Delta F_0/F_0).$$

T_x кезеңін өлшеу нәтижесінің жекелеген құраушылары және жиынтық қателіктері абсолюттік және салыстырмалы түрлерінде графикалық түрінде 8.28-суретінде келтірілген. Бұл режимінде T_x өлшенетін кезең неғұрлым аз болған сайын (жиіліктің мәні көп болса), соғұрлым нашар, себебі, салыстырмалы қателік одан да көп. T_x кезеңінің салыстырмалы аз мәндерін (немесе салыстырмалы жоғары жиіліктерді) өлшеу үшін сандық жиілік өлшеуішінің бірінші режимін – жиілікті өлшеу режимін пайдаланған жөн.



8.28.-сурет. Жиынтық қателіктер:

а – абсолюттік, б – салыстырмалы

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Сандық өлшеу құралы дегеніміз не? СӨА қандай түрлері бар?
2. СӨА негізгі классификациялық сипаттамалары қандай?
3. СӨА қандай техникалық сипаттамалары олардың мүмкіндіктерін анықтайды?
4. СӨА құрылымдық диаграммасы дегеніміз не? Ауыстыру және бақылау түрлерінің векторлық схемасы нені бейнелейді?
5. Операциялық күшейткіш дегеніміз не? Оның қосылу схемасы және табыстамалық сипаттамалары қандай?
6. Компаратордың тағайындалымы және оның табыстамалық сипаттамалары қандай?
7. ҚТЖ тағайындалымы қандай? Оның схемасын келтіріңіз.
8. САТ тағайындалымы қандай? Параллельді, тізбелік және параллель-тізбелік САТ құрылымдық схемалары қандай?
9. Аналогтық электронды вольтметрлердің құрылымдық схемасы қандай? Осы аспаптардың тағайындалымы және артықшылықтары қандай?
10. Амплитудалық детекторлардың мақсаты қандай? Детекторлық сұлбалар және олардың сипаттамалары қандай?
11. Детектордың шаршылық вольт-амперлік сипаттамаларының жуықтамасы қалай жүзеге асырылады?
12. Амплитудалық детектордың схемасы ОК қалай жүзеге асырылады?
13. АСТ үлгісі бойынша сандық вольтметрлердің қандай түрлері бар? Сандық вольтметрдің құрылымдық схемасы қандай?
14. Сандық вольтметрдің шығуындағы кедергілер қалай пайда болады және қандай тәсілдерімен азайтылады?
15. Кодты-импульстік вольтметрдің жұмыс принципі қандай? Оның жұмысын бейнелейтін схемаларды және графиктерді түсіндіріңіз.
16. СӨКГ сандық вольтметрдің құрылымдық схемасы және уақыттық диаграммалары қандай?
17. Қос интегралдалған сандық вольтметрдің жұмыс істеу принципі қандай? Оның схемасын және уақыттық диаграммаларын түсіндіріңіз.
18. Микропроцессоры бар сандық вольтметрі қалай жұмыс жасайды?
19. Жиілікті және кезеңді өлшеу режимдерінде сандық жиілік өлшеуіші қалай жұмыс жасайды?
20. Сандық жиілік өлшеуіштерінің жұмыс барысында қандай қателіктері пайда болады?

9 ТАРАУ

СТАНДАРТТЫҚ ӨЛШЕУІШ СИГНАЛДАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ АСПАПТАРЫ

9.1. НЕГІЗГІ МӘЛІМЕТТЕР

Өлшеуіш сигналдар генераторлары (автогенераторлар) – бұл радиоэлектрондық аппаратураларын икемдеу және реттеуге арналған әртүрлі нысандағы және жиіліктегі сигналдар көздері.

Шығу сигналдарының нысандарына қарай синусоидалы және бәсеңдейтін (импульсты) тербелістер генераторлары болып бөлінеді. Синусоидалы тербелістер *генераторының сигнал спектрінде* бір немесе бірнеше гармоникалары бар. *Бәсеңдейтін тербелістер генераторының* шығу сигналдарында амплитудалары әртүрлі гармоникалардың кең спектрі болады.

Жиілік диапазоны бойынша генераторлар келесідей түрлеріне бөлінеді:

- инфратөменгі жиіліктік (0,01 Гц ... 20 МГц);
- төмен жиіліктік немесе дыбыс диапазон генераторлары (20 Гц ... 300 МГц);
- жоғары жиілікті генераторлары (HF - 0,3,300 МГц);
- шамадан тыс жоғары жиілікті генераторлары (ШТЖЖ - 300 МГц-ден жоғары).

Кездейсоқ тербелістер генераторлары жеке топ құрайды, яғни, шу генераторлары. Айта кету керек, СӨКГ де бәсеңдейтін генераторларына жатады. Генераторлардың осы үлгісін жайма генераторы, сондай-ақ, өлшеу аспабы ретінде де пайдалануға болады.

Тағайындалымына, қолданыс принципіне және схемасына қарамастан кез келген аталған тербелістердің генераторлары (іздістіру параметрлік схемаларынан басқа) сызықтық емес күшейткіштен, оң кері байланыс тізбегінен және тұрақты тоқтың қоректендіру көзінен тұрады.

Шығу сигналдарының нысаны және жиілігі генератордың өзінің параметрлерімен анықталады.

Гармоникалық тербелістер генераторының құрамында міндетті түрде таржолакты тербеліс жүйесі болуы тиіс. Бәсеңдейтін генераторлардың әрекет ету принципі кері оң байланыстың кең жолақты тізбектерінде өтетін зарядталу-разрядталу немесе жинақтаушы-сіңіруші құбылыстарына негізделген.

Тербелістерді қоздыру және тудыру үшін күшейткіштің (дәлірек айтқанда, тербеліс жүйесінің) шығуындағы энергиясының бір бөлігі осы жағдай үшін ұйымдастырылған оң кері байланыс тізбегінің бойымен оның кірісіне беріледі. Ұқсас құрылғысы «өзін өзі қоздырады» және сондықтан ол *өздігінен қозатын генератор* деп аталады.

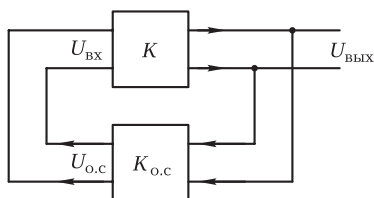
Іске қосқан кезде автогенератордың тербеліс жүйесінде қоректендіру көздерінің қосылуынан, тізбектердің тұйықталуынан, электрлік толқындануларынан және т.б. туындайтын бос тербелістері пайда болады. Оң кері байланыстың болуының арқасында осы бастапқы тербелістері күшейеді және амплитуда бойынша өседі. Және де амплитудалары әлі аз бастапқы сатысында іс жүзіндегі күшею сызықты сипатында болады және автогенератор сызықтық жүйесі ретінде қарастырылуы мүмкін.

Амплитудалардың өсу энергетикалық үдерісі келесідей түсіндіріледі, яғни, бір тербеліс кезеңінің ішінде күшейткіш энергия контурына осы уақытта контурдың ішінде шығындалатын энергиясынан көп энергия береді. Амплитудалардың өсуімен жүйенің сызықтық еместігі (күшейткіштің вольт-амперлік сипаттамаларының қисықтығы) байқала бастайды және күшеюі контурдағы тербелістердің сөнуін өтемдейтін, яғни, күшейткіштің бір кезеңнің ішінде контурға беретін энергиясы осы уақытта тербеліс контурында шығындалатын энергиясына тең болады. Нәтижесінде автогенератордың шығу тербелістері біршама орнатылған деңгейіне жетеді және содан соң ол іс жүзінде тұрақты болып қалады. Аталмыш жағдайы автогенератордың жұмысының стационарлық режимі болып табылады.

Синусоидалы тербелістер генераторын кешенді күшейткіш коэффициентімен K сызықтық емес резонанстық күшейткішінен және кернеу K_{oc} бойымен беру коэффициентімен оң кері байланыс тізбегінен тұратын жалпыланған құрылымдық схемасы түрінде көрсетуге болады. Жалпылама құрылымдық схемасында келесі кернеулердің кешенді амплитудалары қатысады, яғни:

- Кіріс кернеуі – $U_{вх}$;
- шығыс кернеуі – $U_{вых}$;
- кері байланыс кернеуі – U_{oc} .

9.1-сурет. Генератордың жалпыланған құрылымдық схемасы



Туындатудың кез келген жиілігіндегі кері байланыстың кернеуінің өрнегін келесідей түрінде жазамыз:

$$U_{o,c} = U_{кiр} = K_{o,c} U_{шығ} \quad (9.1)$$

Онда шығу кернеуі $U_{шығ} = K_{o,c} K U_{кiр}$ немесе (9.1) өрнегін ескеруімен

$$U_{шығ} = K_{o,c} K U_{кiр} \quad (9.2)$$

(9.2) формуласы бойынша, автогенератор стационарлық режимінде келесідей шартымен жұмыс жасайды

$$K K_{o,c} = 1 \quad (9.3)$$

Егер $K K_{o,c} > 1$ болса, шығу тербелістерінің амплитудасы өседі, ал бұл генератордың өздігінен қозуының қажетті шартын анықтайды. (9.3) өрнегін келесідей жіктеуге болады, яғни:

$$K(\omega) e^{j\varphi_k(\omega)} K_{o,c}(\omega) e^{j\varphi_{ko,c}(\omega)} = K K_{o,c} e^{j(\varphi_k + \varphi_{ko,c})} = 1. \quad (9.4)$$

(9.4) формуласында $K(\omega) = K$ және $K_{o,c}(\omega) = K_{o,c}$ — меншікті күшейткіштің (кері байланыс тізбегінсіз) коэффициентінің және оң кері байланыс тізбегінің беріс коэффициентінің нақты мәндері; $\varphi_k(\omega) = \varphi_k$ және $\varphi_{ko,c}(\omega) = \varphi_{ko,c}$ — күшейткіш және оң кері байланысының ағымдағы жиіліктегі тізбегімен енгізілетін фазалық ығысулары.

(9.4)-формуласына орай контурдың ішінде тұрақты автотербелістері пайда болуы үшін келесідей шарттарын орындау қажет:

- оң кері байланысының сигналын қамтамасыз ету

$$K K_{o,c} = 1; \quad (9.5)$$

- тұйық циклде пайда болған фаза ығысуы тепе-теңдікке жауап беруі тиіс, яғни:

$$\varphi_k + \varphi_{ko,c} = 2\pi m, \quad (9.6)$$

мұнда $m = 1, 2, 3$ және т.б. натурал бүтін сандар;

- автотербелістердің амплитуда тұрақтылығы үшін күшейткіштің статикалық сипаттамасының сызықтық учаскесі болуы тиіс.

(9.5) ара-қатынасы автогенератордағы амплитудалардың теңгерім шартын анықтайды, яғни, стационарлық режимінде туындатылатын жиіліктегі кері байланыс күшейткішінің күшейту коэффициенті $K_{oc} = 1$ болады.

(9.6) тепе-теңдігі фазалар теңгерім шартын сипаттайды. Бұл күшейткіш және оң кері байланыс тізбегі туындататын генерация жиілігіндегі дабылдың жиынтық фазалық ығысулары стационарлық режимінде нөлге тең немесе 2π еселікке тең болуы тиіс. Айта кету керек, тек қана фазалар теңгерімі шарты туындайтын тербелістердің жиілігін анықтауға мүмкіндік береді.

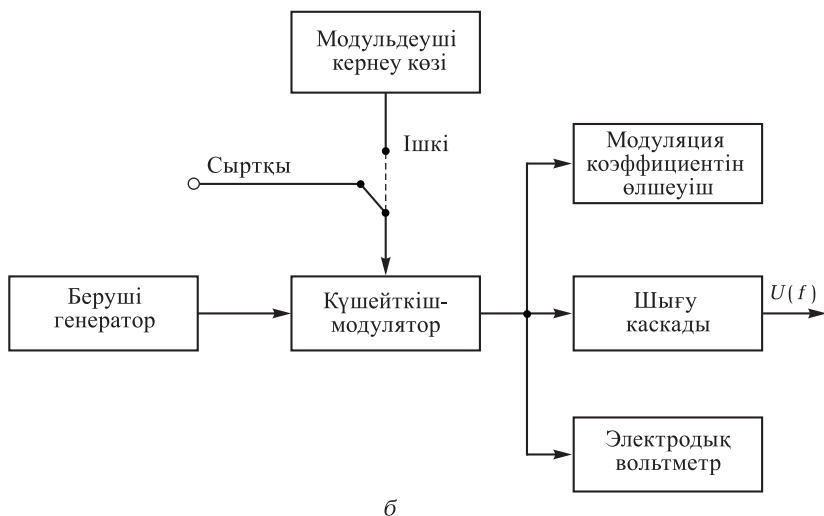
Стационарлық режимде жұмыс істейтін синусоидалы тербелістер генераторларының схемаларында (9.5) және (9.6) ара-қатынасы тар жолақты тербеліс жүйесіне резонансты болып табылатын тіркелген бір жиілікте ω орындалады. Гармоникалық емес тербелістердің автогенераторының жұмысы барысында (9.5) және (9.6) шарттары жиіліктердің кейбір жолақтары үшін орындалуы тиіс.

Синусоидалы тербелістер генераторларындағы тербеліс жүйелері болып резонансты LC -контурлары және жиіліктік-тәуелді (фазаланатын) RC -тізбектері табылады. Синусоидалы тербелістер генераторлары LC -контурларымен LC -генераторлары, ал фазаланатын RC -тізбектерімен – RC -генераторлары деп аталады. LC -генераторлары жиіліктері жоғары тербелістерді өндіреді (100 кГц астам), ал RC -генераторларды төмен жиілікті синусоидалы тербелістерін туындату үшін қолданылады (бір герцтен ондаған килогерцке дейін).

9.2. СИНУСОИДАЛЫ ТЕРБЕЛІС ГЕНЕРАТОРЛАРЫ

Синусоидалы тербеліс генераторларын өлшеу құралдары үшін екі түрінде орындайды: сигналдар генераторы (СГ) және стандарттық сигналдар генераторлары (ССГ). Стандарттық сигналдар генераторларының жиілік тұрақтылығының және тербелістер нысанының көрсеткіштері жоғары, бірақ ДГ-на қарағанда, амплитуда бойынша деңгейлері төмен.

СГ және ССГ үлгісіндегі өлшеуіш генераторларының жалпыланған құрылымдық схемалары 9.2.-суретінде көрсетілген. Сигналдар генераторының құрылымдық схемасы 9.2, а-суретінде, ал стандарттық сигналдар генераторының – 9.2, б-суретінде көрсетілген.



9.2 сурет. СГ және ССГ үлгісіндегі синусоидалы сигналдар өлшеуіш генераторларының жалпыланған құрылымдық схемалары:

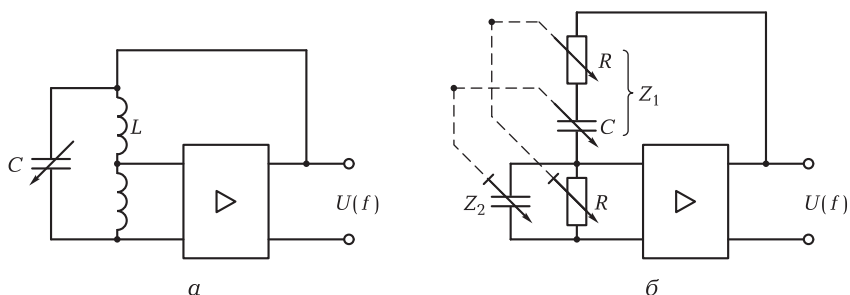
а – сигнал генераторы; б – стандарттық сигналдар генераторы.

Амплитудалар және фазалар теңгерім шарты орындалатын LC-генераторларындағы жиілік, мысалы, 9.3-суретінде көрсетілгендей, негізінде тербелістік контурының резонансымен анықталады.

Тербелістер жиілігі:

$$f = 1/2\pi \sqrt{LC}.$$

LC-генераторларына жиілікті кварц тұрақтандырғышы бар генераторлары да жатады. Тұрақтандырудың осы тәсілі LC-контурларының орнына кварц резонаторын қолдануына негізделген, ал бұл өз кезегінде жиіліктің тұрақсыздығын 10^{-7} дейін төмендетеді (жиіліктің генерацияланатын $f = 1\text{ МГц}$ жиіліктің ауытқуы $\Delta f = 0,1\text{ Гц}$).



9.3 сурет. Құрылымдық схемалар:

а — LC-генератордың; б — RC-генераторының

Кварц резонаторы кварц ұстағыштың ішіне орналастырылған бүйірлері кристалдың осьтерімен бағытталған кварц кристалынан кесілген жұқа тікбұрышты тілімдер болып табылады. Кварц тіке және кері пьезоэлектрлік әсерлерлеріне ие (пьезоэлектрлік әсерлер).

Тік пьезоэлектрлік әсері кварц тілімі қысылған немесе созылған кезде пайда болады және оның бүйірлерінде электр зарядтарының пайда болуымен сүйемелденеді.

Алайда, LC генераторлары өлшеу техникасында шектеулі қолданылады, себебі, олардың жиілігі ауқымды шектерінде қиын ауыстырылады, ал төмен жиіліктерінде индуктивтіліктің және сыйымдықтардың үлкен шамалары талап етіледі.

Синусоидалы тербелістердің өлшеуіш генераторларында RC-тізбектерімен схемалары жиі қолданылады - әдетте Вин көпірімен (9.3, б-сурет), бұл дабыл фазасын 180° -қа ығыстыру үшін арналған. Генератордың схемасы жиіліктердің кең диапазонында беріс коэффициенті K мүлтік шама болып табылатын күшейткіштің негізінде тұрғызылады, ал фазалық ығысу $\varphi = 2\pi$ Вин көпірінің және күшейту каскадтарындағы дабылды түрлендіру есебінен қамтамасыз етіледі.

(9.5) шартын орындау үшін кері байланыс оң тізбегінің беріс коэффициенті де мүлтік шама болуы қажет.

9.3-суретіндегі схемасынан көрініп тұрғандай, коэффициент келесі қатынасындай болады:

$$K_{o.c} = Z_2 / (Z_1 + Z_2),$$

мұнда Z_1 және Z_2 - кешенді кедергілері;

$$Z_1 = R + 1/j\omega C; \quad Z_2 = R / (1 + j\omega CR).$$

Осы ара-қатынастарды түрлендірген соң келесідей формула шығады:

$$K_{o.c} = 1 / [3 + j(\omega CR - 1/\omega CR)].$$

K_{oc} шама мүлтік боллады, егер

$$\omega CR - 1/\omega CR = 0.$$

Демек, синусоидалы тербелістер жиілігі

$$\omega = 1/RC,$$

немесе

$$f = 1/2\pi RC.$$

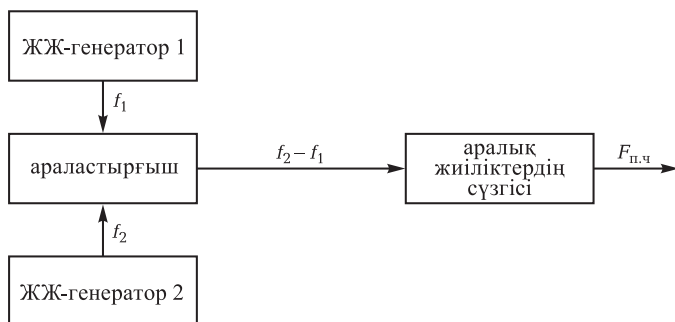
Бұл ретте, параметрі $K_{oc} = 1/3$, ал $K = 3$.

Автогенераторлардың ақиқаттық схемаларында күшейту K коэффициенті үлкен күшейткіші қоладанылады, ал жиілікті тұрақтандыру үшін оны косымша кері байланыс теріс тізбегімен қамтылады.

Дыбыстық генераторларының сипаттамалары. Жиіліктердің дыбыстық диапазоны генераторларының (төмен жиілікті генераторлары) шығу дабылының қуат деңгейі әдетте елеулі болады (5 ... 10 Вт дейін). Алайда, аталмыш қуат тек қана келісімделген жүктемесінде бөлінуі мүмкін, мысалы, 60, 600, 6000 Ом жүктемесінде, сондықтан генератордың шығуында келісімдеуші трансформаторы жиі қосылады. Шығу кернеудің электрондық вольтметрiнiң көрсеткіштері генератордың келісімделген жүктемесінде ғана дұрыс болады. Генератордың жиілігін орнату олқылығын 1%-дан аз шамаға дейін төмендетуге болады. Жиіліктің тұрақтылығын көтеру үшін прецезионды сыртқы элементтерін (конденсаторлар, индуктивтілік шарғылары, резисторлар) қолдану арқылы жүзеге асырылады.

Сонымен қатар, өлшеу генераторларының осындай схемаларының жиіліктерінің тұрақтылығын көтеру үшін қағыстағы беруші генераторларын қолданады. Осындай генераторлардың жеңілдетілген құрылымдық схемасы 9.4.-суретінде келтірілген. Бұл жерде төмен жиілік тербелістері түрлендіргіште жиілік жағынан жақын екі синусоидалы тербелістерді f_1 және f_2 араластыру арқылы түзіледі (9.4.-суретінде ол араластырғыш түрінде бейнеленген). Бұл ретте f_2 жиілігі f_1 -ден $f_1 + F$ дейін өзгеруі мүмкін, мұнда F - жұмыс диапазонының ең үлкен жиілігі. Араластырғыштың шығуында қиыстырылған жиіліктер алынады, соның ішінде, аралық жиілігін де $F_{a.ж} = f_2 - f_1$. Аралық жиіліктің $F_{a.ж}$ тербелістері аралық жиіліктерінің сүзгіші арқылы ажыратылады.

Жоғары жиілікті генераторларының сипаттамалары. Радиожиілік диапазонын өлшеу жүйелерінде СГ және ССГ екеуін де пайдаланады. Сигналдар генераторларының шығу дабысиналының орташа қуаты үлкен (3 Вт дейін) және өлшеу беріс антенналарын қоректендіру үшін және басқа қуатты құрылғылары үшін де қолданылады. Стандарттық сигналдар генератор-



9.4 сурет. Генератордың қағыстарындағы жеңілдетілген құрылымдық схемасы.

лары болып шығу кернейінің деңгейі төмен қуаттылықтары аз (1В дейін) дабыл көздері табылады. Олар радиоаппаратураларды сынау және түйіндерін икемдеуге қолданылады. ССГ қойылатын негізгі талаптарына шығу дабылының жиіліктің және амплитуданың жоғары тұрақтылығы, сызықты емес бұрмаланулардың аз коэффициенті жатады.

Стандартты сигналдар генераторларында сыртқы және ішкі кернеу көздерін пайдалану арқылы амплитудалық модуляцияны алу мүмкіндігі көзделген. Ішкі модуляцияның әдеттегі жиіліктері 400 және 1000 Гц құрайды.

Инфратөмен жиіліктер генераторлары. Инфратөмен жиіліктер генераторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы дыбыстық жиіліктер СГ схемасына ұқсас болады (9.2,а-суретін қараңыз). Оның басты ерекшелігі – оған беруші генератордың схемасы қосылған. Беруші генератор генератордың қағыстағы схемасы бойынша немесе тербеліс буынының сөнусіз электрондық моделі болып табылатын схемасы бойынша орындауға болады.

Инфратөмен жиіліктер автогенераторының кері байланыс оң тізбегіне қосылған тербеліс буынының электрондық моделінің құрылымдық схемасы 9.5,а-суретінде көрсетілген. Электрондық моделінің құрамында күшейткіш және екі тізбектеле қосылған интеграторы бар.

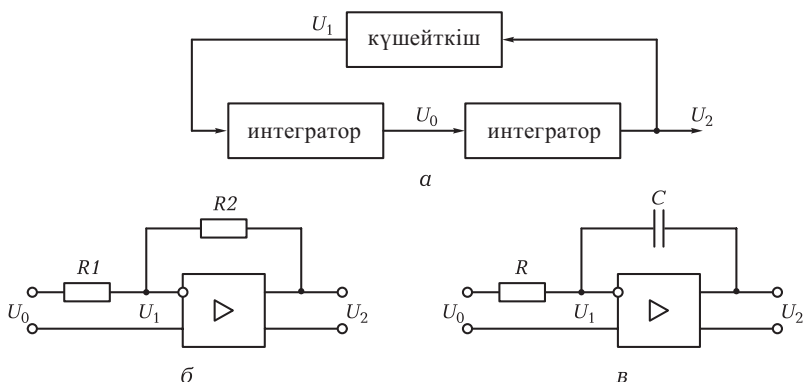
Күшейткіш және интегралдау буындары (9.5, б және в-суреті) келесі теңдеулерімен сипатталады:

$$U_2 = -(R_2 U_0 / R_1) = -K U_0; \quad dU_2 / dt = -(U_0 / \tau),$$

мұнда K - күшейткіштің күшейту коэффициенті, $K = R_2 / R_1$; τ - RC тізбек уақытының тұрақтылығы, $\tau = RC$.

Тербелістер генераторының жиілігі

$$\omega_0 = \sqrt{K} / \tau.$$



9.5 сурет. Тербеліс буындарының құрылымдық схемалары:

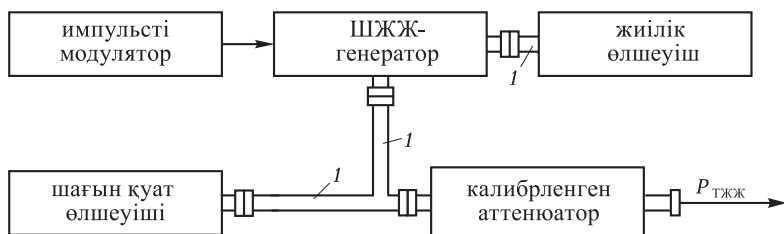
а — электрондық моделі; б — күшейткіш буыны; в — интегралдау буыны.

Стандарттық жағдайларындағы (температура, ылғалдылық және т.б.) жұмыс кезіндегі ұқсас генераторлардың үлгілік параметрлерінің мәндері келесідей: жиіліктің 0,25%-ға дейінгі тұрақсыздығы, шығу кернеудің амплитудасы 25В жетеді.

Шамадан тыс жоғары жиілікті генераторлары. Шамадан тыс жоғары жиілікті генераторлары, немесе ШЖЖ-генераторлары 1,0-ден 40 ГГц жиілік диапазонында жұмыс істейді. Зерттелетін схемасымен қоса шығу жалғастырғышы үлгісі бойынша коаксиалды және толқынжолды болып бөлінеді, осы арада, соңғысы едәуір жоғары жиілікті болады. ШЖЖ-генераторлары жиілік бойынша шамалы жабылуымен бірдиапазонды (шамамен октава-екі есе) құрастыруымен сипатталады. ШЖЖ-генераторының калибрленбеген шығу қуаты бірнеше ватт құрайды, ал калибрленгені – бірнеше микроваттқа жетеді. ШЖЖ-генераторының калибрленген аттенюаторларының шкалалары децибелмен градусталады, ал ССГ генераторларында – децибел және микроватт.

Шамадан тыс жоғары жиілікті генераторлары радиоқабылдағыш құрылғыларды, радиолокациялық және радионавигациялық стансаларды, ғарыштық байланыс және спутниктік хабар тарату жүйелерін, антенналардың параметрлерін өлшеуді икемдеу үшін қажетті. ШЖЖ-генератордың жалпыланған құрылымдық схемасы 9.6-суретінде келтірілген.

Осы үлгісіндегі өлшеуіш генераторларының ерекшелігі болып схеманың электрондық бөлігінің салыстырмалы қарапайымдылығы және механикалық түйіндердің күрделілігі табылады. ШЖЖ-генераторының схемасының ішіне беруші ШЖЖ-генераторы, импульсты модуляторы, қуаты аз өлшеуіші, жиілік өлшеуіші және калибрленген аттенюатор кіреді.



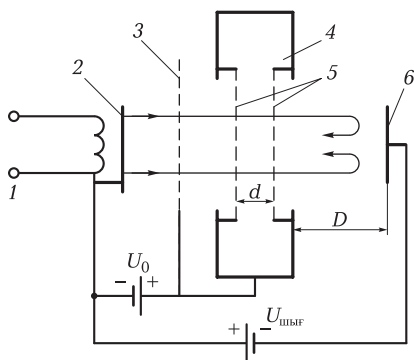
9.6-сурет. ТЖЖ-генераторының жалпыланған құрылымдық схемасы:

1 — толқынжолдары

9.6-суретіндегі $P_{\text{ТЖЖ}}$ — ШЖЖ-генераторының қуаты. Өлшеуіш аспаптарының беруші ШЖЖ-генераторлары сыртқы немесе ішкі резонаторы бар шағылдырғыш клистрондарында, Ганн диодтарында, тасқынды-аралық диодтарында немесе кума толқынды шамдарында орындалады.

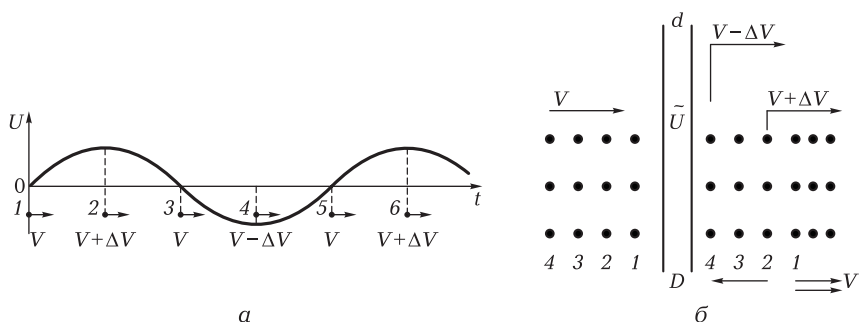
Өлшеуіш ШЖЖ-генераторларында мұқият экрандалуы қажет, себебі, сәулелену энергиясының ағып кетулері жиіліктің өсуімен өседі. Қоректендіру сымдары ШЖЖ-сәулелерін жақсы сіңіріп алатын арнайы толтырмасымен коаксильді кабельдер түрінде орындалады.

Сонымен қатар, жоғары талаптары қоректендіру көздеріне де қойылады, себебі ШЖЖ-диапазонының белсенді элементтері қоректендіруші кернеулердің тұрақсыздықтарына өте сезімтал болады. Мысал ретінде шағылдырғыш клистрон негізіндегі беруші ШЖЖ-генераторының әрекет ету принципіне тоқталайық. Оның жеңілдетілген схемасы 9.7-суретте көрсетілген. Клистрон көлемді ШЖЖ-резонаторымен 4 электрондық лампымен тіркесі болып табылатын электронды электровакуумдық аспаптарына жатады. Оның құрамына катод 2 қыздырғышымен 1, үдету электроды 3, шағыл-



9.7-сурет. Шағылдырғыш клистронның схемасы:

1 — жылытқыш; 2 — катод; 3 — үдету электроды; 4 — көлемді ШЖЖ-резонаторы; 5 — резонатор торлары; 6 — шағылдырғыш



9.8-сурет. Электрондық ағынды динамикалық бақылау механизмі: а – ағынның шартты белгіленуі; б – ығу және басқару кеңістігі.

дырғыш 6, кірістірілген торларымен 5 көлемді резонатор және үдемелі кернеу U_0 және шағылдырғыш кернеу $U_{\text{шағ}}$ көздері кіреді. Схемадағы d - басқару аймағының кеңістігі, D - ығу кеңістігі.

Клистронның ішінде *электрондық ағынды динамикалық басқару*, яғни, жекелеген электрондардың ұшу жылдамдықтарын басқару (9.8, а-сурет) орын алады.

Клистронның тербелістер генераторы сияқты әрекет ету принципі келесідей. Электрондар шоғы удетуші электродына немесе кейбір құрастырылымдарында үдету анодының ролін атқаратын көлемді резонаторына түсірілген оң потенциалымен үдейді. Содан соң электрондар саңылау немесе резонатор-анодтың торы арқылы өтіп, және теріс зарядталған шағылыстыру электродымен құрылатын кедергілеу өрісіне келіп түседі. Электрондар резонатор арқылы шағылдырғышқа қарай өткен кезде олар торлар арасындағы кернеудің электрондарының хаосты қозғалысының шамалы әсерінен өзінің жылдамдығын өзгертеді. Бұл электрондардың резонатормен және шағылдырғыштың арасындағы кеңістіктегі олардың әрі қарай қозғалысы электрондардың ішінара топтастырылуын туындатады.

Қайта оралатын электрондар резонатордың жоғары жиілікті өрісімен баяулайды, яғни, олар өзінің энергиясының бір бөлігін резонаторға береді, осылайша саңылаудағы анымалы кернеудің шамасын көбейтеді. Кернеудің өсуі, өз кезегінде, жылдамдық бойынша модуляцияның тереңделуіне, электрондардың топтастырылуының жақсаруына, резонаторға берілетін энергияның көбеюіне және т.б.өкеліп соқтырады. Нәтижесінде, резонаторда сөнбейтін тербелістері орнатылады. Генератордағы тербелістер

шағылдырғыш клистронында анодтағы және шағылдырғыш арасындағы белгілі ара-қатынастарында ғана қозады.

Туындаған жиілік негізінде резонатордың икемдеу жиілігімен анықталады. Сонымен қатар, ол электрондардың баяулау аймағындағы электрондардың ұшу жылдамдығына және уақытына байланысты. Анодтағы тұрақты кернеуінде шағылдырғыштағы кернеуді өзгерте отырып, 1% шектеріндегі жиілік бойынша клистронды қайта ауыстыруға болады.

9.8,а-суретінде басқарылатын өрістегі U шартты ағынның жекелеген электрондарының орналасу сәттері көрсетілген. Осы өрістегі электрондар ауытқымайды, кернеу нольге тең болмаған жағдайда уақыт сәтінде тек қана жылдамдығын өзгертеді (2,4,6 электрондары). 1,3,5-электрондары бастпақы жылдамдықтарын V өзгертпейді. Егер қазір электрондарға біршама қашықтыққа әрі қарай ұшып кетуге мүмкіндік берілетін болса (ығу D кеңістігінде), онда үдетілген электрондары (олардың жылдамдығы $V+\Delta V$ құрайды) бұрын ұшып шыққан және өздерінің жылдамдықтарын өзгертпеген V (электрондар 2 электрондарды 1 қуалайтын) электрондарды қуалайтын болады.

Бәсеңдеген электрондары 4 (олардың жылдамдығы $V-\Delta V$) кейін ұшып шыққан электрондарына жақындайды. Бастапқыда электрондардың біркелкі ағынында олардың тығыздылығы – ығу D кеңістігіндегі электрондар саны жағынан ұйысқандары және ыдыраулары пайда болады (9.8, б-сурет).

Мұндай үдеріс клистронда орын алады. Үдеуші электродына және резонаторына келтірілген оң кернеудің U_0 әсерінен электронды ағын катодтан шығады және резонатордың торлар арасындағы саңылауды толтырады. Ағынның флукутация әсерінің нәтижесінде резонаторда резонансты жиілікте әлсіз ШЖЖ-кернеуі жіберіледі. Флукутация нәтижесінде пайда болған осы кернеу, өз кезегінде, электрондардың жылдамдығын өзгертеді.

Электрондардың жылдамдығының осы өзгерісі көлемді резонатордың торлары арасында басқару d аймағының кеңістігінде орын алады. Резонатордың соңынан ығу D кеңістігінде жылдамдығы бойынша модуляцияланған электрондар ағыны біртіндеп тығыздық бойынша модуляцияланған ағынға айналады. Электрондардың осы ұйысқандары электрондарды кері қарай бұратын теріс зарядталған ($U_{шағ.}$ кернеуімен пайда болған) шағылдырғыштың кедергілеу өрісіне келіп түседі, және олар қайтадан көлемді резонатордың торларының арасымен саңылаудан өтеді.

Электрондар ағынының торлар арасымен кері өтуі ШЖЖ-тербелістерінің энергиясын көбейтеді, егер электрондардың шағылысқан шоғы резонаторға $3T/4$, $(3T/4+T)$, $(3T/4+2T)$ және т.б. уақыт аралықтары арқылы қайта оралады. Бұл уақытты керне-

улердің U_0 $U_{\text{шаф}}$ шамалы шектерінде өзгертуге болады. Демек, осылайша клистронның $f = 1/T$ генерациялау жиілігін азғантай шектерінде өзгертуге болады.

9.3. ТӨМЕНГІ ЖИІЛІКТІК САНДЫҚ ӨЛШЕУІШ ГЕНЕРАТОРЛАРЫ

Төмен жиіліктік сандық генераторларының метрологиялық сипаттамалары аналогтық генераторларымен салыстырғанда өте жақсы. Соның ішінде, олар орнатудың жоғары дәлдігімен және жиіліктің тұрақтылығымен, сызықтық емес бұрмаланулардың азғантай коэффициентімен (синусоидалы нысаны) және шығу дабылының деңгейінің тұрақтылығымен ерекшеленеді.

Сандық генераторлар кеңінен қолданылады, себебі, аналогтық түрлерімен салыстырғанда олар пайдалануға едәуір қолайлы, тез әрекеттенеді және көрнекілік индикациясы бар, сондай-ақ, талап етілетін жиілікті орнату айтарлықтай оңай. Сандық генераторларында жиілікті алдын-ала берілген бағдарламаға сай автоматты түрде ауыстыруға болады, және ақпаратты сандық құралдарымен өңдеу мүмкіндігі оңай сабақтастыруға болады. Сандық генераторларының әрекет ету принципінің негізінде әрі қарай аналогтық гармоникалық дабылына түрлендіруімен сандық кодты қалыптастыру жатыр. Соңғысы САТ арқылы үлгіленетін функциямен жуықталады.

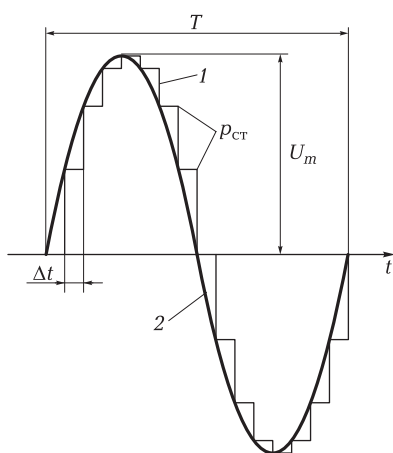
Жуықтаудың ең қарапайым түрі – бұл сатылық (9.9,а-сурет). Оның мәнісі келесідей, яғни, синусоидалы кисықтан айырмашылығы шамалы гармоникалық тербелісті сатылық нысандағы кернеумен ауыстыру. Жуықтамаланатын гармоникалық кернеу

$$u(t) = U_m \sin \omega t$$

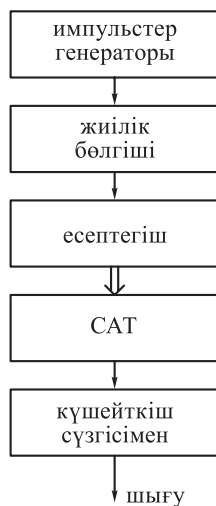
екі көршілес уақыт сәтін t_i және $t_i + 1$ бөлетін уақыты (қадамы Δt біркелкі дискреттеуінде) бойынша және аралығында дискреттеледі. Бұл синусоидалы тербелісті тұрақты токтың кернеуімен ауыстырады, яғни, биіктігі t_i сәтінде жуықталатын кернеудің мәніне тең болатын сатымен:

$$u(t_i) = U_m \sin \omega t_i$$

Осындай ауыстыру нәтижесінде синусоидалы нысанды кисықтың орнына 9.9-суретте көрсетілген сатылық сызығы шығады.



а



б

9.9 сурет. Төменгі жиіліктік сандық генераторы:

а — сигналдардың сигналдардың сандық генераторы синусоида (жуықталмаған), 2 — жуықталған қисық (синусоид); б — жеңілдетілген құрылымдық схемасы.

Синусоидалы тербелістің қолда бар T кезеңінде бір кезеңге келетін сатылар саны p дискреттеудің қадамымен анықталады:

$$p = T / \Delta t.$$

Егер техникалық ой-жүгіртулерінен сатылар саны берілген болса, онда дискреттеудің қадамының өзгеруі қалыптасатын кернеудің кезеңінің өзгеруіне әкеліп соқтырады, себебі.

Егер $t_i = i\Delta t$ болса, онда сатылық қисықтың теңдеуін келесідей ұсынуға болады:

$$u(i\Delta t) = U_m \sin(i\omega\Delta t)$$

немесе, p мәнін және $\omega = 2\pi/T$ ара-қатынасын ескере отырып, келесідей түрде жазуға болады:

$$u(i\Delta t) = U_m \sin(2\pi / p).$$

Сатылық қисығы нысаны бойынша синусоидаға дәлірек жақындаған сайын (жуықталудың олқылығы азаяды) таңдалған сатылар саны көп. Бұл сан жеткілікті ауқымды болғанда, қалып-

тасқан сатылық кернеуді жоғары жиіліктік аддитивтік кедергісімен шамалы дәрежеде бұрмаланған төмен жиіліктік кернеу ретінде қарастыруға болады.

Сатылық жуықталу арқылы алынған кернеудің спектралдық талдаумен спектрдің құрамында негізгі жиіліктің гармоникасы бар. Фурье қатарына жіктелуі көрсеткендей, ең жақын жоғары гармоникасы болып $(p-1)$ құраушысы болады, келесі гармоника $(p+1)$, содан соң – гармоникалар $(2p-1)$ және $(2p+1)$ және т.с.с. Мысалы, $P = 25$ және негізгі гармониканың кернеу жиілігі f болғанда, ең жақын жоғары гармоникалары 24, 26 және 49, 51 гармоникалары болады, яғни, сызықтық емес бұрмаланулардың өте төмен коэффициентімен (гармоникалар коэффициенті) синусоидалы кернеуді алу керек.

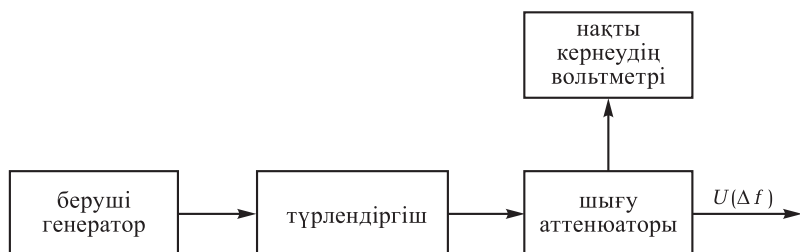
Сатылық қисықты қалыптастыратын сандық генераторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы 9.9, б-суретінде келтірілген. Импульсты кварцты генераторы қысқа импульстар тізбектілігін өндіреді кезектілік кезеңі T болуымен. Реттелетін бөлу коэффициентімен g жиіліктің бөлгішінің шығуында дискреттеу кадамын беруші кезектілік кезеңі $\Delta_t = gT$ импульстар тізбектілігі пайда болады.

Импульстер сыйымдығы p есептегішіне келіп түседі. Есептегіште жинақталған импульстер санымен анықталатын i кодтық комбинациясы САТ схемасына беріледі. Импульстер p жиналған соң есептегіш лық толып кетеді және нольденеді. $(p+1)$ импульсының келуімен сатылық қисықтың жаңа кезеңінің қалыптасуы басталады.

Қалыптастырылатын тербелістің жиілігін сатылар рст саны тіркелуімен реттейді, дискреттеу Δt кадамын өзгерте отырып, ал бұл жиілік бөлгішінің g бөлу коэффициентін өзгерту арқылы қол жеткізіледі.

9.4. ШУЫЛ СИГНАЛДАР ГЕНЕРАТОРЛАРЫ

Шуыл сигналдар генераторлары (шуылды генераторлары) берілген белгілі (берілген) ықтималдылық сипаттамаларымен флуктуациялық кернеуді қалыптастыру үшін арналған. Беруші



9.10 сурет. Шуыл генератордың құрылымдық схемасы.

генераторы, түрлендіргіш, шығу аттенюаторы, қолданыстағы кернеудің вольтметрі кіретін шулы генератордың құрылымдық схемасы 9.10-суретінде келтірілген. $U(\Delta f)$ параметрі кернеудің тербеліс жиілігіне байланысты өзгеруін көрсетеді.

Шуыл генераторының негізгі түйіні болып беруші генераторы табылады. Оның сигналдары жиіліктердің барлық талап етілетін қуаттың біркелкі спектралды тығыздығы болуы тиіс (теориялық – ақ шу). Беруші генераторында математикалық талдау арқылы зерттеу қиынға түспейтін статикалық сипаттамаларымен және параметрлерімен жеткілікті қарқынды шулары пайда болатын физикалық құбылыстары пайдаланылады.

Шудың үлгілік көзі ретінде қызған сым резисторы қызмет ете алады, ол физика курсының белгілі формуласынан есептелетін кернеудің тиімді мәнін береді

$$U^2 = 4kTR\Delta f,$$

мұнда k – Больцман тұрақтысы, $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – резистордың абсолюттік температурасы Кельвин градусымен, R – резистордың кедергісі; Δf – өткізу жолағы.

Құрылымдық тұрғыдан алғанда, резистор керамикалық арқалығына оралған вольфрам шығыршығы түрінде орындалады, оның температурасы тұрақты болып қалады. Жылылық шуыл қуатының көздеріне болометрлік генераторы да жатады. Болометр – вольфрамды жіп тартылған вакуумдық шыны баллоны.

Жылулық шуыл көздері шуыл кернеулерінің үлгілік генераторларының түрінде пайдаланылады, себебі олардың есептілік деректері эксперименталдық нәтижелерімен жақсы келісімделеді. Сонымен қатар, шуылды генераторларында фотоэлектрон-

ды көбейткіштері, газразрядты түтіктері, шуылды диодтары және т.б. қолданылады. Шуыл генераторларында спектрді түрлендіргіші ретінде күшейткіштер, сүзгілер, шектегіштер, ауыстырылатын жиіліктер генераторлары пайдаланылады.

Осылайша, түрлендіргіш ретінде белгілі беріс коэффициентімен сүзгіні қолданып, ақ шуыл генераторынан берілген заң бойынша жиіліктердің анықталған диапазонында өзгеретін қуаттың спектралды тығыздығымен стационарлық кездейсоқ үдерісінің генераторын алуға болады. Генератордың шығу құрылғысының маңызды элементі болып шудың жиіліктерінің барлық жолағының бойымен қуат бөлудің бірдей коэффициентін қамтамасыз етуге тиіс калибрленген аттенюатор табылады. Шығу қуатының деңгейін бақылау үшін генератордың схемасына нақты мәні бар вольтметрі кірістіріледі.

Төмен жиіліктік шу генераторлары 20 Гц-ден 10 МГц-ге дейінгі диапазонда жұмыс істейді және 5 Вт дейін қуат береді. Шамадан жоғары жиіліктік генераторларында жұмыс диапазонының жиілігі 37 ГГц дейін жоғары болады, және синусоидалы генераторлар сияқты бір диапазонды жиілігі бойынша шағын жабынымен орындалады.

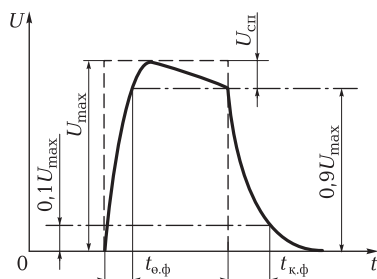
9.5. ИМПУЛЬСТІК ГЕНЕРАТОРЛАР

Импульстік (бәсеңдегіш) генераторлары импульстердің кезеңді тізбектілік генераторлары және импульстердің кодтық топтар генераторлары болып бөлінеді. Тік бұрышты импульстер генераторлары кеңінен қолданылады.

Импульстің ақиқатты нысаны тік бұрыштысынан біршама ерекшеленеді және түрі 9.11.-суретінде көрсетілген. Импульстің нысанында техникалық құжаттамасында көрсетілген мәндерінен аспауы тиіс ауытқушылықтары бар.

Әдетте тікбұрышты импульстер келесі негізгі параметрлермен сипатталады:

- $0,05 U_{\max}$ аспауы тиіс амплитудалық мәні $U_{\max}$ және ұшының құлдырау кернеуі $U_{\text{сп}}$,
- өсу фронтының ұзақтылығы $t_{\text{о.ф}}$, яғни лездік мәні амплитудалық $U_{\max}$ 0,1-ден 0,9 дейін уақыт аралығында өсетін (бұл уақыт 0,1...0,2 құрайды импульстің бүкіл ұзақтылығында болады)



9.11-сурет. Ақиқатты тік бұрышты импульстің параметрлері

- құлдырау фронтының ұзақтылығымен $t_{к,ф}$, яғни, кернеудің құлдырау уақытымен $0,9$ -дан $0,1$ U_{max} (бұл уақыт импульстің енінің $0,2 \dots 0,3$ құрайды).

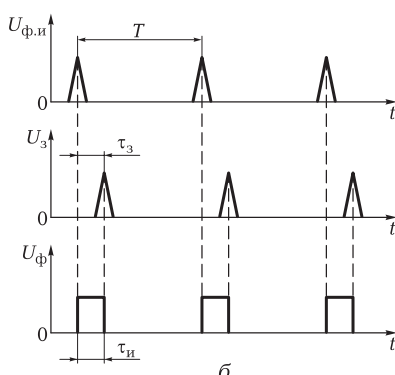
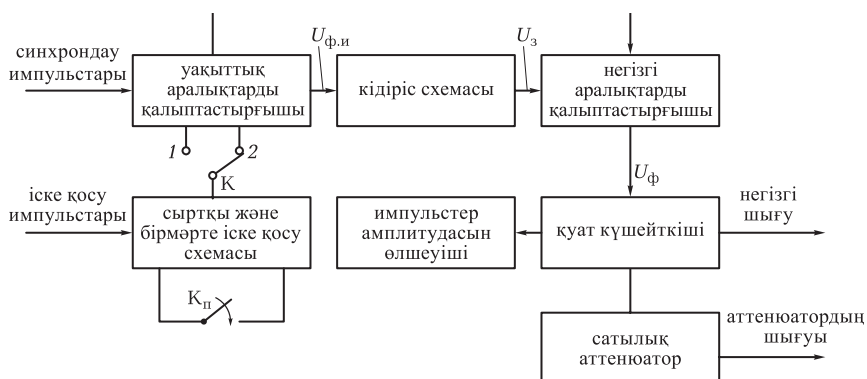
Импульстің негізгі параметрі болып импульстің ұзақтығы табылады.

Тұрақты ұзақтығымен, тік фронтарымен және тегіс ұшымен тік бұрышты импульстерінің қалыптасуы автотербелісті және күту режимінде жұмыс істейтін мультидірілдеткіштерді және блокинг-генераторларын қамтиды. Мультидірілдеткіштерінде аталмыш сипаттамаларына жиілікті кварцты тұрақтандыруды қолдану есебінен қол жеткізіледі.

Импульстік генератордың жеңілдетілген құрылымдық схемасы және оның жұмысының уақыттық диаграммалары 9.12-суретінде келтірілген.

Уақытша аралықтарды қалыптастырғышы (9.12, а-сурет) автотенератор режимінде (1-қалыптағы K кілті) немесе күту режимінде (2-қалпында K кілті) жұмыс істейді. Бір мәрте іске қосу іске қосу батырмасы K_p (қолмен іске қосу) арқылы жүзеге асырылады. T аралығы $f = 1/T$ импульсінің жол жиілігін анықтайды. Импульстардың ұзақтығы сол аттас схемасындағыдай, яғни, $\tau_n = \tau_z$ кідіру уақытына байланысты (9.12, б-сурет).

Тікбұрышты импульстардың ұзақтығына байланысты импульстік генераторлар микро- және наносекундтық импульстарға бөлінеді. Импульстік генераторлардың дәлдік кластары амплитуда, жол жиілігі мен импульстің ұзақтығы бойынша жеке-жеке орнатылады. Сонымен қатар, генераторды пайдалану жөніндегі құжаттамасында өсу фронтының ұзақтығы $t_{0,ф}$ және



9.12-сурет. Импульстік генератор:

а – құрылымдық схемасы; б – уақыттық диаграммалары.

құлдырау фронтының ұзақтығы $t_{к.ф}$ көрсетіледі. Амплитудалық мәні бойынша дәлдік кластары келтірілген қателігі арқылы орна-
тылады, ал қалған параметрлері бойынша – өлшенетін шаманың
салыстырмалы қателігі арқылы. Сол арада уақытша параметр-
лерді орнату қателіктері орташа алғанда бірнеше пайызға жетеді.

9.6. ЖИІЛІК СТАНДАРТТАРЫ. ЖИІЛІК СИНТЕЗАТОРЛАРЫ

Жиілігі және фазасы бойынша тұрақты өлшеу сигналын
қалыптастыру кварцты генераторларының көмегімен жүзеге
асырылады. Шығу сигналының жиілігінің осы ұзақ уақытты
тұрақсыздығы элементтердің көнеленуімен байланысты және ол
кварцты генераторлары үшін келесідей: жұмыстың 1-аптасын-

да – 10^{-7} , ал екі айдан кейін – шамамен 10^{-6} құрайды. Жиіліктің кварцты стандарттары едәуір жоғары көрсеткіштеріне ие, яғни; олардың тұрақсыздығы $10^{-8} \dots 10^{-9}$ шектерінде болады.

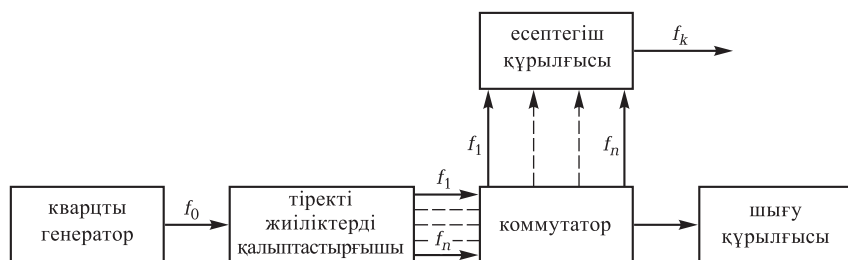
Жиіліктің едәуір жоғары тұрақтылығын (10^{-12} тәртібіндегі тұрақсыздық) атомдардың энергетикалық жағдайдың бір түрінен екінші түріне айналған кездегі әрекет етуі белгілі химиялық элементінің атомдарының электрмагниттік сәулеленуді пайдалануға негізделген жиіліктің квантты-механикалық стандарттары қамтамасыз етеді. Нақты электрмагниттік сәулелену негізінде сутекті, цезийлі және рубидий генераторлары жасалған.

Кварц генераторлары мен жиіліктік стандарттар тек бірнеше (шамамен 3) жиілік мәндері үшін жоғары тұрақты сигналдарды қалыптастыруды қамтамасыз етеді. Қажет болған жағдайда генерацияланған жиіліктердің үлкен жиынтығы кварц жиілік синтезаторларын қолданады.

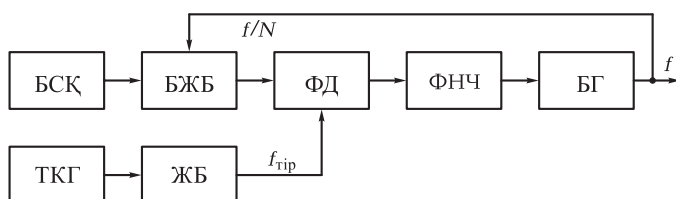
Жиіліктің кварц синтезаторлары – жиіліктің дискреттік қайта құрылуымен гармоникалық тербелістердің көп жиілікті генераторлары. Жиіліктің синтезаторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы 9.13.-суретінде келтірілген. Схеманың ішіне жиіліктің f_0 кварц генераторы, $f_1 \dots f_n$ тірек жиіліктерін қалыптастыру құрылғысы, қажетті жиіліктегі сигналдың шығуына қосылатын коммутация f_k жиілігімен ажыратып-қосушы құрылғысы, есептеуші және шығу құрылғысы кіреді.

Синтезаторлар дискреттілігі (жиілік торларымен) герцтың ондық және жүздік үлесіне дейін тіркелген жиіліктердің кернеулерін алуға мүмкіндік береді.

Жоғары сапалы кең диапазонды өлшеу генераторларында жиіліктің жоғары тұрақтылық және оны тез қайта құру мүмкіндік талаптары сыйымсыз болып табылады. Осыған байланысты жиілік синтезаторларын жасақтаған кезде жиіліктік диапазоны-



9.13-сурет. Жиіліктің аналогтық синтезаторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы.



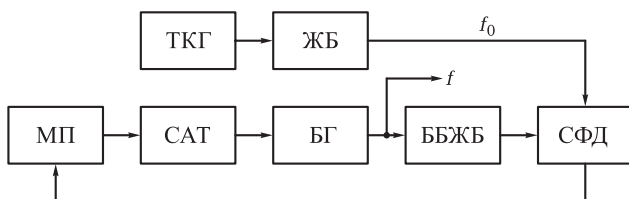
9.14-сурет. Жиіліктің аналогтық синтезаторының құрылымдық схемасы сандық басқарумен.

ның дискретті аражабынға ауысады, *дискретті тордың қадамы* деп аталатын, мұнда бір бірінің соңынан ілесетін анықталып, тіркелген аралығымен кез келген жиіліктердің жиынтығына сигналдарды генерациялауға рұқсат беріледі.

Аналогтық синтезатордың сандық басқарумен құрылымдық схемалардың бірі 9.14-суретінде келтірілген. Синтезатордың ішіне ТКГ тіректі кварц генераторы, басқарылатын жиілік бөлгіші (БЖБ), басқарылатын генератор БГ, фазалық детектор ФД жиілікті автоматты түрдетураулау тізбегімен және бағдарламаланын сандық құрылғысы БСК.

Фазалық детекторға екі тербеліс келеді: біріншісі – тұрақты жиілікпен f_t тіректі кварц генераторынан; екіншісі – басқарылатын генераторынан бөлу коэффициентімен N жиіліктің басқарылатын бөлгіші арқылы $f/N = f_n$ жиілігімен. Фазалық детектордың шығуынан кернеу ФКШ арқылы басқарылатын генераторына әсерін тигізеді және f/N және f_n жиіліктердің тепе-теңдігін қамтамасыз етілгенге дейін оны икемдейді. Бағдарланатын сандық БСК-мен бөлу коэффициенті N өзгерте отырып, қадамы $f_{тир}$ тең талап етілетін жиіліктер торын алуға болады. Әйтседе, синтезатордың шығу жиілігі тіректі кварц генераторының жиілігімен $f = Nf_{тир}$ байланысы болғандықтан, онда аталған жиіліктердің салыстырмалы тұрақсыздықтары тең болады. Егер осындай синтезаторында өте төмен жиілікті тұрақтандыру талап етілетін болса, онда тіректі кварц генераторымен және фазалық детекторы арасында қосымша жиілік бөлгішін ЖБ енгізу қажет.

Жиілік синтезаторының қарастырылып отырған қарапайым нұкасында бір қатар кемшіліктері бар. Олардың бірі генератордың басқарушы элементтеріне және фазалық детектордың ФД және ФКШ беріс коэффициенттеріне байланысты басқарылатын генератордың сихрондау жолағының енінің ақырғы шамасымен байланысты. Сондықтан жиіліктердің кең торын алу үшін басқарылатын генератордың меншікті жиілігін f өзгертіп отыруға тура келеді.



9.13-сурет. Жиіліктің аналогтық синтезаторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы.

Өзге кемшілігі ережеге сай импульстер есептігішінің негізінде құрылған жиіліктердің басқарылатын бөлгішінің БЖБ шектеулі мүмкіндіктерімен шартталады. Егер жиіліктің бөлгішіне кері байланысты енгізсе, онда есептегіштің санаттылығымен рұқсат етілген кез келген бүтінсанды мәндерін қабылдайтын оның бөлу коэффициентін өзгертуге болады.

Заманауи таратқыштарында жиіліктің бөлу коэффициентінің бөлшекті мәндерін пайдалануды талап тетеді. Жиілікті бөлшекті түрлендіру әдісі келесідей базалық схемасы бойынша жүзеге асырылатын сандық синтезаторларының заманауи жасақталымдарында жиі қолданылады (9.15-сурет).

Аталмыш синтезаторында бағдарламалық-басқарылатын жиілік бөлгішінің ББЖБ бөлу коэффициенті белгілі қызметтің уақыттық циклдарының тізбектілігін түзе отырып, уақытпен өзгереді. Алынған циклді бірнеше ішкі циклдарына бөлуге болады, олардың әр қайсында бөлу коэффициенті тұрақты болады. Бөлу коэффициентінің өзгеруі бір ішкі циклынан екіншісіне ауысқан сәтінде жүзеге асырылады.

Жиіліктің сандық синтезаторының схемасында сандық фазалық детекторы СФД, САТ және микропроцессор МП пайдаланылады. Шығу жиілігін баптауды әр циклдің аяғында жүзеге асырады. Бұл үшін жиілікті баптау кернеуі САТ-тан берілетін басқарылатын генераторы арналған. Басқару сигналы (қателіктер, келіспеушіліктер) тіректі кварц генераторынан ТКГ және басқарылатын генератордан БГ алынатын тербелістер фазаларының айырмасының цикл уақытындағы орташа мәніне сәйкес келеді. сандық фазалық детекторымен СФД өндіріледі және сандық жиіліктегі синтезатор тізбегіндегі СФД, САТ және микропроцессорлық МП-нің сандық фазалық детекторы пайдаланылады. Әр циклдің соңында шығу жиілігін реттеңіз. Бұл үшін басқарылатын генератор, САТ бастап жеткізіледі жиілігін реттеу кернеу болып табылады. бақылау сигнал (қате, сәйкессіздік) сан-

дық фазалық детектор СФД жинақталатын және анықтамалық кварц генератор лазер бақылау және СГ өндірілетін тербеліс фазасы айырмасы циклі уақыт орташа есеппен сәйкес келеді. Содан соң фазалық детекторынан ФД микропроцессорге МП сигнал беріледі, ал соңғысы САТ арқылы талап етілген жиіліктің берілген коды бойынша ББЖБ бағдарламалық-басқарылатын жиілік бөлгішінің схемасына бағдарламалық басқаруды жүзеге асырады.

Осындай жиілік синтезаторлары шығуда жиіліктің тұрақты мәндерін жеткілікті кең диапазонында алуға мүмкіндік береді.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Өлшеу генераторларын қалай классификацияланады?
2. Резистивті-ауқымды икемделуімен генераторлардағы гармоникалық тербелістерді қоздыру үшін қажетті шарттары қандай?
3. Аса жоғары жиілікті генераторлардың құрылысының ерекшеліктері қандай?
4. Сандық өлшеу генераторларының негізгі артықшылықтары қандай?
5. Сандық өлшеу генераторларының жұмысындағы жуықтау принципі қандай?
6. Шуыл генераторларын жасауда беруші генератордың принциптік ерекшелігі қандай?
7. Жиіліктің аналогтық және сандық синтезаторларының құрылысының ерекшеліктері қандай?
8. Заманауи жиілік синтезаторларындағы жиіліктің жоғары тұрақтылығына қалай қол жеткізіледі?
9. Кездейсоқ тербелістердің ерекшеліктері қандай?
10. Синусоидалы сигнал генераторларының жалпыланған схемасы қандай?
11. Стандартты сигналдар генераторының схемасының ерекшелігі қандай?
12. LC және RC индикаторларының құрылымдық схемалары қандай?

СИГНАЛДАР НЫСАНДАРЫН ЗЕРТТЕУ

10.1. НЕГІЗГІ МӘЛІМЕТТЕР

Қазіргі таңда сигналдың нысанын талдау үшін *электронды-сәулелік түтікті (ЭСТ) осциллографтары* жиі пайдаланылады. Аталмыш өлшеу аспаптары едәуір әмбебап аспаптарына жатады және электр сигналдарды визуалды бақылау және олардың параметрлерін өлшеу үшін арналған. Қазіргі таңда ЭСО әртүрлі үлгілері жасақталып, пайдалануда, яғни: әмбебап, жылдамдықтық, стробоскопиялық, жадында ұстайтын, арнайы.

Осциллографтардың ең кең тарағаны болып *әмбебап осциллографы* табылады. Олар ұзақтылығы наносекунд бірліктерінен бірнеше секундқа дейін милливольт үлесінен жүздеген вольт үлесіндегі диапазонындағы электр сигналдарының кең класын зерттеуге мүмкіндік береді. Заманауи әмбебап осциллографтардың жиіліктерді өткізу жолақтары 300...400 МГц кұрайды. Сигналдың экрандағы бейнесі іс жүзінде кіругегі сигналдың пайда болуымен бір уақытта көрінеді, сондықтан аталмыш аспаптары нақты уақыттағы осциллографтары деп аталады.

Тез өтетін үдерістерді (мысалы, ұзақтығы нано-пикосекундты) зерттеу үшін негізгі түйіні қумалы толқынның арнайы ЭСТ табылатын жылдамдықтық осциллографтары қолданылады. Жылдамдықтық осциллографтарында, ережеге сай, кіру сигналының алдын-ала күшейтуі жүзеге асырылмайды, сондықтан олардың сезімталдығы шамалы. Аталмыш аспаптар сонымен қатар нақты уақыттың осциллографтары болып табылады, олар дара, сондай-ақ, кезеңді сигналдарды бақылауға суретке түсіруге мүмкіндік береді.

Қайталанатын қысқа мерзімді үдерістер стробоскопиялық осциллографтарымен зерттеледі. Осы осциллографтардың жұмыс

жасау принципі бойынша уақыттық масштабты түрлендіруі бар аспаптарына жатады және жиіліктердің жоғары сезімталдығымен және кең жұмыс жолағымен (25 ГГц дейін) ерекшеленеді.

Арнайы ЭСТ пайдаланылатын жадында сақтаушы осциллографтары осциллографтың кірісінен сигналды шығарып алған соң ұзақ уақыт бойына сигналдың бейнесін сақтау және жаңғырту қабілетіне ие. Жадында сақтаушы осциллографтардың негізгі тағайындалымы болып бір еселік және сирек қайталанатын уақыттық үдерістерін зерттеу табылады.

Арнайы осциллографтар мақсаттық тағайындалымындағы қосымша блоктарымен жарақтандырылады. Осциллографтардың осы тобына бейненің берілген жолдың бейнесигналын бөлуге мүмкіндік беретін телевизиялық осциллографтары, және сигналды бақылап қоймай, оны әрі қарай өңдеу үшін компьютерге сандық түрінде беру мүмкіндігін беретін сандық осциллографтары да бар. Арнайы осциллографтары кернеуді, токтарды және кедергілерді (мультиметрлер) өлшеу блоктарымен, сондай-ақ, жартылай өткізгіш аспаптардың вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу құрылғыларымен жабдықталған.

Экранда бір уақытта бақыланатын сигналдар саны бойынша осциллографтар *бір- және көпарналы* болып бөлінеді. Бірнеше кіру сигналдарының экрандағы бейнелердің қиыстырылуы арнайы көп сәулелі түтігін пайдалануымен немесе осциллографты электронды коммутаторы арқылы әртүрлі кірулеріне кезең-кезең ажыратып қосу арқылы қол жеткізіледі.

10.2. ӘМБЕБЕАП ОСЦИЛЛОГРАФТЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СХЕМАСЫ

Әмбебап осциллографы деп зерттелетін электрлік сигналы тіке ауытқу арнасы арқылы ЭСТ ауытқушы жүйесіне берілетін, ал түтіктің электронды сәулесінің көлденең ауытқуы көлденең жаймасының кернеуінің көмегімен жүзеге асырылатын өлшеу аспабы аталады.

Әмбебап осциллографтың жеңілдетілген құрылымдық схемасы 10.1-суретінде келтірілген. Осциллографтың құрамына ЭСТ және тіке және көлденең ауытқулардың арналарынан басқа келесідей функционалдық блоктары кіреді, яғни: жаймалауды синхрондау және іске қосу құрылғысы, сәулесін модуляциялау арнасы МА, қосалқы құрылғылары және қоректендіру көзі. ЭСТ шыны баллонның ішінде қыздыру катоды К, модулятор (тор) М, фокустенуші анод A_1 , үдетуші анод A_2 , екі жұп өзара перпенди-

куляр ауыткитын тілімдері, мұнда X – көлденең, ал Y – тік тілімдері.

Сәуленің тіке ауытқу арнасының Y құрамына аттенюатор, кідіріс сызығы және күшейткіш (10.1.-суретін қараңыз). Y арнасы Y кірісіне берілетін зерттелетін сигналдың $u_c(t)$ Y тіліміне беру үшін қолданылады. Арнаның аттенюаторы $u_c(t)$ -сигналын белгілі сан рет әлсіздендіру үшін арналған. Кідіріс сызығы реттелетін болып табылады және сигналдың кідіріспен көлденең жайылмалы U_x кернеудің басына қатысты Y тіліміне берілуін қамтамасыз етеді. Күшейткіш экранда тіпті шағын зерттелетін $u_c(t)$ сигналымен талап етілетін ауытқуына жеткілікті Y тілімдеріндегі сигналдың амплитудасының алынуын қамтамасыз етеді.

Өз кезегінде, тіке ауытқу Y арнасының күшейткішінің құрамына келесідей буындар кіреді (олар 10.1.-суретінде көрсетілмеген), яғни: кіріс күшейткіші өзгертін күшейту коэффициентімен $K_{\text{күш}}$, кідіріс сызығы және зерттелетін сигналдардың жоқ болуымен экранның ортасында жарық таңбасының қалпын қамтамасыз ететін қосфазалы (қарсы фазалық шығу сигналдарымен) күшейткіш. Сәуленің тіке ауытқу арнасына амплитуда калибраторы кіреді (10.1.-суретінде көрсетілмеген). Сигнал калибратордан күшейтудің берілген коэффициентін $K_{\text{конд1}}$ орнату үшін күшейткіштің бірінші кірісіне келіп түседі. Бұл ретте осциллографтың экрандағы масштабтық торының бөлу В/бөлубағасын келесі формуласымен анықтауға болады:

$$m = \left| \frac{U_K}{K_{\text{конд1}} n_K} \right|,$$

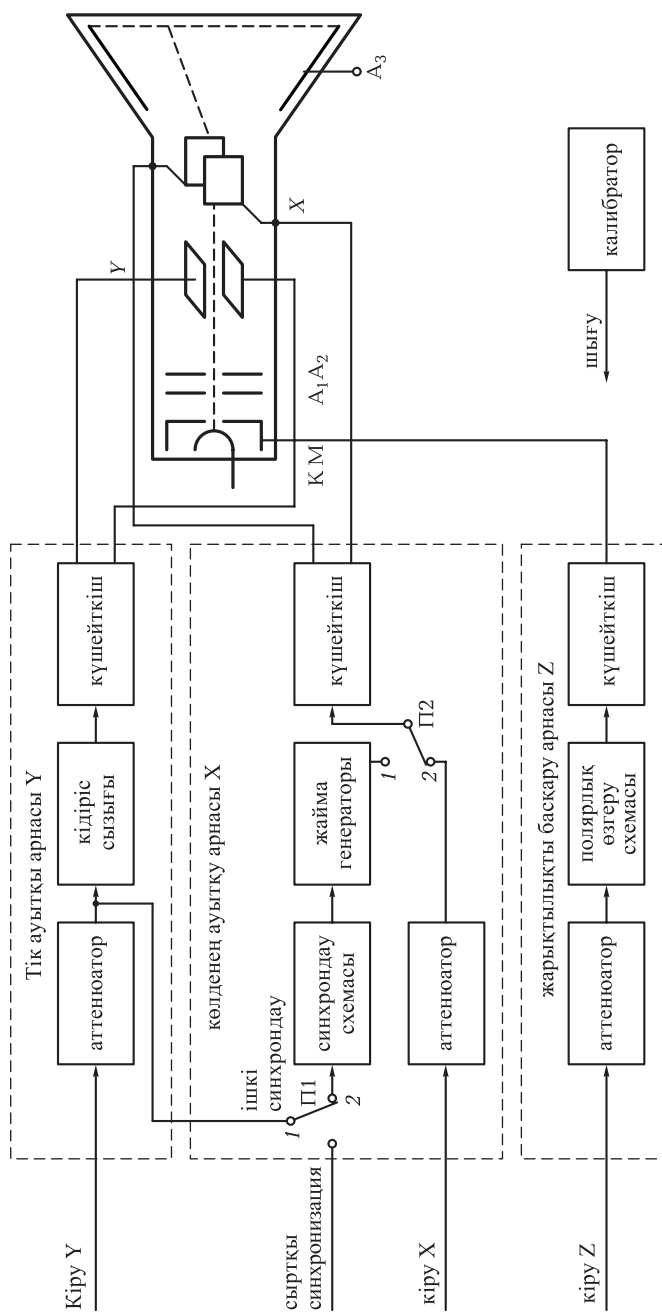
мұнда, U_K - калибратор кернеуі; $K_{\text{орн1}}$ – күшейткіш реттегішінің бір қалыптағы күшейту коэффициенті; n_K – калибрлеу сигналының бейнесі бар тор бөлінімдерінің саны.

Аттенюардың бөліну коэффициентін k_A ескеруімен. масштабты тордың бөліну бағасы $c_A = ck_A$ болады. Егер жұмыс үдерісінің барысында параметр c тұрақты болып қалатын болса, онда c_A шамасы аттенюатордың дискретті ажыратып қосқышында көрсетіледі, іс жүзінде де осылай жасалады. Тіке ауытқу арнасының негізгі сипаттамалары болып 100 МГц шамасындағы жоғарғы шекаралық жиілігі және сезімталдығы табылады:

$$S_y = k_A k_{\text{орн}} S_{\text{күш}},$$

мұнда, $S_{\text{күш}}$ – күшейткіштің сезімталдығы.

$k_A = 1$ тең болғанда сезімталдық шамамен 1 мм / мВ құрайды.



10.1-сурет. Әмбебап осциллографтың жеңілдетілген құрылымдық схемасы.

X-сәулесінің көлденең ауытқу арнасы жаймалау генераторының кернеуі арқылы көлденең ауытқитын – жаймаланатын кернеуді U_x құру және зерттелетін сигналдың *X* тіліміне (аттенюатор және күшейткіш арқылы) беру үшін пайдаланылады. Синхрондау схемасы жаймалау генераторына (нақты жылжымайтын осциллографты алу үшін) келіп түсетін синхрондау сигналының қалыптастырылуын қамтамасыз етеді. Арнаның күшейткіші жайма сигналын $U_{\text{ж}}$ күшейтеді және оны U_x түрлендіреді.

Көлденең ауытқу арнасы сезімталдығымен және тіке ауытқу арнасындағыдан екі есе аз жиіліктерді өткізу жолағымен сипатталады. Арнадағы негізгі блогы болып неғұрлым үздіксіз, соғұрлым күту режимінде жұмыс істейтін жайма генераторы табылады. Генератордың ара тәрізді кернеу нысанына келесідей талаптары қойылады:

- сәуленің кері жүріс уақыты тіке жүрістің уақытынан едәуір аз болуы тиіс, яғни: $T_{\text{кері}} \ll T_{\text{тіке}}$, кері жағдайда сигналдың бейнесі жоқ болады;
- экрандағы бейне жылжымайтын болуы үшін осциллограмма әрқашан экранның және сигналдың үнемі бір нүктесінен басталуы тиіс. Бұл жайма кернеуінің сигналдың кернеуімен синхрондау арқылы қол жеткізіледі, сондықтан жайма кезеңі зерттелетін сигналдың кезеңіне тең немесе еселікті болуы тиіс:

$$T_c = nT_c,$$

мұнда, $n = 1, 2, 3, 4$ және т.б. T_c - сигнал кезеңі;

- жайманың кернеуі сәуленің түзу жүрісінде сызықтық болуы тиіс, әйтпесе, сәуле экранның бойымен әртүрлі жылдамдықпен жылжитын болады, осылайша, *X* осі бойымен уақыттық масштабының біркелкілігі бұзылады.

Осциллографтың *Z* арнасы (жарықтылықты басқару арнасы) *Z* кірісінен ЭСТ басқарылатын кірісіне беру үшін қолданылады, сәуленің тогын модуляциялайды, және, демек, люминофордың жарықтану жарықтылығы. Осы арнаның құрамына: аттенюатор, кернеуліктің өзгеру схемасы және күшейткіш *Z* кіреді.

Калибратор осциллографты калибрлеу үшін амплитудасы, ұзақтығы және жиілігі белгілі импульсты кезеңді сигналдарды қалыптастыру үшін арналған. Сонымен, зерттелетін сигналдың параметрлерінің дұрыс өлшенуін қамтамасыз етіледі.

Осциллографтағы жаймалар түрлері. Осциллографтың негізгі түйіндерінің бірі болып шығу элементтері болып екі жұп тілімдері табылатын электроды-сәуленді түтігі табылады. Тілімдер арнайы жайманың көмегімен сәулені көлденең және тіке бағыттарында ауытқытады.

Жайма – тек қана бір жаймалау кернеуінің әсер ету нәтижесінде зерттелетін сигналдың жоқ болуымен экранда сәуле сызатын сызықтың түрі. Егер жаймалаушы кернеу ауытқитын тілімдердің бір жұбына келтірілген болса (әдетте X тілімдеріне), онда жайманы жаймалаушы кернеудің нысаны бойынша, мысалы, *сызықтық немесе синусоидалы* деп атайды. Егер жаймалау кернеулері осциллографтың ауытқушы X және Y тілімдеріне бір уақытта келтірілген болса, онда жайманың атауы оның нысаны бойынша беріледі, яғни, мысалы, *дөңгелктенген немесе эллиптикалық*.

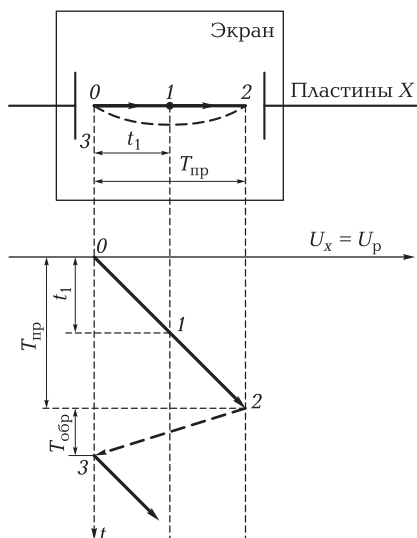
Жайма генераторының ара тәрізді кернеуімен U_p құрылатын сызықтық жайма кеңінен пайдаланылады. Осциллографтың жұмысының әртүрлі режимдерін қамтамасыз ету үшін жайманың бірнеше түрлері бар. Олардың бір қатарын қарастырайық.

Автотербелмелі жайма – жайма генераторы оның кірісінде іске қосу сигналының жоқ болуымен кезең-кезең іске қосылып отыратын жайма.

Күту жаймасы – жайма генераторы тек қана іске қосу сигналымен қосылатын жайма.

Бір мәртелік жайма - жайма генераторы артынша бұғатталуымен тек бір рет іске қосылатын жайма.

Ара тәрізді кернеудің U_x көлденең ауытқитын тілімдеріне фокусталған электронды сәулесін берген кезде осы



10.2.-сурет. Уақыттық масштабтың экранының көлденең осінің бойымен құрылуын түсіндіретін диаграмма:

0,1,2,3 – сәуленің тік және кері жүрісінің ұзақтығын көрсететін нүктелері.

кернеудің әсерінен сәуле сол жақтан оңға қарай $T_{\text{пр}}$ аралығында (0,1,2 нүктелері – сәуленің тік жүрісінің ұзақтығы) және оң жақтан солға қарай $T_{\text{кері}}$ аралығында (2,3 нүктелері – сәуленің кері жүрісінің ұзақтығы) жылжиды.

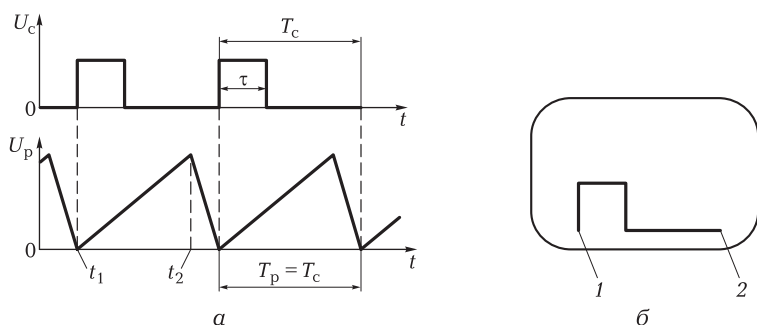
Осциллографтың ЭСТ көлденең ауытқитын тілімдеріне (X тілімдері) берілетін жайма кернеуі арқылы экранда Y тіліміне келіп түсетін және уақытта өзгеретін, яғни, уақыт бойымен жайылған зерттелетін сигналды бақылауға болады.

Автотербелмелі жаймасы кезеңді сигналдарды, сондай-ақ, шамалы қуыстылықтарымен импульсты сигналдарды зерттеу үшін қолданылады.

$$Q = \frac{T}{\tau}.$$

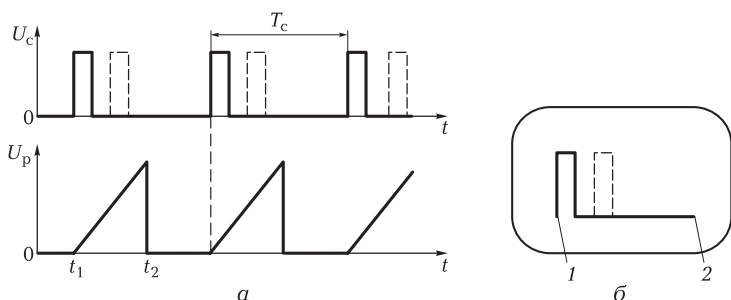
Аталмыш жайма сонымен қатар ішкі синхрондау үшін де қолданылады. Автотербелмелі жайманы қолдану мысалы 10.3.-суретінде көрсетілген. 10.3., а-суретіндегі схемасында зерттелетін сигнал U_c және жаймалаушы синхронды кернеу U_p , ал 10.3, б-суретіндегі схемасында – экрандағы бақыланатын осциллограмма-сы көрсетілген.

Автотербелмелі жаймалау кезеңді емес сигналдардың визуалдануын қамтамасыз етпейді және қуыстылығы Q үлкен кезеңді импульсты сигналдарды бақылау кезінде іс жүзінде пайдасыз (бұл импульстің алдыңғы және артқы фронттары әбден тұтасады). Мұндай жағдайда күту жаймасын пайдаланған жөн.



10.3 сурет. Автотербелімді жаймасын қолдану мысалы:

а – схемасы; б – экранда бақыланатын осциллограмма: 1 – жайманың басы; 2 – жайманың соңы



10.4 сурет. Күту жаймасының әрекет ету принципі:

а – д иаграмма; б – экранда бақыланатын осцилограмма: 1 – жайманың басы; 2 – жайманың соңы

Күту жаймасының әрекет ету принципі 10.4, а-суретінде келтірілген. Бұл жерде жайма генераторы U_c импульстары келген соң іске қосылады. Егер жайманың $t_2 - t_1$ тең болатын ұзақтығы зерттелетін сигналдың ұзақтығымен өлшемдестікте болса, онда оның экрандағы бейнесі толығымен бейнеленеді. Сигналдардың осциллограммаға бейнесін жақсарту үшін күту жаймасының басы U импульсының фронтына (алдыңғы секірісі) қатысты біршама кідіреді. Бұл жағдай әсіресе маңызды, егер импульс фронты өте қысқа болса. Бұл ретте ол осциллограммада көрінбеуі мүмкін. U_c сигналының қысқа фронтын бақылау үшін оны кідіріс сызығымен Y арнасында уақыт бойымен кідіртеді (10.4-суретінде U_c штрихты импульстер түрінде көрсетілген). Осындай жайманың осциллограммасы, сонымен қатар, экранда штрих-сызығымен бейнеленген (10.4,б-сурет).

Бір мәртелік жайма осциллографтың экранынан қайталанбайтын сигналдарды суретке түсіру үшін қолданылады. Бұл режимінде жайма генераторы зерттелетін сигналымен тек қана бір рет іске қосылады.

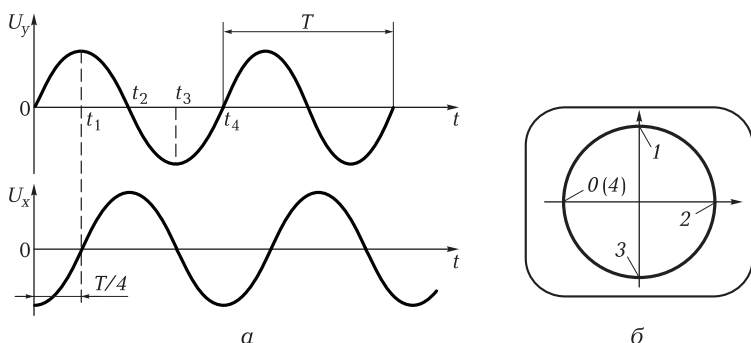
ЭСТ экранында дөңгелете жаймасын алуын қарастырайық, бұл үшін Y тіліміне синусоидалы сигналын беру керек:

$$U_y = U \sin(\omega t) = U \sin(2\pi t/T),$$

ал X тілімдеріне – нысаны бойынша ұқсас сигнал, бірақ уақытпен төрттен бір кезеңіне кідірістелген (фаза бойынша $\varphi = 90^\circ$ бұрышына, яғни сигнал:

$$U_x = U \sin[(\omega(t - T/4))] = -U \cos(\omega t).$$

Дөңгелетілген жаймасының осциллограммасының схемасы 10.5, а-суретінде ұсынылған, ал осциллографтың экранындағы дөңгелек жайманың түрі – 10.5,б-суретінде.



10.5 сурет. Дөңгелек жайманың осциллограммасы:

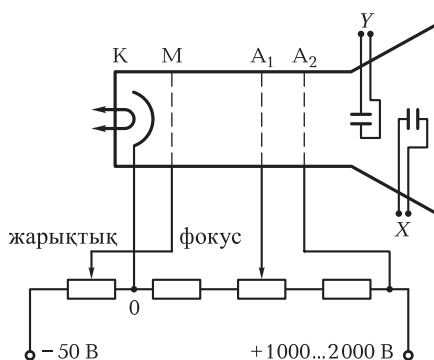
а – схема; б – экрандағы көрініс: а 0, 1, 2, 3 және 4 – ағымдағы уақыттың осіндегі нүктелер.

Жайманың U_y және U_x кернеулерінің әсерінен сәуле осциллографтың экранында кезеңге T тең уақыт ішіндегі шеңберді қалыптастырады. Экрандағы $t = 0$ уақыт сәтіндегі сәуленің қалпы 0 нүктесімен белгіленген, ал t_1 сәтінде 1 нүктесімен және т.б. Егер U_y және U_x сигналдар амплитудалары тең емес болса, онда эллиптикалық жайма пайда болады, яғни, экранда эллипс түзіледі. Мысалы, $U_y < U_x$ болғанда, эллипстің үлкен осі көлденең, ал кіші ось – тіке орналасады.

Электронды-сәулелік түтік. Фокусталған сәулені алу және сәулені басқару тәсілін 10.6.-суретінде келтірілген схемасы бойынша түсіндіруге болады. Қарапайым бір сәулелі түтік ішінде: қыздыру катоды К, модулятор (тор) М, фокусталатын анод А₁, удету аноды А₂, өзара перпендикуляр ауытқитын қос тілімі, мұнда Х - көлденең, Y – тік тілімдері бар вакуумды шыны баллон. Баллонның түбінің ішкі қабаты (экран) электрондармен бомбалау әсерінен жарқырайтын люминоформмен жабылған. К, М, А₁, А₂ электродтар жиынтығы электрондардың жіңішке шоғын шығаратын электрондық зеңбірек деп аталады. Бұл үшін электродтарға шамамен алған шамалары 10.6.-суретінде келтірілген кернеулер беріледі.

Қызған катодтың қасындағы электронды бұлт потенциалы жоғары А₂ анодтың әсерінен үдеп, экранға қарай ұмтылады. Электрондық сәуленің қарқыны тордың М потенциалымен, ал оның фокустануы – А₁ анодымен реттеледі.

ЭСТ негізгі сипаттамалары: сезімталдық, жиіліктерді өткізу жолағы, қалдық жарықтанудың ұзақтылы және экранның ауданы.



10.6-сурет. ЭСТ сәулесін басқару схемасы

Түтіктің сезімталдығы келесі формуласы бойынша анықталады:

$$S_T = \frac{L_T}{U_T}$$

мұнда, L_T – ауытқушы қос тілімдеріне келтірілген кернеудің U_T әсерінен түтіктің экранындағы сәуленің ауытқуы. Әдетте, S_T сезімталдығы шамамен 1 мм / В құрайды.

Зерттелетін сигналдың жиілігі арта бастағанда, түтіктің сезімталдығы төмендейді. ЭСТ жиіліктер өткізу жолағының жоғарғы шекарасы сезімталдық деңгейі номиналды мәнінің 0,7 шамасында болатын деңгейінде орнатылады. Кеңінен пайдаланылатын әмбебап осциллографтары үшін бұл жиілік 100 МГц жетеді.

Заманауи осциллографтарында электродтар саны көбейтілген көп сәулелі түтіктер жиі қолданылады. Іс жүзінде ауытқитын тілімдеріне (екіарналы осциллографтары) екі сигналды кезекпен кезек беру режиміндегі бір сәулелі осциллографтың пайдаланылуы көбіне қолайлы болып отыр. Бұл жағдайда түтіктің қалдықты жарықтану әсерінің және көздің қасиеттерінің есебінен экранда бір уақытта екі сигналдың бейнесінің пайда болуы бақыланады.

ЭСТ негізгі параметрлеріне келесідей жарықтық сипаттамалары жатады, яғни:

- жарықтығы оңтайлы болғанда ЭСТ рұқсат ету қабілеті анықталатын *жарықты дақтың диаметрі*;
- электрондық шоқтың тығыздығына байланысты және модулятордағы кернеуді өзгерту арқылы реттелетін *экранның жарқылының жарықтығы*;

- *экран жарқылының түсі.* Көздің аз шаршауын қамтамасыз ететін жасыл, сары түстерін жиі қолданады. Экраннан суретке түсіру үшін фотоматериалдар сезімтал болып келетін жарқылы көк түсті ЭСТ қолданады;
- *қалдық жарықтану уақыты.* Осциллограмманы визуалды жақсы қабылдау үшін экранның жарқылдау уақыты оған электрондардың әсер ету уақытынан асуы тиіс. Егер жиіліктері 10 Гц астам үдерістерді бақылау талап етілген болса, онда қалдық жарықтану ұзақтылығы 100 мс дейін болатын экран пайдаланылады. Фото тіркеу үшін қалдық жарықтануы аз (0,01 с) люминофор артықшылықта болады. Баяу өзгеретін үдерістерді зерттеу үшін қалдық жарықтануы 0,1 с астам болатын экрандары пайдаланылады.

Сәуленің түзу жүрісінде жайманың кернеуінің өзгеру тәуелділігі сызықты болуы тиіс, әйтпесе, 10.7, а-суретінде көрсетілген зерттелетін сигналдың бұрмаланулары пайда болуы мүмкін. U_Y параметрі тік тіліміндегі Y кернеуді көрсетеді; $U_{ж}$ – жайманың кернеуі; τ_1 , τ' , τ'' – импульстар ұзақтылығы және импульстер ұзақтылықтарының туындылары.

Электрондық сәуленің түзу жүрісінің жаймасының жұмыс учаскесінің сызықты еместігі *сызықтық еместік коэффициентімен* сипатталады:

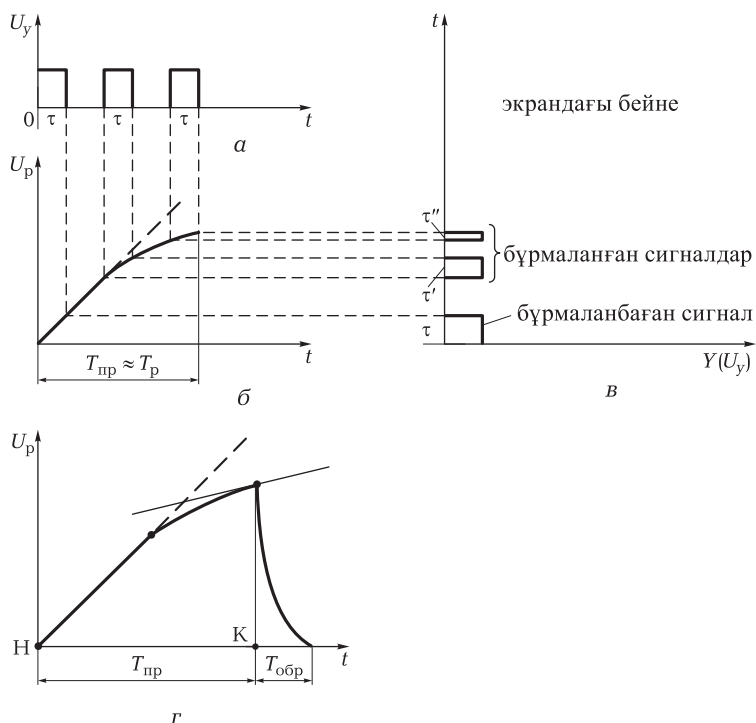
$$\gamma = \frac{\left(\frac{dU_p}{dt}\right)_H - \left(\frac{dU_p}{dt}\right)_K}{\left(\frac{dU_p}{dt}\right)_H} 100,$$

физикалық мағынасы 10.7, б-суретінде көрсетілген. Сызықтық еместік коэффициенті жайманың жұмыс жүрісінің

$H\left(\frac{dU_p}{dt}\right)_H$ басында және $K\left(\frac{dU_p}{dt}\right)_K$ аяғында кернеудің өсу жыл-

дамдығының салыстырмалы өзгеруін көрсетеді. Жайманың жұмыс учаскесінің сызықтық еместік коэффициентінің шамасы 1% көп емес. 10.7, в-суретінде жайманың басталуы схемасы, ал 10.7, г-суретінде – жайманың аяқталуының схемасы көрсетілген.

Аталған талаптарына жеңілдетілген құрылымдық схемасы 10.8-суретінде келтірілген жайманың тек қана идеалды генераторы жауап береді. Ток I көзінен T_{np} уақыттың ішінде үлкен сыйымдық C шексіз зарядталады ($i_{зар}$), содан соң өте қысқа уақыттың



10.7.-сурет. Сигналдың осциллограммасының бұрмалануы:

а – жайманың сызықты еместігінен бұрмалануы; б- сызықтық еместік коэффициенті ұғымына иллюстрациясы; в – жайманың басталуы; г- жайманың аяқталуы.

ішінде тұйықталған кілтте K разряд ($i_{\text{раз}}$) орын алады. Кілттің тұйықталу уақыты кері жүрістің $T_{\text{кері}}$ уақытына сәйкес келеді. Онда, жұмыс учаскесі үшін жайманың кернеуін $U_{\text{ж}}$ келесідей жазамыз:

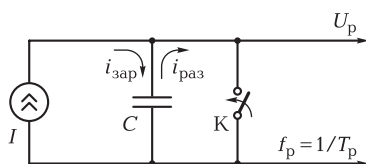
$$U_p = U_C = \frac{1}{C} \int_0^{T_{\text{пр}}} i_{\text{зар}} dt = \frac{1}{C} i_{\text{зар}} t \Big|_0^{T_{\text{пр}}},$$

яғни, сызықтық тәуелділігі орын алады.

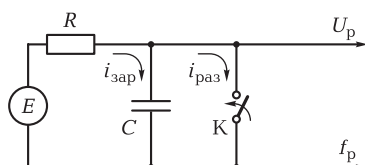
Жайманың нақты генераторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы 10.9-суретінде көрсетілген. 10.9.-суретіндегі схема үшін жұмыс уақытының ішіндегі конденсатордағы кернеудің өзгеруі келесі формуласымен анықталады:

$$U_C = E(1 - e^{-t/\tau})$$

мұнда, E – кернеу көзі; $\tau = RC$.



10.8.-сурет. Жайманың идеалды генераторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы



10.9.-сурет. Жайманың нақты генераторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы

Басқа сөзбен айтқанда, конденсатордығы кернеудің өзгеруі экспоненттік сипатты білдіреді. Осы тәуелділіктің едәуір сызықты учаскесі болып бастапқы учаскесі табылады, сондықтан сызықты өзгеретін жайманы алу үшін конденсатордағы $\tau \gg T_{np}$ болғанда кернеу өзгеретін бастапқы учаскесін тандайды. бұл дегеніміз, кернеу көзінің E жұмыс режимі ток генераторының жұмыс режиміне жақындауы тиіс.

Іс жүзінде коректендіру кернеуінің E шектеулі деңгейінде экранда сызықтық жаймасын ОУ интеграторларымен схемаларымен құруға болады (10.10.-сурет). Осылайша, 10.10.-суретіндегі схемасында операциялық күшейткішінің идеалдылығына байланысты ток $i_0 = 0$ тең болатын болса, онда токтар үшін тәуелділіктер i_R және i_C келесідей болады:

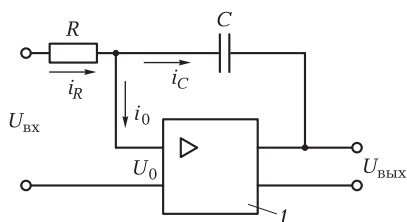
$$i_R = \frac{u_{вх}}{R}; \quad i_C = -\frac{Cd u_{вх}}{dt}.$$

Осы токтарды теңестіре отырып, түрлендірулерден кейін шығады:

$$u_{вх} = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_{вх} dt = -\frac{1}{\tau_0} \int_0^t u_{вх} dt$$

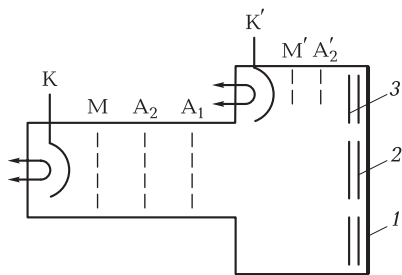
яғни, осы құрылғы операциялық күшейткішінде жайманың сызықты ықпалдандырылған кернеуін жүзеге асыратын болады. Схемادا көрсетілгендер: операциялық күшейткіш; R – резистор; i_g – резистор арқылы өтетін ток; $U_{кпр}$ және $U_{шығ}$ – кірістегі және шығудағы жайма кернеуі; C – конденсатор; i_C – конденсатор арқылы өтетін ток; U_0 – эталонды кернеу.

Жадында сақтаушы электронды-сәулелі түтіктері дара сигналдарды және қуыстылығы үлкен сигналдарды зерттеу үшін қолданылады. Аталмыш түтіктердің қолданылуы кең ЭСТ сияқты элементтері бар, бірақ тағы да жады түйінімен және бейнені жаңғырту жүйелерімен қосымша жарактандырылған. Жадында сақтаушы ЭСТ 10.11 суретінде көрсетілген. Жады түйіні экранға 3 параллель орналасқан екі торлы электродтарынан тұрады. Тікелей экранның алдында диэлектрик қабатымен жабылған ны-



10.10.-сурет. Операциялық күшейткіштегі жайма генераторы:

1 – жұмыс күшейткіші



10.11.-сурет. Жадында сақтаушы ЭСТ жеңілдетілген схемасы:

1 – коллектор; 2 – нысана; 3 – экран

сана 2 бар. Нысананың үстіңгі жағында құрылымы ірілеу тор түріндегі екінші электрод – коллектор жайғастырылған.

Бейне энергиясы жоғары электронды сәулесімен жазылады (жазып алушы сәуле) Кескін жоғары энергиялы электронды сәулемен (жазба сәулесі) жазылады. Сәуленің электрондары нысанаға барып қонады, осы арада, зарядтың көлемі сәуленің тогына пропорционал болады. Сәулені жылжитқанда нысанада осциллограмманың нысанын қайталайтын әлеуетті бедер құрылады. Сигналдың әсері тоқтаған соң нысананың әлеуетті бедері ұзақ уақыт сақталады.

Жазылған бейнені бақылауды қыздырғышты катод K , модулятор M және анодтан A тұратын жаңғыртушы жүйесі қамтамасыз етеді.(10.11.-сурет).

Түтіктің K катоды тығыздығы модулятормен реттелетін энергиясы шамалы электрондар ағынын құрайды. Нәтижесінде нысананы біркелкі етіп сәулелендіретін кең фокустандырылған электрондар шоғы қалыптасады. Нысана потенциалы жазылған бейне жоқ болғанда жаңғыртушы шоктың баяу электрондары ол арқылы өтіп кетпейтіндей таңдалады. Нысананың осы нүктелерінде әлеуетті бедердің болуымен электрондардың бір бөлігі экранға қарай өтіп кетеді, осылайша жарықтандыру пайда болады. Экранда нысананың әлеуетті бедерін қайталайтын осциллограмма пайда болады. Жазбалардың өшірілуі нысананың потенциалын теңестіретін коллекторға теріс импульсын беруімен жүзеге асырылады.

Осындай ЭСТ жұмыс режимінде үш сәтті бөліп айтуға болады:

1) коллектордағы шамалы оң кернеуімен $U_{\text{колл}} = 50 \text{ В}$, нысанадағы нөлдік потенциалымен $U_{\text{м}} = 0$, тез ұшатын электрондары

үшін нысананың мөлдірлігімен сипатталатын *сигналды жазу-сыз бақылау*;

2) *жазу режимі*. Оның коллектордағы кернеуі $U_{\text{колл}} = 50$ В, нысанадағы оң потенциалы $U_{\text{м}} = 30$, нысанадағы аз мөлдірлік. Нәтижесінде тез ұшатын электрондары екінші электрондарын ұрып түсіреді және нысанада ұзақ уақыт сақталатын зарядты оң бедер;

2) *жаңғырту режимі*. Оның параметрлері болып нысанадағы нөлдік потенциал $U_{\text{м}} = 0$ табылады, бедер жазылған жерлерінен басқа; нысананы жаңғырту жүйесімен қоса баяу ұшып келе жатқан электрондар ағынымен сәулеленеді. Осы ағыны үшін нысана стгнал жазылған тек қана бедерлі жерлерінде мөлдір болады.

Жадында сақтаушы ЭСТ негізгі параметрелері келесідей:

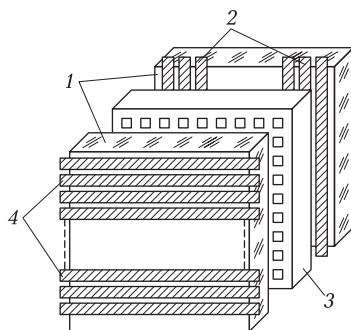
- *жаңғырту режиміндегі экранның жарқылының жарықтануы* – жаңғырту жүйесінің модулыторын кернеумен реттеледі және жоғары болуы мүмкін, себебі жаңғырту үздіксіз жүзеге асырылады;
- *бейнені жаңғырту уақыты* – негізінде әлеуетті бедердің ионды юомбалауға төзімділігімен шектеледі. Заманауи ЭСТ жаңғырту уақыты ондаған минөттерге жетуі мүмкін;
- *жазбаны сақтау уақыты* – ЭСТ кернеудің алынып тасталуымен анықталады;
- *жазба жылдамдығы* – жадында сақтау режимінде ЭСТ тез әрекеттенуін сипаттайды және шамасы жеткілікті болатын әлеуетті бедерін құруға қажетті уақытына байланысты. Заманауи ЭСТ сигналдарды жазу жылдамдығы 2,5-тен 4 000 км/с болады.

Матрицалық индикаторлық панелі. Бейнелеу құрылғылары саласындағы соңғы жетістіктердің бірі болып матрицалық индикаторлық панелі табылады. Ол белгілі реттілікпен орналастырылған жекелеген дискретті сәулелендіргіштердің жиынтығы (газразрядты, сұйықкристалды, қатты денелі және т.б.). матрицалық газразрядты панелінің құрастырылымы 10.12-суретінде көрсетілген.

Аталған матрицалық құрылғысында екі шыны тілімдері 1 бар, олардың сыртқы қабатында жұқа ток өткізгіш жолақтары – анодатр 2 және катодтар 4 тозандалған. Анодтар қасбет тілімінде орналасқан, ол арқылы жарық сәулеленуі өтеді, сондықтан оларды мөлдір етіп жасайды. Тілімдер арасында электродтардың қиылысқан нүктелерінде газразрядты (немесе басқа) ұяшықтар

10.12-сурет. Матрицалық газразрядты панелі:

1 – шыны тілімдері; 2-анод; 3 - матрица;
4 - катодтар

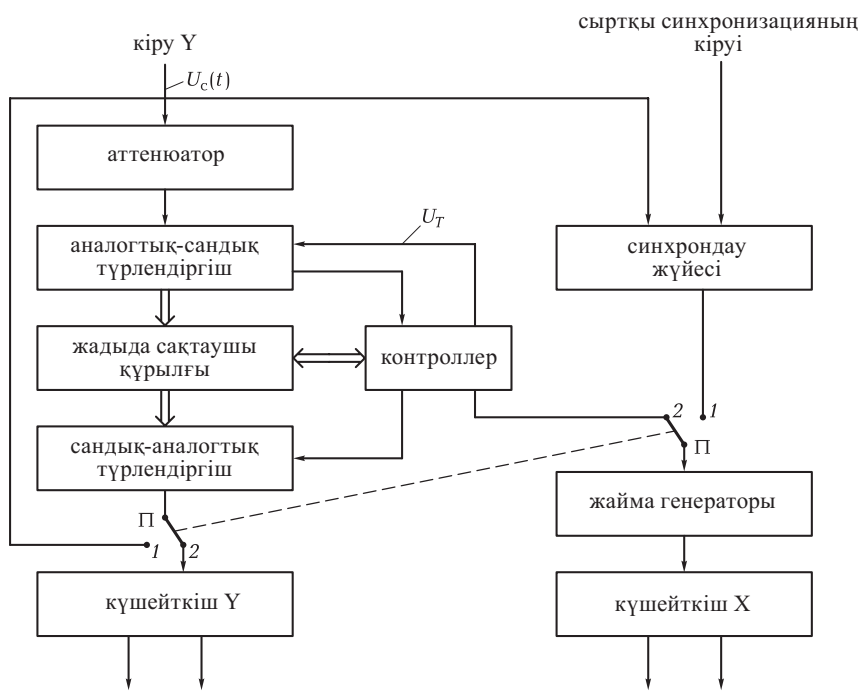


түзетін диэлектрлі матрица 3 тесіктерімен. Панель гелий-неон газ қоспасымен толтырылады, содан кейін герметизацияланады. Зерттелетін сигналдың бейнесі газразрядты ұяшықтарды кезек-кезек жарқырату есебінен жаңғыртылады. Бұл үшін панельді басқару схемасынан уақыттың әр сәтінде анодтар және катодтар тілімдеріне тиісінше тұтану кернеуінің оң және теріс импульстары беріледі. Тұтанудың кернеу импульсы берілетін анодтың нөмірі жайманың жолын анықтайды, ал катодтың нөмірі – бағанды. Олардың қиылысуында панельдің жарқырайтын ұяшығы орналасады. Жайманың сәулесімен басқарудың осындай принципі матрицалық деп аталады. Іс жүзінде ол сандық әдістерімен және құрылғыларымен жүзеге асырылады.

Матрицалық индикаторлық панельдерінің артықшылықтарына шағын габариттік өлшемдерін, шамалы салмағын, қоректендірудің төмен кернеулері және геометриялық бұрмаланулардың жоқтығы жатады. Басқарудың сандық принципі сигналдың бейнесін оның параметрлерін бір экранда сандық және әріптік индикациясымен үйлестіру оңайға түседі.

Матрицалық индикаторлық панелдердің кемшіліктеріне схемалық шешімдерінің күрделілігі, салыстырмалы жоғары емес рұқсат етуші қабілеттілігі және төмен тез әрекет етуі жатады.

Жадыда сақтаушы сандық осциллографтар. Соңғы жылдары өлшеу техникасында жадыда сақтаушы сандық осциллографтары кеңінен қолданылады. Аталмыш осциллографтың жеңілдетілген құрылымдық схемасы 10.13.-суретінде көрсетілген. Жадыда сақтаушы сандық осциллографы екі режимдерінде жұмыс істейді. Осылайша, егер қосарласқан ажыратып қосқышы П 1-қалпында болса, онда схема – әдеттегі әмбебап осциллографы болып табылады, ал 2-қалпында болса, онда схема жадыда сақтаушы сандық осциллографы ретінде жұмыс жасайды (10.13.-сурет). Оның жұмыс істеу принципі келесідей.



10.13-сурет. Жадыда сақтаушы сандық осциллографтың жеңілдетілген құрылымдық схемасы.

Зерттелетін сигнал $U_c(t)$ кірісінен Y аттенюатор арқылы АСТ ақпараттық кірісіне беріледі; АЦП контроллерден (басқарушы құрылымы) сондай-ақ, жол кезеңі s болатын тактілік импульстері U_T келіп түседі. Уақыттың t_i қайсы бір сәтінде АЦП импульстарының бірі сигналдың амплитудасын екі еселенген кодына $U(t_i)$ түрлендіреді, яғни, деңгейлер жиыны 0 және 1. Аталмыш түрлендірудің аяғында АЦП контроллерге тиісті сигнал береді. Осылайша алынған сандық коды жадыда сақтаушы құрылғысының белгілі ұяшығына беріледі.

Сигналды зерттеу уақытында $U_c(t)$ жады сақтаушы құрылғысында оның амплитудасының кодтары $U_c(t_i + T)$, $U_c(t_i + 2T)$ және т.б. жинақталады. Жадыда сақтаушы құрылғысында олар ұзақ уақыт сақаталады, себебі, ол энергияға тәуелсіз құрылғысы болып табылады. Сақталған ақпаратты жаңғырту үшін контроллердің командасымен жадыда сақтаушы құрылғысының жадыдан талап етілетін реттілікте және берілген қарқында кодтар тандалады (оқылады) және сандық аналогтық түрлендіргішіне

беріледі, соңғысы өз кезегінде әр код үшін оған тиісті кернеуді қалыптастырады. Аталмыш кернеулер күшейткіш арқылы тілімдерге Y беріледі. Нәтижесінде осциллограмма жарқырайтын нүктелер жиыны болады.

Жадыда сақтаушы құрылғылардың артықшылықтары келесідей, яғни: ақпаратты шектеусіз уақыт сақтау, ақпаратты оқу жылдамдығының кең диапазоны, жадыда сақталған сигналдың жекелеген учаскелерін баяу жаңғырту мүмкіндігі, нақты осциллограммалар, компьютерде немесе осциллографтың ішінде ақпаратты сандық түрінде өңдеу мүмкіндігі.

Жадыда сақтаушы сандық осциллографтардың негізгі кемшілігі – олардың көбі 1 немесе 10 МГц дейін жиіліктері бар сигналдарды жадыда сақтау мүмкіндіктері бар, себебі олардың салыстырмалы түрде АСТ тез әрекет етуі жоғары емес.

Екі арналы және екі сәулелі осциллографтар. Екі арналы осциллографтардың тіке ауытқудың екі бірдей (кіріс Y_1 және Y_2) арнасы және кезек-кезек арналардың шығу сигналдарын екі бірдей тілімдеріне Y беретін электронды ажыратып қосқышы бар.

Электрондық ажыратып қосқышының жұмысымен басқаруына қарай осциллографтың жұмысының келесідей негізгі режимдерін жүзеге асыруға болады, яғни:

- *бір арналы* – экранда Y_1 кірісіне немесе Y_2 кірісіне берілетін бір сигнал көрінеді;
- *кезекті* – электрондық ажыратқышты жайманың әр бір кері жүрісі барысында ажыратудан экранда бір мезгілде екі сигналдың екеуі де көрінеді.

Құрастырудың екіарналық принципінің негізінде арналар саны сегізге дейін болатын көп арналы осциллографтары құрылады.

Екі сәулелік осциллографтардың екі арнасы Y және арнайы екі сәулелі ЭСТ бар, соңғысының құрамына екі электронды тәуелсіз зеңбіректері және ауытқушы тілімдердің екі жүйесі кіреді. Бұл жағдайда электрондық сәулелердің көлденең жаймасы – ортақ (жайма генераторынан), ал тік – әр қайсысы «өзінің» арнасынан Y . Бұл экранда кезекті үзіліссіз екі сигналдың осциллограммаларын бақылау мүмкіндігі болады.

Әйтсе де, ережеге сай уақыттағы екі кіріс сигналдарының жаймасы ортақ болса, онда болып жатқан үдерістердің синхрондығын талдау, кідірістерді немесе сигналдар арасындағы фазалық ығысуларды бағалау мүмкіндіктері пайда болады. Аталмыш екіарналық ЭСО зерттеу, икемдеу, реле схемаларын, сандық схема-техникасының (мысалы, жадыда сақтаушы құрылғыларының элементтері, микропроцессорлық контроллерлері) түйіндерін жөндеу жұмыстарын жүзеге асыруға әсіресе қолайлы.

10.3. ЖЫЛДАМДЫҚ ЖӘНЕ СТРОБОСКОПИЯЛЫҚ ОСЦИЛЛОГРАФТАР

Қысқа импульстерді (наносекундты диапазонындағы сигналдар) және ЖЖ-диапазонындағы тербелістерді бақылау және зерттеу барысында әдеттегі осциллографтардың қолдануын күрделендіретін мәселелері пайда болады. Мамандар осы мақсатта әмбебап осциллографтарын қолдануға елеулі кедергі болатын негізгі алты себеп-салдарын анықтады, яғни:

1. Тілімдер сыйымдығымен және жетектеу сымдардың индуктивтілікпен, тілімдер кірістерін қоса, себептелген тізбектерде пайда болатын керексіз резонанстары. Бұл ретте керексіз резонансты жиілік зерттелетін сигналдың жоғары гармоникасынан едәуір көп болуы тиіс.

2. Импульс фронтының құламалығы ЭСТ тілімдер сыйымдығының әсер етуі.

3. 1-ден 10 нс дейінгі диапазонда болуы тиіс ЭСТ тілімдері арасындағы электрондардың ұшып өтудің ақырғы уақытының әсері.

4. Ұарнасын өткізудің өте кең жолағы болуы тиіс. Тік бұрышты импульсты беру үшін өткізу жолағы $\Delta f \approx 2/\tau_n$ формуласы бойынша есептелуі мүмкін. Онда импульстің ұзақтығы $\tau_n = 1$ болғанда, $\Delta f = 2$ ГГц.

5. Наносекундтық импульстерін және ЖЖ-тербелістерді бақылау қажеттілігі экран бойындағы сәуленің жоғары жылдамдығын талап етеді. Осылайша, ұзақтығы $\tau_n = 5$ нс, ені $L = 100$ мм болатын ЭСТ экранында сәуленің қозғалу жылдамдығы жоғары болуы тиіс, яғни, $V = 20000$ км/с, мұнда $V = L/\tau_n$ – сәуленің қозғалыс жылдамдығы; L – экрандағы кескіннің өлшемі.

6. Осциллографтың экранындағы сигналдың бейнесі өте ақшыл болуы мүмкін, себебі электрондық сәуле экранның бойымен үлкен жылдамдықпен қозғалады.

Уақыттың ақиқаты масштабында жұмыс істейтін жылдамдықтық осциллографтарында арнайы ЭСТ қолданылады, яғни, тіке ауытқу ($S_y \approx 1$ мм/В) арнасының жоғары сезімталдығын алуын қамтамасыз етпейтін *қума толқын түтіктері*. Жоғары жылдамдықты жаймаларды құру жайма кернеуін бірнеше жүз вольтқа көтеру қажеттілігімен байланысты мәселе болып табылады. Қолда бар сериялық жылдамдықтық осциллографтардың жоғары шекаралық жиілігі 10 ГГц астам.

Амплитудалары шағын тез өтетін үдерістерді зерттеу барысында бұрын сипатталған жылдамдықтық осциллографтары сезімталдығы төмен болғандықтан жарамсыз болады. Аталған кемшілік әмбебап осциллографтарының стробоскопиялық тақап жалғамаларында (түрлендіргіштер) жоқ.

Осциллографтаудың стробоскопиялық әдісі жылдамдықтық осциллографында зерттелетін сигналды тікелей бақылау кезінде талап етілетін жылдамдықпен салыстырғанда жайманың жылдамдығын елеулі түрде азайту мүмкіндігін береді. Стробоскопиялық осциллографтары өте қысқа кезеңді импульстердің және жоғары жиілікті тербелістерді зерттеу жүргізуге мүмкіндік береді. Олардың сезімталдығы жоғары, яғни, олардың кіріс сигналдарының амплитудалары төмен болуы мүмкін.

Стробоскопиялық деп ЭСТ экранында сигналдардың бейнелерін алу үшін оның лездік мәндерінің іріктелуі (сигналдарды тандау) және уақыттық түрлендіру, яғни, сигналдың бейнесі уақытта көбейтілген масштабында берілетін электрондық осциллографтары аталады.

Жайманың жылдамдығы уақыт масштабын трансформациялау есебінен азаяды. Осциллографтың экранында нысаны бойынша зерттелетін сигналға ұқсас, бірақ уақыттық масштабында үлкейтілген бейне пайда болады. Стробоскопиялық әдісі зерттелетін сигналдың амплитудалық-импульсті модуляциясын пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

Стробоскоптық осциллографтың жұмысын түсіндіретін түрлендіру схемасы және уақыттық диаграммалары 10.14-суретінде келтірілген. Ұзақтығы τ және қайталау кезеңі T_c зерттелетін импульстер U_c түрлендіргіштің стробоскопиялық араластырғышына арнайы (өте қысқа) строб-импульстарымен U_2 (олар сигнал туралы ақпарат тасымалдаушылар ролін атқарады) беріледі (10.14, а-суретін қараңыз). Строб-импульстар жолының кезеңі

$$T_{\text{стр}} = T_c + \Delta t,$$

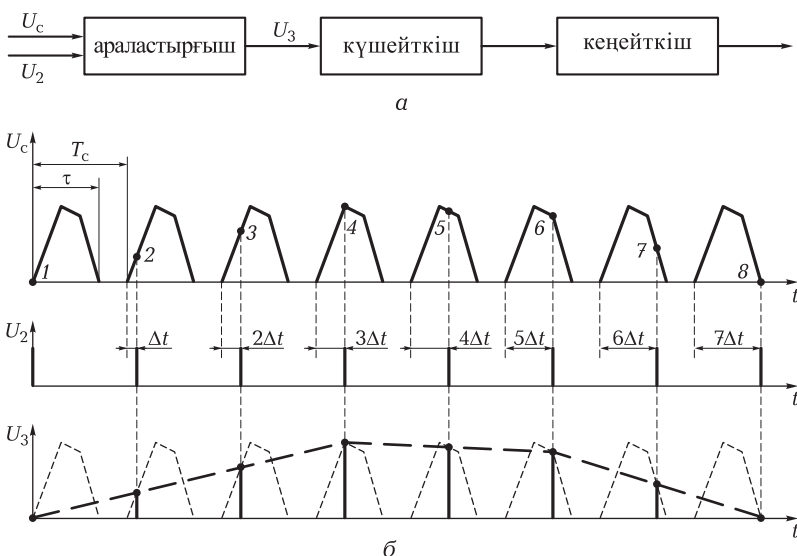
мұнда Δt – оқу қадамы.

Ұзақтық Δt келесі шартынан таңдалады:

$$\Delta t = \frac{\tau}{n}$$

мұнда n – бүтін сан.

Осындай түрлендірудің нәтижесінде анықталғаны, яғни, бірінші строб-импульс бірінші импульстің басымен сәйкес келеді $U_c(1)$, екінші строб-импульс екінші импульстің $U_c(2)$ басына қатысты ығыстырылған, үшінші строб-импульс $2\Delta t$ -де үшінші



10.14-сурет. Стробоскопиялық осциллографтың жұмыс принципі:

а – түрлендіргіштің схемасы; б – уақыттық диаграммалары; 1-8 – импульстар нүктелері

импульстің U_c (3) басына қатысты ығыстырылған (10.14, б-суретін қараңыз). Араластырғыштың шығуында уақыт бойынша строб-импульстарымен (U_2) сәйкес келетін қысқа импульстері U_3 пайда болады (10.14, б-суретінде нүктелі қалың сызықпен көрсетілген), бірақ строб-импульстер U_2 келіп түскен сәтінде зерттелетін импульстер U_c амплитудасына тең амплитудасы бар. Сондықтан импульстерді U_3 зерттелетін сигналмен U_c амплитудасы бойынша модуляцияланған строб-импульстері деп аталады.

Модуляцияланған строб-импульстарды айналып өтетін U_3 сигналының диаграммасы (10.14, б-суретінде ол қалық үздікті сызықпен сызылған) іс жүзінде зерттелетін импульстердің U_3 нысанын қайталайды, бірақ олармен салыстырғанда ол уақыт бойымен созылған. Импульстері U_3 күшейеді, сосын T_c аз ұзақтыққа дейін кеңейеді, және арнасының Y күшейткіші арқылы стробоскопиялық осциллографтың ауытқушы тілімдеріне беріледі. Нәтижесінде осциллографтың әдеттегідей ЭСТ және ара тәрізді жаймасымен экранында импульстер U_c нысаны байқалады. Бақыланатын уақыт импульсындағы (уақыттық түрлендіру) созылу дәрежесі *уақыт масштабының трансформациялау коэффициентімен* сипатталады.

$$K_{\text{тр}} = \frac{nT_{\text{тр}}}{\tau}$$

мұнда, $n - U_c$ импульсын оқуға қатысушы строб-импульстер саны.

$$n = \frac{\tau}{\Delta t} \text{ болғандықтан, } K_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{тр}}}{\Delta t} \text{ болады.}$$

Заманауи осциллографтарында $K_{\text{тр}}$ наносекундтық импульстар он мыңдаған санына жетеді, ал бұл әдеттегідей жаймаларында наносекундтық импульстерді бақылауға мүмкіндік береді.

Заманауи стробоскопиялық осциллографтарының жиіліктерді өткізу жолағы бірнеше гигагерц құрайды, және кіріс сигналының деңгейі бірнеше милливольттан ондаған вольтке дейін болады.

10.4. САНДЫҚ ОСЦИЛЛОГРАФТАР

Сандық осциллографтар сигналды бір уақытта экранда бақылауды және оның параметрлерінің сандық мәндерін сандық деректерді тікелей осциллографтың экранынан алудың дәстүрлі тәсілімен салыстырғанда үлкен дәлдікпен алуын қамтамасыз етеді. Бұл сигналдың параметрлерін өлшеу сигналға арнаның барлық қателіктерін (бұл қателіктер 10%-ға дейін болуы мүмкін) салатын тіке ауытқулардың арнасының шығуында емес, тікелей сандық осциллографтың кірісінде жүзеге асырылады.

Сандық осциллографтар көмегімен келесі параметрлері өлшенеді: сигнал амплитудасы, жиілігі, сондай-ақ, импульстің ұзақтығы. Алайда, осы параметрлерді өлшеумен сандық осциллографтардың мүмкіндіктері шектелмейді. Сандық осциллографтардың микропроцессорларымен түйісуі сигналдың кернеуінің нақты мәнін анықтауға және экранда сигналдың кез келген түрі үшін Фурье түрлендіруін бейнелеуге және тіпті есептеуге де мүмкіндік береді.

Сандық осциллографтарында сигналдың толық сандық өңделуі жүзеге асырылады, сондықтан осы жерде ақпаратты көрсету үшін, ережеге сай, индикаторлық панельдерді құру саласындағы соңғы жетістіктері пайдаланылады.

Сандық осциллографтарында өлшеу нәтижелерін көрсету барысында жұмыстың үш режимі болуы мүмкін.

1. Сигналдың экрандағы динамикалық бейнесін оның сандық параметрлерінің жарық таблосында бір мезгілде бақылау.

- ауытқу және жайма коэффициенттерінің қателігі – 2...4%;
- сандық өлшеулер қателігі – 2...3%;
- экран өлшемі – 80 × 100 мм.

Сандық осциллографтардың функционалдық мүмкіндіктеріне жататындар: бейне өлшемдерін автоматты түрде орнату; автоматты синхрондау; екі таңба арасындағы айырмалық өлшеулер; құлашты, сигналдардың минимумын және максимумын, кезеңін, ұзақтылығын, үзілістерін, фронтты және импульстар құлдырауын, жалпы қолданылымдағы арнасына кіруді автоматтық түрде өлшеу.

10.15-суретіндегі құрылымдық схемасынан көрініп тұрғандай, зерттелетін сигналдың амплитудалық және уақыттық параметрлері кірістірілген өлшеуіш аспаптарымен анықталады. Өлшеулер деректерінің негізінде микропроцессорлық контроллер талап етілетін ауытқулар және жайма коэффициенттерін есептеуді жүзеге асырады және интерфейс арқылы аталған коэффициенттерді тік және көлденең ауытқулардың арналарының аппараттық бөлігіне енгізеді. Бұл бейнелердің тіке және көлденең өлшемдерінің тұрақтылығын және сигналдың автоматтық синхрондалуын қамтамасыз етеді.

Микропроцессорлық контроллер, сонымен қатар, алдыңғы панельдегі басқару элементтерінің орнын анықтайды және интерфейс арқылы тиісті автоматты өлшеу режимін қамтитын контроллерде кодтаудан кейін сұрау деректері пайда болады. Өлшеу нәтижелері жеке жарық таблосында (түтіктің экранына кірісітірілуі мүмкін) көрсетіледі, осы арада сигналдың амплитудалық және уақыттық параметрлері бір мезгілде бейнеленеді.

10.5. ҮЗДІКСІЗ ЖӘНЕ ИМПУЛЬСТІК СИГНАЛДАРЫНЫҢ ОСЦИЛЛОГРАММАЛАРЫН АЛУ ӘДІСТЕМЕЛІГІ

Осциллографты тандағанда, ең алдымен, оның техникалық сипаттамаларына назар аударған жөн: жиілік диапазоны, сезімталдық, экран өлшемі. Сонымен қатар, бейне экранның орталық бөлігін алып, оның аумағының 70 ... 80% құрайды. Сандық құрылғыларда бұл талап автоматты түрде орындалады. Сондай-ақ, осциллографтың кіріс параметрлерін де ескеру керек. Осылайша, кейбір осциллографтар үшін кіріс кедергісі 1 МОм

шегінде болады, ол жоғарыомды зерттелетін схемасына шунт-таушы әсерін тигізеді. Жалғау сымдарымен сыйымдықпен бірге бірнеше ондық пикофарад құрайтын кіріс сыйымдығы осындай қолайсыз әсерін тигізеді. Импульстарды және жоғары жиілікті кернеулерді зерттелетін схемасына қосу үшін өлшеу барысында жоғары жиілікті кабельдері пайдалануы тиіс.

Кернеудің амплитудалық мәндерін өлшеу. Әмбебап осциллографтарында сигналдардың амплитудаларын өлшеудің осциллографтың экранына орналастырылған масштабтық тордың көмегімен өлшеу әдісі пайдаланылады. Тордың бөлінім бағасы алдын-ала амплитуда калибраторының көмегімен орнатылады. Сигналдың параметрлерін масштабтық тордың көмегімен анықтау мысалы 10.16-суретінде келтірілген. Импульстер параметрлері келесідей аныкталады:

$U = C_y I_y$ - құлаш (импульстің амплитудасы);

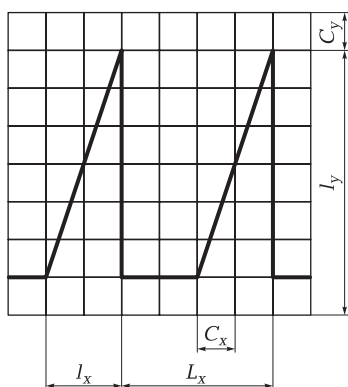
$T^p = C_x L_x$ - импульсті қайталау кезеңі;

$\tau = C_x I_x$ - импульстің ұзақтығы;

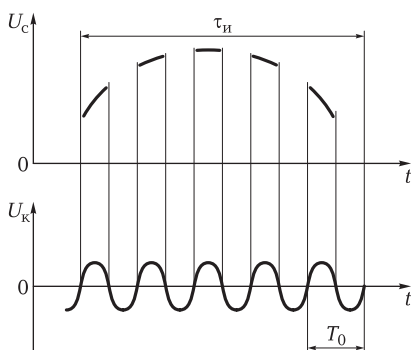
$|C_x|$ - торды көлденең бөлімінің бағасы, с / дел;

$|C_y|$ - торды тік бағытта бөлімінің бағасы, В / дел, мұнда I_y , L_x , I_x тор бөлімдерінде өрнектелген. Сигналдың амплитудасын өлшеудің қателігі өлшеудің осы әдісінде 4 ... 7% құрайды.

Сигналдың уақыттық параметрлерін өлшеу. Жиілік өлшеуіштеріне және уақыттық аралықтар өлшеуіштерінен басқа осциллографтың көмегімен күрделі уақыттық құрылымдар сигналдарының параметрлерін өлшеуге болады, мысалы, сатылық



10.16-сурет. Масштабтық желі арқылы сигнал параметрлерін анықтау



10.17-сурет. Калибрлеу белгілерін пайдаланып уақыт аралығын анықтау

Кесте 10.1. Сигналдар арасындағы фазалық ығысуларындағы интерференциялық фигуралары

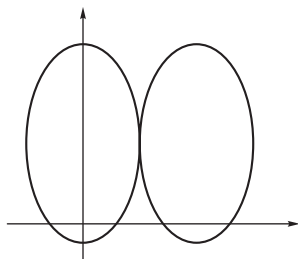
жиіліктер ара-қаты- насы	фазалық сигнал				
	0°	45°	90°	135°	180°
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{1}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{2}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{3}$					

сигналдардың немесе кодтық реттілігінің сигналдарын. Сондай-ақ, кездейсоқ және айнымалы үдерістердің параметрлерін өлшеуге болады. Өлшеудің едәуір қарапайым әдісі – калибрленген жайма немесе калибрленген таңбалар әдісі (10.17.-сурет). Схемадағы U_c – зерттелетін сигналдың кернеуі, U_k – калибрленген сигналдың кернеуі, τ_n – импульс ұзақтығы.

Осы әдістің нақты қателігі 10% шегінде болады және таңбалар санына байланысты. Белгілі жиіліктің калибрленген таңбалары сигналдың бейнесіне сәуле жарықтығын модуляция арқылы салынады, яғни, ЭСТ торына белгілі жиіліктің f_0 кернеуін немесе тербеліс кезеңін $T_0 = 1/f_0$ беру. Осы арада $T_c = nT_0$, мұнда n - калибрленген таңбалар саны. Белгілі калибрленген тегтер яғни, сәуленің жарықтық модуляция арқылы имиджін қолданылады. Осы әдістің дәлділігін көтерудің әртүрлі тәсілдері сонымен қатар сандық осциллографында пайдаланылады. Осының есебінен кемінде 1% қателік алынады.

Бір қатар жағдайларда екі гармоникалық сигналдардың жиілігі интерференциялық фигуралар әдісімен салыстырылады (Лиссажу фигуралары). Осы мақсатта жиіліктері f_0 белгілі (үлгілік) тербелістері осциллографтың кірісіне беріледі, мысалы, X (осциллографтың өзіндік жаймасы ажыратылады). Екінші кіруге жиіліктері белгісіз $f_{\text{өзг}}$ тербелістері келіп түседі. Үлгілік генераторының жиілігін осциллографтың экранында түрлері 10.1-кестесінде келтірілген қарапайым тұрақты фигура шығатындай икемдейді.

Екі гармоникалық тербелістердің жиіліктер ара-қатынасы тігінен қиылысқан нүктелер санын көлденең қиылысу нүктелеріне бөлу арқылы анықталады.



10.18-сурет. Жиілік ара-қатынасын анықтау

Бұл процедура 10.18-суретте келтірілген, мұндағы ара-қатынасы:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

Импульстік сигналдардың осциллограммаларын алу. Импульстік сигналдарды өлшеу кезінде импульстің нысанын және фронттарының параметрлерін дұрыс анықтаудың мәні зор. Импульстік сигналды дұрыс жаңғыртуға әсерін тигізетін негізгі факторлары:

- тік ауытқу арнасының жиіліктік диапазоны

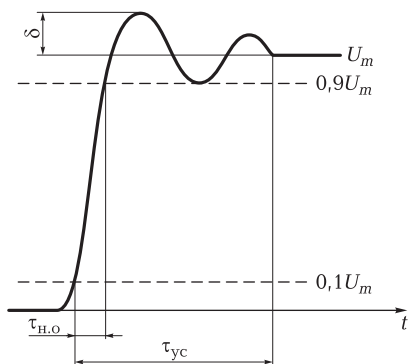
$$\Delta F = f_{\text{в}} - f_{\text{и}}$$

мұнда $f_{\text{в}}$, $f_{\text{и}}$ – арнаның жоғарғы және төменгі шекаралық жиіліктері тиісінше;

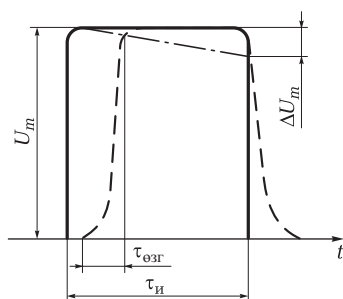
- осциллографтың айнымалы сипаттамасы.

Осциллографтың жиіліктік қасиеттері *амплитудалық-жиіліктік сипаттамасымен* анықталады АЖС – гармоникалық сигналдың бейнесінің өлшемінің оның жиілігінен тәуелділігі. Амплитудалық-жиіліктік сипаттамасының жиіліктерді өткізу жолағы бар, бұл жолақ төменгі жиіліктерінде АЖС мәндерінен 0,707 деңгейінде есептелетін $f_{\text{в}}$ жоғарғы шекаралық жиілігімен анықталады. Басқа параметрлердің ішінде АЖС жұмыс диапазонын атаған жөн, оның шектерінде әркелкілік осы осциллографы үшін кернеуді өлшеу қателігінен аспайды.

Осциллографтардың теңдесі жоқ параметрі болып олардың айнымалы сипаттамасы табылады, оның түрі 10.19-суретінде көрсетілген. Осциллографтың айнымалы сипаттамаларына фронттың $\tau_{\text{н.о.}}$ өсу уақыты жатады – сәуле айнымалы сипаттамасының орнатылған мәнінің (кернеудің $U_{\text{м}}$ амплитудалық мәндерінің максималды деңгейі) 0,1-ден 0,9-ға дейінгі уақыттың ішінде өтетін аралық. Айнымалы сипаттамасының тегіс бөлігі шығарымымен немесе осцилляцияларымен болуы мүмкін. Шығарымдарды бағалау үшін қосымша параметрлері пайдала-



10.19-сурет. Осциллографтың ауспалы сипаттамасы



10.20-сурет. Тік бұрышты импульстің нысанын бұрмалау

нылады: өсу уақыты $\tau_{н.о}$, 0,1 деңгейінен осцилляциялауды азайту сәтіне дейін берілген деңгейіне дейін есептелетін фронтты орнату уақыты туст, және амплитуда шығарымы δ . Өсу уақыты осциллографтың арнасының Y негізгі параметрі болып табылады.

Қысқа мерзімді импульстерді зерттеу үшін өсу уақыты сигналдың ұзақтығынан 0,3 көп болмайтын осциллографтары қажет етіледі. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, жиілік диапазонының жоғарғы шегі формула бойынша анықталады:

$$f_b = \frac{2}{\tau_{и}}.$$

Импульс фронтының ұзақтығы келесі өрнекке сәйкес анықталады:

$$\tau_{ф} \cong \sqrt{\tau_{өзг}^2 - \tau_{н.о}^2}$$

мұнда $\tau_{өзг}$ – фронттың ұзақтығының өлшенген мәні; $\tau_{н.о}$ – осциллографтың айнымалы сипаттамасы бойынша анықталатын фронттың өсу уақыты (сигналдың ұзақтығының 0,1 ... 0,3 көп емес).

Төменгі шекаралық жиілігінен f_n импульстің төбесінің қиясының ΔU_m шамасы байланысты болады (10.20.-сурет). Аталмыш шекаралық жиілік келесідей формуласымен анықталады:

$$f_n \leq \frac{\delta_{и}}{2\pi\tau_{и}},$$

мұнда, $\delta_{и}$ – импульс төбесінің құлдырауының рұқсат етілген салыстырмалы шамасы:

$$\delta_{и} = \frac{\Delta U_m}{U_m}.$$

Қуыстылықтары елеулі болуымен импульстер осциллограммалары алынғанда, яғни, қайталану кезеңі үлкен қысқа импульстерін алғанда күту жаймасы пайдаланылады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Әмбебап осциллографтың блок-схемасы және оны пайдалану принципі қандай?
2. Қандай жайма түрлері бар?
3. Күту жаймасының тағайындалымы қандай?
4. Сандық осциллографтың құрылымдық схемасы қандай? Оның жұмыс принципі қандай?
5. Кернеулерді осциллографпен өлшеу әдістемесі қандай?
6. Уақыттық араықтарды осциллографпен өлшеу әдістемесі қандай?
7. Импульсты сигналдардың осциллографпен өлшеу әдістемесінің мәнісі қандай?
8. Экранның көлденең осінде уақытша масштаб қалай жасалады?
9. Дөңгелете жайманың осцилограммасы қандай?
10. ЭСТ сәулесі қалай басқарылады?
11. Жайманың сызықты еместілігінен сигналдың осциллограммасының бұрмалануы қалай түсіндіріледі?
12. Жадыда сақтаушы ЭСТ қалай жұмыс істейді?

11 ТАРАУ

ДИОД, ТРАНЗИСТОР ЖӘНЕ ИНТЕГРАЛДЫҚ СХЕМАЛАРДЫҢ ЭЛЕКТРЛІК ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ

11.1. НЕГІЗГІ МӘЛІМЕТТЕР

Кез келген қазіргі заманғы радиоэлектронды құрылғы жартылай өткізгіш элементтердің негізінде құрылады: диодтар, транзисторлар және интегралдық схемалар. Барлық осы элементтердің сипаттамалары паспорттық деректер түрінде беріледі. Алайда, көптеген жағдайларда нақты сипаттамалар паспорттық деректермен сәйкес келмейді. Сондықтан, өзірлеушіде анықтамалық деректер болмаған жағдайда немесе өзінің қолында бар жартылай өткізгіш элементтері туралы нақтырақ ақпарат алғысы келген жағдайда, өлшемдерді өз қолымен орындап және олардың ең маңызды параметрлерін анықтауы қажет.

Мұндай жартылай өткізгіш диодтар мен транзисторлар параметрлерінің қатарына тұрақты ток бойымен тура және кері кедергілер, тура және кері токтар және р-п ауысымдарының сыйымдылығы, импульстік параметрлер (тура импульстік кернеу, р-п ауысымындағы кернеудің төмендеуін орнату және қалпына келтіру уақыты), сонымен қатар транзисторлардың статикалық параметрлері жатады.

Интегралдық схемалар үшін жылдам әрекет, қолданылатын қуат, кедергіге төзімділік және жүктеме қабылеттілігі параметрлері болып табылады.

11.2. ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІК ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ

Омметрдің көмегімен диодтардың жарамдылығын тексеру. Ол қарапайым сынаспап немесе омметрдің көмегімен жаса-

луы мүмкін. Омметрдің полярлығын біле отырып, диодтың полярлығын анықтау оңай, себебі омметр ең аз шамадағы кедергіні көрсеткен кезде, диод полярлығы және омметр сәйкес болады. Диодтың полярлығы өзгерген кезде омметрдің көрсеткіші (ом өлшемінде) тұрақты ток бойынша тік $R_{\text{жог}}^{\text{кері}}$ және $R_{\text{кері}}$ кедергілерге сәйкес келеді. Жарамды диод үшін $R_{\text{кері}} \gg R_{\text{жог}}^{\text{кері}}$ болады.

Диодтардың жарамдылығын тексеру кезінде тесіп өту кернеуін асырмау үшін төмен вольтті $E = 1,5 \dots 2,0$ В батареялары баромметрді қолданған қолайлы. Қуатты және нүктелік диодтар үшін бұл шарт міндетті емес, себебі $U_{\text{кері}} \geq 10$ В, стабилитрондар үшін $U_{\text{кері}} \geq 8$ В. Алайда, АЖЖ-диодтар үшін $U_{\text{кері}} \leq 1$ В және $E \geq 1,5$ В кезінде олардың жарамдылығын тексеру $R_{\text{кері}}$ үшін тым кіші шамаларды беруі мүмкін немесе ұзақ мерзімді өлшеулер кезінде олардың тесілуіне әкеледі.

Сондықтан, АЖЖ-диодтар үшін бұл тексеру ұсынылмауы мүмкін. Бұл шарт сонымен қатар туннельдік диодтарға да қатысты, олар үшін $U_{\text{кері}} = 0$. Демек, тура және кері бағыттар бойынша омметрдің көрсеткіштері іс жүзінде айырмашылығы болмайды дегенді білдіреді.

Омметрдің көмегімен транзисторлардың ақаулықтарын тексеру. Бұл сонымен қатар 10 В артық емес кернеуі бар батарея пайдаланылатын әдеттегі омметр көмегімен орындалуы мүмкін. Омметрдің көмегімен транзисторды тексеру кезінде оның қысқыштарының бірін триод негізіне қосу қажет, ал басқасын кезекпен эмиттерге және коллекторға қосу қажет болады. Егер триод негізіне омметрдің оң қысқышы қосылған болса, онда р-п-р түріндегі жарамды триод үшін екі өлшемде 0,1-тен 5,0-ке дейінгі МОм аралығында болатын кедергінің мағынасын беруі тиіс. Әдетте, эмиттерлі ауысымның кері кедергісі коллекторға қарағанда үлкенірек болады. Егер кедергілердің біреуі берілген ауқымның төменгі шегінен әлдеқайда аз болса, онда бұл (мысалы, ауысулардың бірінің тесілгені) триодтың ақаулығын көрсетеді.

Полярлықтың ауысуы кезінде (омметрдің теріс қысқышын триод негізіне қосылған) көрсетілген өлшемдердің екеуі де кем дегенде бірнеше бірлік немесе ондаған ом кедергінің шамасын беруі тиіс. Егер ауысымдардың бірінің кедергісі қажетті шамадан әлдеқайда көп болатын болса, онда триодты ақаулы (мысалы, жартылай өткізгіш пен металл электродтың арасындағы байланыстың бұзылуы) деп қарастыру керек.

Жоғарыда айтылған өлшемдерден басқа сонымен қатар эмиттер және коллектор арасындағы кедергіні тексеру керек. Егер эмиттерге омметрдің оң қысқышын қосса, онда триодтың жарамды-р-п түріндегі жазығындағы көрсетілген электродтар

арасындағы кедергісі 10 кОм-нан 1 МОм-ға дейінгі шекте жатуы керек. Эмиттер және коллектор арасындағы кедергінің полярылығы өзгерген кезде, әдетте, ол бірнеше есе көп болады. Егер кедергінің өлшенген мәндері берілген шектен тыс жатқан болса, онда триодты ақаулы деп тану керек. Шамалы кедергі, әдетте, ауысымдардың тұйықталуымен сипатталады, үлкені контактілердің бұзылуы болып есептеледі.

Алдында берілген өлшемдердің көмегімен қорытындылардың қайсысы коллекторға немесе эмиттерге триодтың (негіз электродтың орналасуы әдетте танымал болады) белгісіз түптелуі кезінде сәйкес болатынын анықтауға болады. Эмиттерге омметрдің ең кіші кедергісін көрсеткен кезде омметрдің оң қысқышы қолданылған электрод қатысты болады.

11.3. ДИОДТАР МЕН ТРАНЗИСТОРДЫҢ $p-n$ АУЫСУЫ АРҚЫЛЫ ТУРА ТОКТАРДЫ ӨЛШЕУ

Диод бойынша кернеудің тура түсуін өлшеу 11.1, асхемасы бойынша орындалады. Сынақ диод арқылы тура ток I тура орна-тылады. ТГ Ток генераторының жеткілікті үлкен ішкі кедергісі диодтардың ауысуы кезінде тұрақты өлшеу әдісін қамтамасыз етеді. Электр тізбегінің ток және өлшеу салаларын бөлу жетелегіш өткізгіштердің кедергісі есебінен өлшеу қателігін азайтуға мүмкіндік береді (бұл жоғары қуатты диодтар үшін өте маңызды). Кернеудің тура түсуі дәлдік класының 1,0 В тұрақты ток вольт-метрмен өлшенеді. Ерекше жағдайларда, цифрлық вольтметрді пайдалану арқылы дәл өлшеу қолданылады. Схеманың маңызды элементі болып диодтар ажыратылған кезде 3-вольтметрдің артық жүктелуінен қорғау есептеледі. Ол үшін ажыратқыштың көмегін пайдалану арқылы вольтметр диодқа тізбектегі тура ток пайда болғаннан кейін ғана қосылады.

Ағымдағы генератордың қажетті ішкі кедергісін мынадай формула бойынша анықтауға болады:

$$R_{\text{ТГ}} \geq \frac{\Delta U_{\text{тура}}}{\Delta I_{\text{тура}}} + r_{\text{д}},$$

мұнда $\Delta U_{\text{тура}}$ – номиналды мәннен кернеудің тура түсуінің ең жоғарғы рұқсат етілген ауытқуы; $\Delta I_{\text{тура}}$ – номиналды мәннен тура токтың ең төмен рұқсат етілген ауытқуы; $r_{\text{д}}$ – жұмыс нүктесінде диодтың дифференциалдық кедергісі.

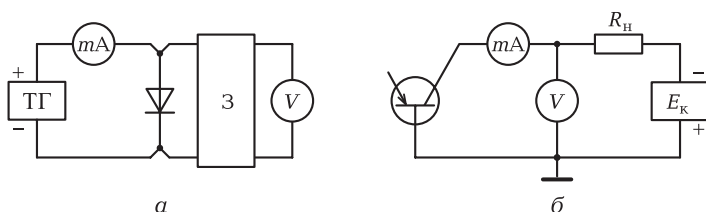
Мысалы, D220 диодтакернеудінтура түсуін өлшеу кезінде $\Delta I_{\text{тура}} = 0,5 \text{ мА}$, $\Delta U_{\text{тура}} = 0,5 \text{ В}$, $r_d = 3 \text{ Ом}$ аламыз. Қажетті кедергі мәні 3% құрайды.

11.4. ДИОДТАР МЕН ТРАНЗИСТОРДЫҢ *p-n* АУЫСУЫНЫҢ КЕРІ ТОКТАРЫН ӨЛШЕУ

p-n ауысымдарының кері токтарын өлшеу кезінде туындайтын қиындықтар олардың кішігірім мәндеріне байланысты. Бірнеше ондаған микроамперлерден бірнеше ондаған миллиамперлер шегіне дейінгі кері токтарды иеленетін қуатты диодтар және транзисторлар саналмайды. Осындай құрылғыларды басқару үшін 11.1, б суретінде көрсетілген схема пайдаланылады. Зертханалық жағдайда сезімтал гальванометрді пайдалана отырып, осы схеманы кері токтарды микроампер үлестеріне дейін өлшеу үшін пайдалануға мүмкін болады.

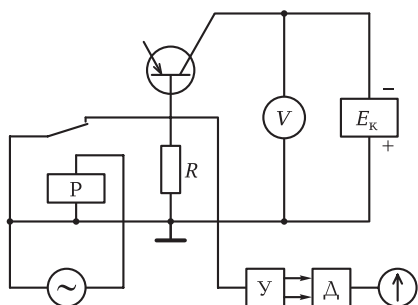
Шағын токтарды өлшеу үшін тұрақты токтыауыспалы ток-каауыспалы токтың күшейткішін пайдалану арқылы әрі қарай күшейту әдісі ең таралған әдіс болып табылады. Электромеханикалық реледе түрлендіргіштің ең қарапайым схемасы 11.2 суретінде көрсетілген. Мысал ретінде транзистордың коллекторлық ауысуының кері тогын өлшеу мысалы ұсынылған.

Коллекторға тұрақты кері кернеу қолданылады; тізбекті түрде негіздік қорытындымен R токтың ажырамалы резисторы қосылған. Өлшенетін токка пропорционалды ток ажыратылатын резистордан кернеу U электронды күшейткіш кірісіне беріледі, содан кейін D диодына беріледі. Ток ажыратылатын резистор R реленің контактілерімен бір мезгілде тұйықталып отырады. Қарапайым жағдайда 50 Гц жиілікті кернеуі арқылы басқары-



11.1-сурет. Диодтар мен транзисторлардың *p-n* ауысымындакернеу мен токты өлшеу үшін арналған схема:

а – кернеудің тура түсімінің өлшемі; б – кері токты өлшеу;



11.2-сурет. *p-n* ауысымы кезінде кері токты өлшеу үшін арналған тұрақты токтың ауыспалыға түрлену схемасы.

лады. Өлшенетін токка амплитудасы пропорционалды болатын күшейткіш кірісінде ауыспалы ток алынады.

Бастапқыда өлшеу құралын калибрлейді. Ол үшін калибрленген токты ажыратылмалы ток резисторы арқылы өткізеді. Бұл жағдайда күшейткіш сезімталдығы көрсеткіштер калибрленген токқа сәйкес болатындай етіп реттеледі. Кері ток өлшеуіштерінің сезімталдығы R ұлғайған сайын ұлғайады және жоғары жағынан төменгі шарт бойынша шектеледі

$$R \leq \frac{E_{k \min}}{100 I_{k0 \max}}$$

мұндағы, $E_{k \min}$ - коллектордың минималды кернеуі; $I_{k0 \max}$ - коллектордың жылу тоғы.

Жоғарыда сипатталған әдіс пайдаланылған өлшеуіш барлық шкалада 10^{-7} ең жоғарғы сезімталдықты иеленеді.

11.5. ТРАНЗИСТОРЛАРДЫҢ СТАТИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ

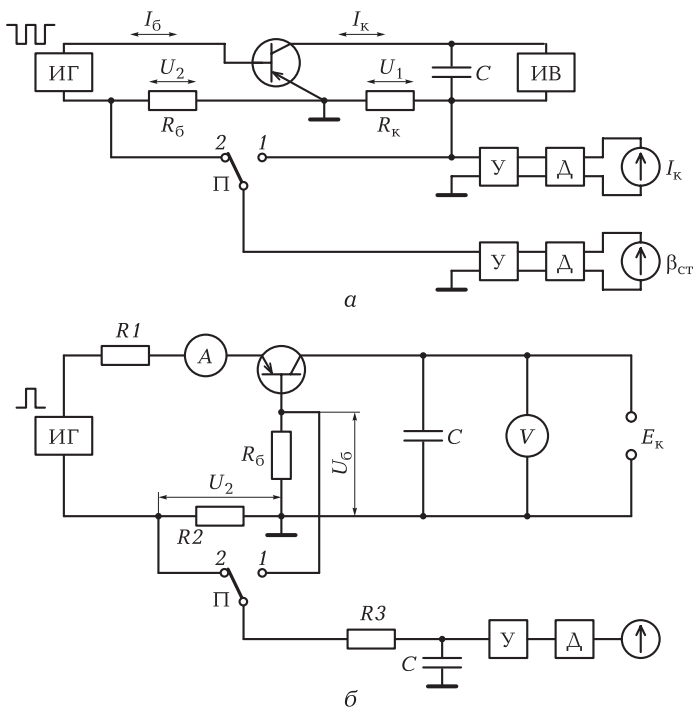
β_{ct} транзисторлық негіз тогын берудің статикалық коэффициентін өлшеу әдісін қарастырайық. Ол үшін транзисторды жалпы эмиттермен бірге схема бойынша қосамыз және қажетті кернеуді коллекторға қолданамыз. Сонымен қатар, базалық токты коллекторлық ток алдын ала анықталған мәнге жеткенше арттырып отырады. Содан кейін базалық ток өлшенеді және статикалық коэффициент формула бойынша есептеледі

$$\beta_{\text{ст}} = \frac{I_{\text{к}} - I_{\text{к0}}}{I_{\text{б}} - I_{\text{к0}}}$$

мұндағы, $I_{\text{к}}$ – коллекторлық ток; $I_{\text{к0}}$ – коллекторлық токтың бастапқы мәні; $I_{\text{б}}$ – базалық ток.

Осындай өлшеулерде айтарлықтай күштің шығарылуымен байланысты тұрақты электр тогының қолданылуы белгілі бір қиындықтарға алып келеді. Оларды импульстік режимде жұмыс істегенде транзистордың статикалық параметрлерін өлшеген кезде алдын алуға болады.

Импульстік режимде жоғары қуатты транзисторлардың $\beta_{\text{ст}}$ статикалық коэффициентін өлшеуге арналған схема 11.3 суретте көрсетілген. U_1 коллекторындағы кернеу тұрақты кернеу көзінен орнатылады. 11.3, а суретте ИГ қысқа импульстік генераторы басқарылатын амплитудасы бар. Импульстар арасындағы



11.3-сурет. Импульстік режимде $\beta_{\text{ст}}$ статикалық коэффициентін өлшеуге арналған схема:

а – ажыратылмалы ток резисторымен; б – ажыратылмалы ток резисторынсыз

үзілісте транзистор құлыпталады, өлшеу импульстік ұзақтығы кезінде жасалады. Негіз тогының I_6 импульстік амплитудасы ағымдағы амплитудасы коллектордың I_k импульстік тогы алдын ала белгіленген шамағажетпейінше артады. Коллекторлық ток ажыратылмалы ток R_p резисторында өлшенетін импульстік вольтметр ИВ көмегімен бақыланады. Есептегіш құрылғы ағымдағы ток мәндері бойынша тікелей бітеді. 11.3, а суретінде U_2 параметрі импульстегі базалық кернеуді көрсетеді.

$\beta_{ст}$ анықтау үшін калибрлеуді өткізу үшін ажыратылмалы ток резисторына бастапқыда 1 күйінде П ауыстырғышының көмегімен қосылатын екінші импульстік вольтметр пайдаланылады. Одан кейін П ауыстырғышы 2 күйіне орнатылады (өлшеу). Бұл жағдайда есептегіш құрылғы кернеуді өлшейді, ол базаның тогымен пропорционалды болады:

$$\frac{1}{\beta_{ст}} = \frac{I_6}{I_k} = \frac{U_2 R_k}{U_1 R_6} = k U_2$$

мұндағы k – тұрақты коэффициент.

Бұл өрнек шығару құрылғысының тікелей $\beta_{ст}$ мәндерінде өлшенуі мүмкін екендігін көрсетеді.

Импульстің t_n ұзақтығы транзисторды қосудың өтпелі процесінің ұзақтығынан бірнеше есе асуы керек. Бұл шарт төмендегі теңсіздік түрінде жазылуы мүмкін:

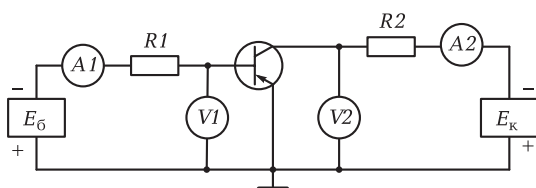
$$t_n \geq (3,5 \dots 5,0) \frac{\beta_{ст \max}}{2\pi f_{m \min}}.$$

Алайда, қысқа импульс генераторының импульстік ұзақтығы транзисторлардың жылу тұрақты уақытынан айтарлықтай аз болуы тиіс, себебі шығарылатын қуаттың транзистор қыздырылуы өлшеу нәтижелерін бұрмалауы тиіс. Әдетте, жоғары қуатты транзисторларды өлшеу кезінде импульстің ұзақтығы төмендегі шартты қанағаттандыруы керек

$$1 \text{ мс} < t_n < 15 \text{ с}.$$

Аз қуатты транзисторлардың статикалық коэффициентін өлшеуге арналған схема 11.3, б суретінде көрсетілген. Схемада эмиттер тогы генератор тогынан беріледі.

11.3, б суретінің артықшылығы транзисторды ауыстыру кезіндегі режимнің тұрақтылығы болып табылады. Сонымен қатар коллектор тізбегінде ажыратылмалы ток резисторы болмайды, бұл коллектордағы тұрақты кернеудің сақталуын жеңілдетеді. П ажыратқышын 2 күйіне (өлшем) ауыстыру кезінде импульстік



11.4-сурет. $U_{\text{кан.к}}$ және $U_{\text{кан.б}}$ қанықтық кернеуін өлшеуге арналған схема.

вольтметр $R_б$ базалық тізбегіндегі ажыратылмалы ток резисторындағы кернеуді өлшейді. Осылайша, вольтметрдің көрсеткілерінің ауытқуы импульстегі базаның тогымен пропорционалды болады.

Өлшеу алдында транзисторлық тоқтың жіберу коэффициентін сәйкесінше өлшеу үшін Π ажыратқышын өлшем алдында 1 күйіне (калибрлеу) қойып және есептегіш құрылғының көрсеткісін импульстік вольтметрдің күшейткіш коэффициентін реттегішімен толық бас тарту күйіне орнатады. Нәтижесінде, тәуелділік жүзеге асырылады

$$\frac{1}{\beta_{\text{ст}} + 1} = \frac{I_б}{I_к} = \frac{U_б}{U_2} \frac{R_2}{R_б} = k U_б \quad (11.1)$$

мұндағы k – тұрақты коэффициент; R_2 – кедергі.

11.3, б суретінде $E_к$ коллектордағы кернеуді көрсетеді; C – конденсатор.

Өрнектен (11.1) өлшеу қондырғысының $(\beta_{\text{ст}} + 1)$ мәндерде өлшене алынатынын көрсетеді.

Мұндай схеманың көмегімен транзисторлық параметрлерді өлшеудің жоғары дәлдігіне қол жеткізіледі (жалпы қателік 5%-дан аспайды). Қанығу күйінде транзистордың параметрлерінің өлшенуін (коллектор-эмиттер кернеуі $U_{\text{кан.к}}$ және негіз – эмиттер кернеуі $U_{\text{кан.б}}$) 11.4 суретінде көрсетілген схема бойынша жүргізуге болады. Мұнда R_1 және R_2 кедергілерін айтарлықтай үлкен етіп таңдайды, ол транзисторларды ауыстыру кезінде $I_б$ және $I_к$ токтардың өлшену режимі өзгеріссіз қалуы үшін қажет.

Көрсетілген кедергілердің шамалары келесі шарттардан алынады:

$$R_1 \geq 100 \frac{U_{\text{б.нас макс}}}{I_{\text{б мин}}}; \quad R_2 \geq 100 \frac{U_{\text{к.нас макс}}}{I_{\text{к мин}}},$$

мұндағы, $U_{\text{кан.б макс}}$ – негіз-эмиттердің максималды кернеуі; $I_{\text{б мин}}$ – негіз токтарының ең аз шамасы; $U_{\text{кан.к макс}}$ – коллектор-эмиттердің максималды кернеуі; $I_{\text{к мин}}$ – коллектор тогының ең аз шамасы.

11.6. ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІК АСПАПТАРДЫҢ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫН ӨЛШЕУ

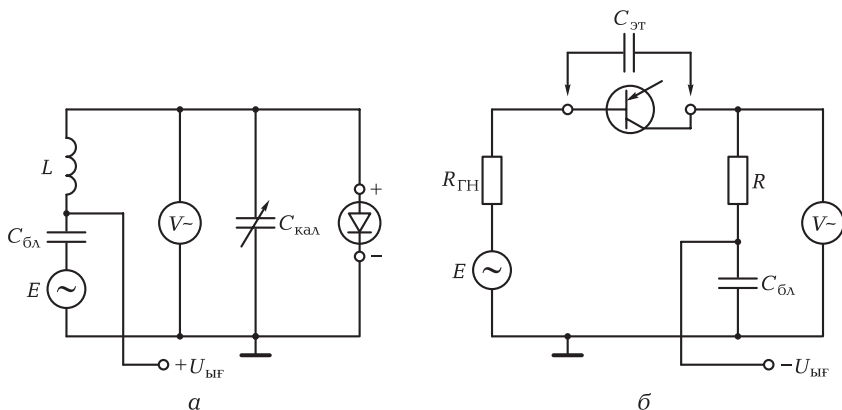
P - n ауысуларының зарядтау сыйымдылықтары, әдетте, тұрақты кері ығысу ауысымға берілген кезде өлшенеді.

p - n ауысымдарының сыйымдылығының бар өлшеу әдістері заряд қуаты шамамен 100 Гц жиілікке дейін жиіліктен тәуелсіз болуы деген болжамдарға негізделген.

p - n ауысымдарының сыйымдылығын өлшеу үшін төмендегі үш әдіс қолданылады:

- 1) резонанстық контурдағы ауыстыру әдісі;
- 2) сыйымдылық-омдық ажырату әдісі;
- 3) өткелдік әдіс.

Резонанстық контурдағы ауыстыру әдісі 11.5, а суретте көрсетілген схемаға негізделеді. E схемасында – жоғары жиілікті кернеу генераторы; $C_{бл}$ – конденсаторды блоктау; L -индуктивтілік катушка; $U_{ығ}$ – ығысу кернеуі. Өлшеу алдында резонанстық контур резонансқа бапталады –баптау критерийі ретінде жоғары жиілікті V вольтметрдің максималды көрсеткіші қызмет етеді. Калибрлеу ауыспалы конденсаторы $C_{кал}$ сыйымдылық бірліктерінде мөлшерленген шкалалармен жабдықталған.



11.5-сурет. Диодтар және транзисторлардың p - n ауысымдарының сыйымдылығын өлшеуге арналған схемалар:

а – резонанстық контурда ауыстыру әдісі бойынша; б – сыйымдылық-омдық ажырату әдісі арқылы

Алдымен өлшеу объектісі болмаған кезде контурды баптауға сәйкес келетін конденсатордың орныбекітіледі. Содан кейін, өлшенген құрылғыны қосып, қажетті режимді тұрақты ток бойымен орнатып, $C_{\text{кал}}$ конденсаторы арқылы контурда резонансқа қол жеткізіп және шкала бойынша сыйымдылықтың жаңа шамасын реттейді. Шкаланың көрсеткіштерінің екі мәнінің арасындағы айырмашылық сыйымдылықтың қажетті мәнін береді. Осы өлшеу әдісінің артықшылығы өлшеу рәсімінің қарапайымдылығы болып табылады.

Сыйымдылық-омдық ажырату әдісі 11.5, б суретіндегі схемада көрсетілген. Осы схеманың негізгі элементтері жоғары E жиіліктің кернеу генераторы (КГ) және R резисторына қосылған жоғары жиілікті сезімтал вольтметр $V \sim$ болып табылады. Өлшеу алдында өлшегіштің қысқыштарына қосылатын өлшегіш $C_{\text{эт}}$ эталондық сыйымдылық конденсаторының көмегімен калибрленеді. Тізбек элементтері және жұмыс жиілігі элементтері төмендегі шарттың орындалуы үшін таңдалады

$$(R_{\text{КГ}} + R) \ll \frac{1}{\omega C_{\text{max}}},$$

мұндағы, $R_{\text{КГ}}$ – кернеу генераторының белсенді ішкі кедергісі; ω – жұмыс жиілігі; C_{max} – өлшенетін сыйымдылықтың максималды мәні.

Өлшеуіш сызықтық шкаланы иеленеді, ол кез-келген ыңғайлы көбейткіш коэффициентімен пикофарадтарда тікелей өлшенуі мүмкін.

Сыйымдылық – Омдық әдісімен сыйымдылықты өлшеу қателігі негізінен электрондық вольтметрдің амплитудалық сипаттамасының бейсызықтығымен және өлшеуіш корпусының зиянды сыйымдылық есебімен анықталады. Типтік шектеу қателігі шамамен $\pm 10\%$ құрайды, бірақ қажет болған жағдайда оны $\pm 3 \dots 5\%$ дейін азайтуға болады.

Өткелдік әдістер, әдетте, зертханалық жағдайларда жартылай өткізгіш құрылғылардың сыйымдылығын өлшеу үшін қолданылады. Өлшеудің өткелдік әдісінен негізделген өлшеуіш қондырғылар айтарлықтай әмбебап болып табылады, себебі олар айтарлықтай тұйықтағыш өткізгіштігінің немесе үлкен тізбектік кедергінің қатысуымен сыйымдылығын анықтауға мүмкіндік береді. Арнайы өткелдің өлшеу схемалары сыйымдылықты өлшеудің өте жоғары дәлдігіне ие болуы мүмкін (олардың қателігі $\pm 0,1\%$ немесе одан кем болуы мүмкін).

Өткелдің схемалармен өлшеудің жалпы қағидалары жоғарыда қарастырылған (4-тарауды қараңыз).

11.7. ИНТЕГРАЛДЫҚ СХЕМАЛАРДЫҢ ЭЛЕКТР ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ

Логикалық интегралды тізбектер үшін техникалық сипаттамалар мыналардан тұрады: жылдам әрекеттестік, қолданылатын қуат, кедергіге төзімділік және де жүктеменің мүмкіндігі.

Радиоэлектрондық жабдықтарда өлшеу жүйесінің осы немесе басқа түрлерінің қолданылуы белгілі бір талаптарға байланысты болады. Транзистор – транзисторлы логикалық (ТТЛ) тізбектер үшін қойылатын талаптар:

- логикалық бірліктен үлкен амплитудасы бар сигнал алынуы мүмкін құрылғылармен жұмыс істеу кезінде енгізу сипаттамаларын сәйкестендіру, мысалы, $U_{\text{кір}} = E_n$;
- тізбектер бір-бірінің үстінде жұмыс істеген кезде пайда болатын кедергілерді жоюға кепіл болатын сипаттамалардың бақылануы. Келісім шарттары эмиттерлі байланысқан логикалық тізбектердің жұмысы кезінде өте маңызды болады. Сондықтан, эмиттерлі байланысқан логикалардың тізбектерінің белгілі бір түрлерінің параметрлер жүйесінің құрамына шығыс межелік кернеу ғана емес, сонымен қатар екі жақты шегі бар шығыс деңгей және екі жақты шектеуі бар динамикалық параметрлердің бақылауы жатады.

Статикалық кедергіге төзімділік. Логикалық тізбектің кедергіге төзімділігі қалыпты кернеумен сипатталады, ол арқылы логикалық нөл немесе логикалық бірліктің шекті шамаларынан тыс оның шығысындағы кернеудің өзгерісін тудырмай тізбектің крісінде дәрежелерді өзгертуге болады. Бұл анықтаманы сәйкес жағдайларда кернеудің максималды және минималды мағынасын есепке алу арқылы логикалық тізбектерге сәйкестігіне жатқызуға болады. Статикалық кедергінің рұқсат етілген кернеуі схема элементтері параметрлерінің технологиялық таратылуы есебімен алынған өткізу $U = f / (U_{\text{кіріс}})$ сипаттамаларының тобы бойынша анықталады. Сонымен қатар, ашылған кедергіге байланысты кедергіге төзімділікті белгілеуге болады

$$U_{\text{п}}^+ = U_{\text{кір.макс}}^0 - U_{\text{шығ.макс}}^0 \quad (11.2)$$

сондай-ақ, құлыпталатын сигналдарына қатысты

$$U_{\text{п}}^- = U_{\text{шығ.мин}}^1 - U_{\text{кір.мин}}^1 \quad (11.3)$$

мұндағы, $U_{\text{шығ.макс}}^0$ және $U_{\text{шығ.мин}}^1$ – тізбек шығысындағы сәйкес логикалық нөл мен логикалық бірліктің максималды және мини-

малды мәндері; $U_{\text{к.р.макс}}^0$ және $U_{\text{к.р.мин}}^1$ – тиісінше оның ашылуы мен жабылуын сипаттайтын кірістегі максималды және минималды кернеуі.

Жіберу сипаттамаларын талдау элементтер параметрлерінің технологиялық таратылуы болмаған жағдайда логикалық тізбектердің шекті кернеуіне қолданылуы бойынша шарттардың әсері және тарату сипаттамасындағы ауыстыру аймақтары келесі шарттарды орындайды:

$$U_{\text{п}}^+ + U_{\text{п}}^- = U_{\text{л}}$$

мұндағы, $U_{\text{л}}$ - логикалық түсімнің кернеуі.

Параметрлерді оңтайлы таңдаудың критерийі және логикалық тізбектің схемасын шешу кедергінің екі түріне қатысты ең көп кедергіге төзімділік болып табылады, яғни

$$U_{\text{п}}^+ = U_{\text{п}}^- = U_{\text{п макс}} = 0,5 U_{\text{л}}$$

Барынша кедергіге төзімділікті алу үшін әр түрлі пішімдерде нысандардың шекті нүктелерін және шекті таратылу сипаттамалардың орналасуын дұрыс таңдау қажет, сонымен қатар барынша мүмкін кедергіге төзімділікті қамтамасыз ету мақсатында элементтердің параметрлерін таңдау қажет.

(11.2) және (11.3) Формулалардың талдауы кедергіге төзімділік сипаттамасы схеманың кіріс және шығыс кернеуімен анықталатынын көрсетеді, сондықтан кедергіге төзімділікке кепіл беру үшін берілген кернеуді тізбектің кірісіне орнату керек және кернеуді оның шығысында бақылау қажет. Шығыс кернеуінің нақты басқару әдістері кейінірек талқыланатын болады.

Жүктеме мүмкіндігі. Жүктеме n мүмкіндігі басқару тізбегіне қосылуға болатын жүктеме тізбектерінің рұқсат етілген санын анықтайды. Бұл жағдайда $I_{\text{шығ}}$ шығыс ток жүктеме тізбектерінің рұқсат етілген жалпы тоғынан артық болуы тиіс, яғни,

$$\sum I_{\text{бк}} \leq I_{\text{шығ}}.$$

Осылайша, жүктеме тізбектерінің кіріс токтарының бірегейлігі кезінде, біз мыналарды табамыз:

$$n = \frac{I_{\text{шығ}}}{I_{\text{кір}}}$$

Біз шығыс кернеулеріне сәйкес келетін $U_{\text{кір1}}$ және $U_{\text{кір2}}$ кернеулерін, Лог «0» және Лог «1» деп белгілейік. $U_{\text{кір1}}$ кернеуі кезінде өлшеу жүйесінен $I_{\text{кір}}^0$ тогы шығады. Аналогты кернеуде өлшеу жүйесінің шығысында $I_{\text{шығ}}^0$ тогы шығыс тізбекке шығады. Де-

мек, шығу кезінде Лог «0» сәйкес келетін ашық күйдегі тізбектің жүктемелік қабілеті төмендегі формула бойынша қарастырылатын сипаттамалар негізінде анықталады

$$n_{(\text{Лог «0»})} = \frac{I_{\text{шығ}}^0}{I_{\text{кір}}^0}.$$

Аналогты жағдайда, Лог «1» күйіндегі тізбектің жүктемесі де анықталады:

$$n_{(\text{Лог «1»})} = \frac{I_{\text{шығ}}^1}{I_{\text{кір}}^1}.$$

Тізбектің фактілі жүктеме қабілетін тексеру үшін (11.4) және (11.5) формулаларынан кіріс және шығыс кернеуінің берілген мәндері кезіндегі кіріс және шығыс токтарының өлшемдері жүзеге асырылуы тиіс.

Шығыс сипаттамалары бойынша шекті нүктелер мықты бөліктерде орналасқан, яғни шығыс кернеулерінде шамалы өзгерістер болған кезде токтар айтарлықтай шамаға өзгеруі мүмкін. Сондықтан, өлшеу дәлдігін арттыру үшін шығыс токтарды береді және шығыс кернеулерді өлшейді (Сол сияқты диодтың ток-кернеу сипаттамаларының тура желісін бақылау кезінде параметрлері бойынша алынған).

Жеткізу, кіріс және шығыс сипаттамаларының талдауы өлшеу жүйесінің кедергіге төзімділігі кепілдігін және жүктеме мүмкіндігіне қамтамасыз етілуін 11.1 кестесіне сәйкес өлшеу режимін орнату кезінде төрт бақыланатын параметрлерді өлшеу жолымен алуға болады.

11.1-кесте. Өлшеу режимдері¹

Бақыланатын параметр	Берілетін параметр
$U_{\text{шығ.max}}^0$	$U_{\text{кір.min}}^1 ; I_{\text{шығ}}^0$
$U_{\text{шығ.min}}^1$	$U_{\text{кір.max}}^0 ; I_{\text{шығ}}^1$
$I_{\text{кір}}^1$	$U_{\text{кір}} = U_{\text{шығ.min}}^1$
$I_{\text{кір}}^0$	$U_{\text{кір}} = U_{\text{шығ.max}}^0$

¹ $U_{\text{кір.max}}^0 ; U_{\text{кір.min}}^1 ; U_{\text{шығ.max}}^0 ; U_{\text{шығ.min}}^1$ - сәйкесінше Лог «0» және Лог «1» күйлеріндегі кіріс және шығыс сипаттамалар.

Тұтынылатын қуат. Логикалық схемамен тұтынылатын орташа қуат төмендегі формула бойынша анықталады

$$P_{\text{cp}} = E_{\text{п}} \frac{I_{\text{п}}^0 + I_{\text{п}}^1}{2},$$

мұндағы, $I_{\text{п}}^0$, $I_{\text{п}}^1$ – сәйкесінше Лог «1» және Лог «0» күйлеріндегі токтың қолданылуы.

Тұтынылатын қуатты тексеру үшін тізбектің кірісінде тиісті кернеулер кезінде $I_{\text{п}}^0$, $I_{\text{п}}^1$ параметрлерін бақылау қажет. Ажырату аймағы кезінде TTL схемасы үшін (шамалар және $U_{\text{к.р. max}}$ және $U_{\text{к.р. min}}$ арасында) қолданылатын қуаттың күрт артуы байқалады. Бұл ауыстыру кезінде ішкі транзистордың және сондай-ақ, коллекторлық тізбегіне қосылған транзистордың екеуі де ашық болуымен байланысты. Тиісінше, бұл жағдайда транзисторлар арқылы ағымдық ток импульсінің ағымы өтеді. Бұл тұтыну тогы кіріс импульстарының ілесу жиілігінің функциясы болып табылады. Сәйкесінше, TTL схемасын қуаттандыру үшін қуат көздерін жобалау кезінде, құрылғының жұмыс жиілігін арттыра отырып, қуаттың тұтынылуын арттыруды ескеру қажет.

Жоғары жиілікте токтың тұтынылуын бақылау айтарлықтай күрделі болады, сондықтан қосымша параметрлерді бақылау енгізіледі – $I_{\text{к.т.}}$ қысқа тұйықталу тогы, яғни оның «жерге» тұйықталуы кіріс тізбек бойымен жүргізілетін кезінде және жабық шығыс транзисторы кезінде бақыланады.

Жоғары жиіліктегі TTL тізбектеріндегі жабдықтардың жұмысын қамтамасыз ететін қуат көздерін таңдағанда келесі теңсіздікке назар аударамыз:

$$I_{\text{п}}^1 + I_{\text{к.з}} > I_{\text{п}} (f = f_{\text{max}})$$

яғни, өлшенген екі токтардың шамасы әрдайым шектеулі жиіліктегі тұтынатын токтан әлдеқайда көп болады.

Жылдам әрекеттестік. Интегралды тізбектің жылдам әрекеттестігі бір логикалық күйден екіншісіне орташа ауысу уақытымен анықталады:

$$t_{\text{з.ср}} = \frac{t_{\text{з.п}}^{10} + t_{\text{з.п}}^{01}}{2} \quad (11.6)$$

мұндағы, $t_{\text{т.к.}}^{10}$ – Лог «1» жағдайынан Лог «0» жағдайына сигналдың таратылуының кешігуі; $t_{\text{т.к.}}^{01}$ – Лог «0» жағдайынан Лог «1» жағдайына сигналдың таратылуының кешігуі.

Ауыстырудың межелік деңгейінде (1,5 В) өлшенетін бұл уақыт мәндері өтпелі процестің екі сатысынан тұрады:

$$t_{3,p}^{10} = t_3^+ + 0,5t_\phi^+; \quad t_{3,p}^{01} = t_3^- + 0,5t_\phi^-$$

мұндағы t_κ^+ – қосылудың кешігуі, бұл p - n ауысуды оқшаулағыш транзисторлар мен зиянды сыйымдылықтың заряд кедергісінде туындайтын уақытпен сипатталады; t_ϕ^+ – тізбекті қосу уақыты (өсім шебі), шығыс транзисторлар базасындағы негіз емес тасымалдаушылардың зарядының жиналуымен сипатталады, сонымен қатар коллекторлы ауысымның барьерлік сыйымдылығы және микросхема шығыс тізбегіне қосылған разрядты жүктеме сыйымдылықтағы тым зарядталуымен сипатталады.

Аспапта жүктеме сыйымдылығы жүк тізбектерінің кіріс сыйымдылығы мен басылған сымдардың сыйымдылығымен анықталады; t_3 – шығыс транзисторының коллекторлық аймағында жинақталған артық зарядты шешу уақытымен сипатталатын ажыратудың кідірісі; t_ϕ^+ – тізбектің өшірілу уақыты (тізбек шебі), ол базадағы негіз емес тасымалдаушылардың таратылуымен, коллекторлы ауысым сыйымдылығының аса зарядталуы және жүктеме сыйымдылығының зарядталуымен сипатталады.

Жылдамдықты қамтамасыз ететін параметрлер ретінде $t_{3,p}^{01}$ және $t_{3,p}^{10}$ бақыланады. Орташа жылдамдықты ТТЛ тізбегі үшін $t_{3,p}^{01} \leq 22$ және $t_{3,p}^{10} \leq 15$. Формулаға сәйкес (11.6) орташа коммутациялық уақыт $t_{3,ср}$ құрайды.

Қосымша параметрлер. Радиоэлектрондық жабдықтарының бөліктерінің құрылысы кезінде көбінесе жалпы қуат көзі бар түрлі құрылғылардан (мысалы, қуатты кілттер) интегралды схемалар қосылады. Бұл жағдайда кіріс кернеуіне қуат кернеуіне тең кернеу берілуі мүмкін. Өлшенетін параметрлердің жүйесінде осы режиммен жұмыс істейтін өлшеу жүйелерінің жұмысқа қабылдануының кепілдігін қамтамасыз ету үшін $U_{\text{кп}} = E_{\text{п}}$ кезінде бақыланатын $I_{\text{кп,үлгі}}$ параметрі енгізіледі.

Электр жеткізу желілерінде ақпараттық сигналдарды бұрмалайтын кедергі пайда болуы мүмкін, соның салдарынан тізбектердің жалған әрекеті болуы мүмкін. Өтпелі процесті талдау кедергі амплитудасы өлшеу жүйесінің кіріс және шығыс сипаттамалары мен байланыс желісінің толқындық кедергісімен анықталғанын көрсетеді. Тербелістердің амплитудасын азайту үшін кіріс тізбектерге шектеулі (қоңырауға қарсы) диодтар енгізіледі. Бұл сындарлы шешім $U_{\text{кп}} \leq 0$ аймағындағы кіріс сипаттаманың өзінің көлбеуін өзгеркеніне себеп болады. Егер тізбектегі

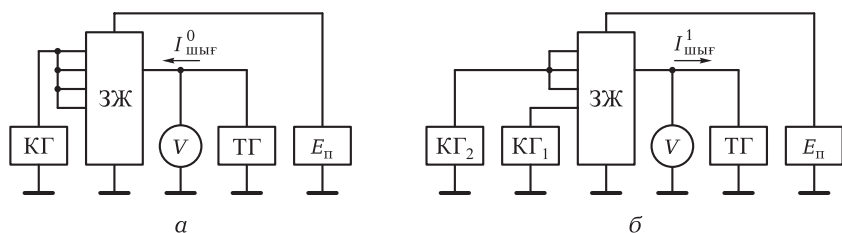
диод кез келген ақаулықтың себебімен болмаса, кіріс сипаттамасының көлбеуі өзгермейді. Диодтың сапасын бақылау үшін, U_d (қонырауға қарсы диодтағы кернеу) параметрі енгізіледі, ол белгілі бір $I_{\text{кір.д}}$ кіріс тогында бақыланады.

Логикалық интегралды тізбектердің статикалық және динамикалық параметрлерін бақылау. Интегралды логикалық тізбектер электронды жабдықта әр түрлі жағдайларда жұмыс істеуге арналған, соның ішінде техникалық шарттармен рұқсат етілген ең нашар шарттарда да жұмыс істейді. Осыған байланысты, электрлік параметрлер ең нашар жұмыс шарттарына сәйкес жағдайларда бақылануы керек. Әрбір нақты параметр мен өлшеу жүйесінің түрі үшін нашар шарттар әртүрлі болуы мүмкін екенін атап өткен жөн.

ЖӘНЕ-ЖОҚ функциясын орындайтын, транзисторлы-транзисторлық логикалық тізбек үлгісіндегі параметрлерді бақылау әдістерін қарастырайық.

Зерттелетін жүйенің ЗЖ логикалық нөлдік шығу кернеуін өлшеуге арналған схема 11.6, а суретінде көрсетілген. Параметр – бұл кедергіге төзімділік сипаттама болып табылады және берілген жүктеме мүмкіндігі кезінде кепілдік береді. Сәйкесінше, оның өлшемдері Лог «1» кіріс шекті кернеуінің ($U_{\text{вхмин}}$ кернеу генераторымен КГ берілген) барлық кірулеріне бір уақытта жеткізілуі кезінде, токтың шығыс тізбегінде шығарылуы кезінде (ТГ ток генераторымен беріледі) және қолдану жағдайларымен рұқсат етілген ең аз кернеудің кезінде жүзеге асырылады (Еп кернеу генераторымен беріледі). Бұл шарттар бақыланатын параметрлер үшін ең нашары болып табылады.

Кернеудің барлық кірістеріне Лог «1» бір мезгілде берілуі орындалатын функцияны бақылауды қамтамасыз етеді. Шынында да, кем дегенде бір кіріс кернеуі бойынша Лог «1» тізбекті



11.6-сурет. Логикалық нөлдік және логикалық бірліктің шығу кернеуін өлшеуге арналған схемалары:

а - $U_{\text{ШЫҒ}}^0$ параметрін өлшеу; б - $U_{\text{ШЫҒ}}^1$ параметрді өлшеу

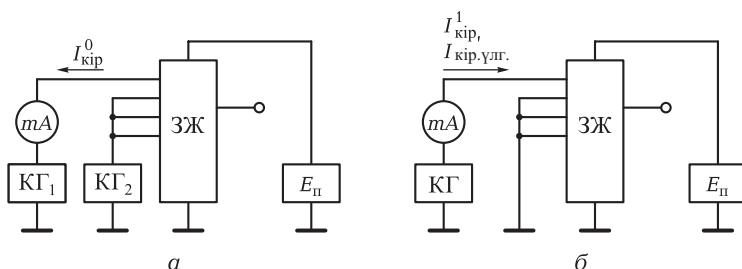
ашу үшін жеткіліксіз болса, онда шығыста Лог «0» сәйкес келмейтін кернеу орнатылады (өлшенген мәні $U_{\text{шығ.макс}}^0$ қарағанда үлкен болмайды) және өнім бұл берілген параметр бойынша жарамсыз болады.

Логикалық бірліктің шығу кернеуін өлшеуге арналған схема 11.6, б суретінде көрсетілген. Бұл параметрдің бақылануы минималды кернеу қорегі кезінде, яғни, E_n кернеу генераторымен берілетін шығу тогында жүргізіледі. Лог «1» режимін қамтамасыз ету үшін шығыста Лог «0» сәйкес болатын кернеуді зерттелетін ЗЖ жүйесінің барлық кірісіне кернеуді жеткізуге болады. Алайда, бұл жағдайда кедергіге төзімділікті қамтамасыз ету үшін кепілдік берілмейді. Кедергіге төзімділікке кепіл беру үшін бақыланатын кірістердің біріне $U_{\text{кір.макс}}^0$ шамасына сәйкес болатын кернеу беріледі, яғни ол $КГ_2$ кернеу генераторымен беріледі. Орындалатын функцияны басқару $КГ_1$ кернеу генераторына кірістерді тізбекті қосу арқылы қамтамасыз етіледі және бұл жағдайда әр кез сайын шығыс кернеудің өзгеруі орын алады.

Логикалық нөлдің кіріс тогын өлшеуге арналған схема 11.7 а суретте көрсетілген. Бұл параметрдің бақылануы әрбір кіріс бойынша өз кезегінде орындалады. Бұл жағдайда, бақыланатын кіріске кернеуі $U_{\text{шығ}}^0$ шамасына тең болатын кернеу генераторы $КГ_2$ қосылады және осы тізбекте жүргізілетін ток өлшенеді. Әрбір өлшемде қалған енгізулер кернеу генераторына $КГ_2$ қосылады, онда Лог «1» максималды кернеуіне тиісті кернеу қосылған. E_n кернеу генераторымен берілетін қоректенудің максималды шамасына сәйкес өзгерген шама максималды түрде тең болатын ең нашар шарттар.

$I_{\text{кір.үлг.}}$ схемасының кірісіндегі логикалық бірлік пен өткізілетін токтағы кіріс тогын өлшеу үшін арналған схема 11.7, б суретінде көрсетілген. Бұл параметрлердің бақылануы әрбір кіріс бойынша тізбекпен өз кезегінде орындалады. Бақыланатын кіріс кернеуі $U_{\text{шығ.мин}}^1$ параметр мәніне тең және $I_{\text{кір.үлг.}}$ параметрі максималды қорек кернеуіне сәйкес болатын кернеу генераторына қосылады. Бұл көрсетілген параметрлердің ең нашар жағдайы қоректің ең жоғарғы кернеуінің тапсырмасымен қамтамасыз етіледі.

Нақты мысалда $U_{\text{шығ}}^0$, $U_{\text{шығ}}^1$, $I_{\text{кір}}^0$, $I_{\text{кір}}^1$ бақыланатын параметрлердің көмегімен кедергіге төзімділік және ТТЛ схемасының жүктеме мүмкіндігі бақыланатынын қарастырайық. $U_{\text{шығ}}^0$ параметр бойынша қалыпты мөлшерлемесі 16 мА ток жүктемесі кезінде 0,4 В тең деп, ал Лог «1» кіріс шегіндегі кернеуді 2 В деп орнатамыз. $U_{\text{шығ}}^1$ параметріндегі қалыпты мөлшерлеме 2,4 В ша-



11.7-сурет. Логикалық нөлдік, логикалық бірлік және зерттелетін схеманың кірісіндегі өтпелі токты өлшеуге арналған схема:

а – $I_{\text{кір}}^0$ өлшеу параметрі; б – $I_{\text{кір}}^0$ және $I_{\text{кір.үлг.}}$ үлгілерінің параметрлерін өлшеу

масына сай келеді. Мұндағы ток жүктемесі 400 мкА тең, ал Лог «0» шектік кірісі – 0,8 В. $I_{\text{кір}}^1$ параметріне қалыпты мөлшерлеме 0,8 В тең, ал $I_{\text{вх}}^0$ параметрі – 1,6 мА. Сонда бізде:

$$U_{\text{п}}^+ = 0,8 \text{ В} - 0,4 \text{ В} = 0,4 \text{ В};$$

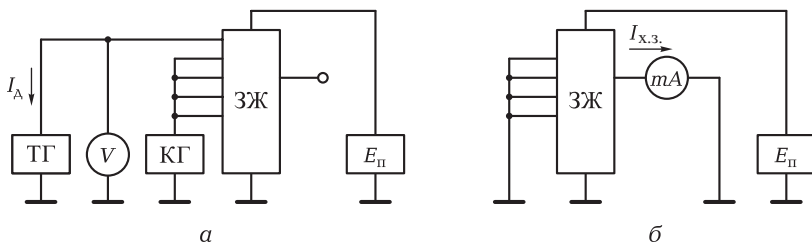
$$U_{\text{п}}^- = 2,4 \text{ В} - 2,0 \text{ В} = 0,4 \text{ В};$$

$$n_{(\text{Лог «0»})} = \frac{16 \text{ ма}}{1,6 \text{ ма}} = 10;$$

$$n_{(\text{Лог «1»})} = \frac{400 \text{ ма}}{40 \text{ ма}} = 10.$$

Жоғарыда келтірілген мысал көрсеткендей, логикалық тізбектің кедергіге төзімділігі 0,4 В құрайды, ал жүктеме мүмкіндігінің көлемі 10.

$U_{\text{д}}$ параметрін бақылау схемасы 11.8 а суретте көрсетілген. Бұл параметрдің бақылануы әрбір кіріс бойынша өз кезегінде бақыланады. Ток генераторы ТГ бойынша ток ағыны $I_{\text{д}}$ беріледі



11.8-сурет. Зерттелуші схемадағы қонырауға қарсы диоды мен қысқа тұйықталу тогының кернеуін өлшеуге арналған схема:

а – $U_{\text{д}}$ параметрін өлшеу; б – $I_{\text{х.з.}}$ параметрін өлшеу

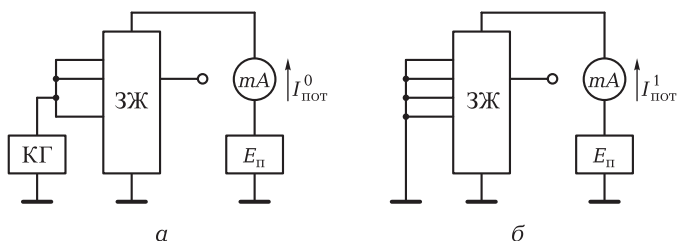
және тізбектің кірісінде кернеуді өлшейді. Бұл параметр қонырауға қарсы диодтың ашық жағдайы кезінде анықталатындықтан, өлшенетін кернеу теріс болады. Бұл параметр үшін ең нашар жағдайлар кезінде кернеу минималды режиміне сәйкес (ол E_{Π} кернеуі көзімен беріледі) және қалған кірістерге Лог «1» тиісті ең жоғары мәнге сәйкес кернеуі беріледі.

$I_{\text{х.з.}}$ параметрін бақылау схемасы 11.8, б суретте көрсетілген. Бұл параметрдің бақылануы оның жалпы шинаға тұйықталуы кезінде шығыс тізбекке жеткізілетін ток өлшемінде қорытындыланады. Бұл жағдайда микросхеманың барлық кірістері осылай жалпы шинаға қосылған. Ең жаман шарттар максималды қорек кернеуі тапсырмасымен қамтамасыз етіледі.

Параметрлердің бақылау схемалары $I_{\text{пот}}^0$, $I_{\text{пот}}^1$ 11.9 суретте көрсетілген. Бұл параметрлердің бақылануы Лог «0» және Лог «1» шығысы жағайында болатын зерттелетін схеманың қорек тізбегінде өтетін токтар өлшемінде қорытындыланады. Лог «0» жағдайының кернеу генераторы КГ, электр желісіндегі кернеуге тең орнатылған кернеуі барлық кірістердің кернеу генераторына КГ қосылуымен қамтамасыз етіледі, оның кернеуі қорек кернеуіне тең болып орнатылады (11.9, а суретті қараңыз). Лог «1» жағдайы барлық кірістердің жалпы шинаға қосылуы арқылы қамтамасыз етіледі (11.9, б суретті қараңыз). Параметрлердің өлшенген мәндері бойынша параметрлері қорек кернеуінің жабдықтау кернеуіне барынша сәйкес болған кезде ең нашар шарт болады (ол кернеу генераторымен E_{Π} анықталады).

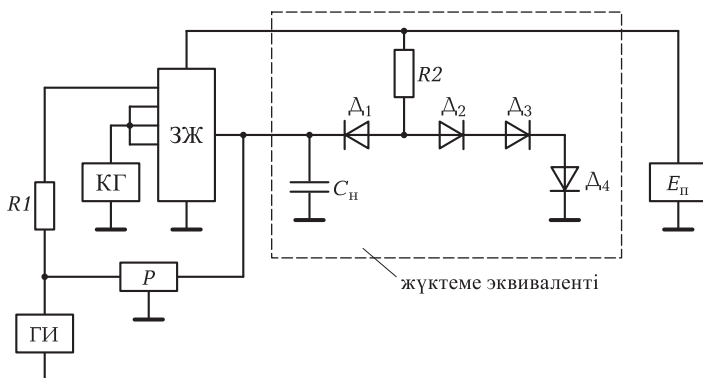
Динамикалық параметрлерді өлшеу схемасы 11.10 суретте берілген. Осы параметрлердің бақылануы екі сәулелі П осциллографтар көмегімен уақыт аралықтарымен өлшенеді.

R1 резисторы тізбек кірісіне тікелей қосылады және импульс генераторын, байланыс желісі және тізбектің кедергі кірісінің келісуі үшін арналған. Осы резистордың кедергісі байланыс



11.9-сурет. Логикалық нөл және логикалық бірліктің тұтыну тогын өлшеуге арналған схема:

а - $I_{\text{пот}}^0$ параметрді өлшеу; б - $I_{\text{пот}}^1$ параметрді өлшеу.



11.10-сурет. Динамикалық параметрлерді өлшеу схемасы

желісінің толқындық кедергісі сияқты мәнде болуы тиіс. Өлшеуіш тізбекке жүктеме баламасы енгізілген, ол өлшеу шарттарын микросхемаларды қолдану шарттарына жақындатады.

$D_1 - D_2$ диодтары ол кезде құрылғының нақты түйіндерінде жүктеме тізбектерін іске қосу кезінде орын алатын баламалы түрдегі R_2 резисторы арқылы E_n түпнұсқасынан алынатын жол арқылы жүктеме токтың іске қосылуын қамтамасыз етеді. C_n жүктеме сыйымдылығы өлшеу жүйесі мен монтаждық платаның кіру сыйымдылығының өлшем жүйесіне ұқсас болады. R_1, R_2 резисторларының кедергілері, C_n сыйымдылық жүктемесі және диодтардың параметрлері оның пайдаланылатын микросхема мен шарттары түріне байланысты таңдалады. Өлшемдері берілген кірісте генератор импульсінен сигнал берілмейді, олар кернеу генераторына $KГ$ қосылған, оның шамасы Лог «1» ең жоғары мәніне сәйкес орнатылады.

Интегралдық схемаларға арналған ТТЛ кідірістің орташа жылдам әрекеттестігі $t_{з,р}^{01} \leq 22$ нс және $t_{з,р}^{10} \leq 15$ нс құрайды.

Осы берілгендерді есептей отырып ауыстыру уақытының орташа шамасы $t_{з,р}^{01} \leq 22$ нс және $t_{з,р}^{10} \leq 15$.

Осы орайда кіріс импульсында мынадай параметрлер бар: амплитудасы 3В, импульстік ұзақтығы 100 нс, импульстардың қайталану жиілігі 1 МГц, импульс жиектері 10 нс.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. $p-n$ диод ауысымы кезіндетік кернеу өлшемінің схемасында ток генераторы қандай функцияны орындайды?

2. Транзисторлар ауысуларының кері токтарын өлшеу кезінде тұрақты токтың айнымалы токқа түрленуі қажеттілігіне не себеп болды?
3. Жартылай өткізгіш құрылғылардың $p-n$ ауысым сыйымдылығын өлшеудің әдістері қандай?
4. «Статикалық кедергіге төзімділік» термині нені білдіреді?
5. Қоңырауға қарсы диод деген не?
6. Логикалық бірліктің кернеуді өлшеу схемасына КГ1 кернеу генераторы қандай мақсатпен қосылды?
7. $I_{х.з.}$ өлшеу параметрінің әдістемесінен U_d параметр өлшем әдісінің айырмашылығы қандай?
8. Динамикалық параметрлердің өлшеу схемасына жүктеме баламасы не мақсатпен қосылды?

АМПЛИТУДАЛЫ-ЖИІЛІКТІК СИПАТТАМАЛАРДЫ ӨЛШЕУ

12.1. АМПЛИТУДАЛЫ-ЖИІЛІКТІК СИПАТТАМАЛАР ӨЛШЕУІШТЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СХЕМАЛАРЫ

Тізбектердің және құрылғылардың қасиеттері елеулі дәрежеде жиіліктік және ауыспалы сипаттамаларына байланысты. Шоғырланған элементтері бар тізбектері үшін амплитудалық-жиіліктік және фазажиіліктік сипаттамалары (ФЖС) маңызды роль атқарады.

Амплитудалық-жиіліктік сипаттамасы (АЖС) дегеніміз кірістегі кернеудің амплитудасы тұрақты болғанда тізбектің шығуындағы кернеудің амплитудасының жиіліктен тәуелділік қисығын айтады. Таңдамалы тізбектердің амплитудалық-жиіліктік сипаттамасын, соның ішінде, тербелісті контурларының, *резонансты қисықтары* деп аталады.

Фазажиіліктік сипаттамасы (ФЖС) – зерттелетін тізбектің шығуындағы және кірістегі кернеулер арасындағы фазалардың айырмасының жиіліктік тәуелділігі. Бұрыштық жиілігі бойынша ФЖС туындысы кідірістің топтық уақытының жиіліктік сипаттамасы болып табылады.

Тізбектердің эксперименталдық зерттеулері барысында әдетте АЖС анықтайды. Бұл келесідей себептерімен түсіндіріледі. Амплитудалық-жиіліктік сипаттамасы жиіліктердің зерттелетін диапазонындағы тізбектің қасиеттерін көрнекілікті етіп көрсетеді. Оны стандарттық өлшеу аппаратурасының негізінде біршама қарапайым техникалық құралдарымен алуға болады. Сонымен қатар, минималды-фазалық тізбектерінде жиіліктік сипаттамаларының арасында бізмәндік сәйкестік бар, сондықтан ФЖС өлшенген АЖС бойынша есептеуге болады.

Минималды-фазалық тізбектері – айқас байланыстары жоқ тербелісті контурлар, сүзгіштер, күшейткіштер және басқа радиожүйелері. *Минималды емес фазалық тізбектеріне* көпірлік және кейбір арнайы схемалары жатады. Іс жүзінде, мини-

малды-фазалық тізбектерді икемдеу барысында олардың АЖС берілген формасын қамтамасыз ету жеткілікті болады. Бұл ретте тізбектің айтарлықтай белгілі ФЖС және кідірістің топтық уақытының сипаттамасы болады.

Радиосхемалардың және радио құрылғылардың амплитудалық-жиіліктік сипаттамаларын зерттеуге арналған аспаптар АЖС өлшеуіштері деп аталады.

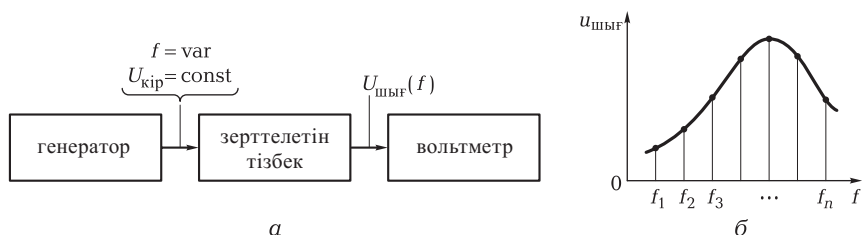
Қарапайым АЖС өлшеуішінің құрылымдық схемасы 12.1,а-суретінде келтірілген. Синусоидалы тербелістердің генераторын жиіліктердің берілген диапазонында қайта құрастырады. Амплитудалық-жиіліктік сипаттамасын немесе кірістегі кернеудің амплитудасы тұрақты болғанда тізбектің шығуындағы кернеудің амплитудасының жиіліктен тәуелділігін генераторды $f_1, f_2, f_3 \dots f_n$ жиіліктеріне тізбектеле икемделген нүктелері бойынша алынады. Өлшеулердің нәтижелері бойынша ізделіп отырған қисық сызылады (12.1, а-сурет).

АЖС алу тәсілі көп еңбекті қажет етеді (12.1-суретті қараңыз). АЖС өлшеу үдерісінің ұзақтығы генератордың және коректенуші кернеулер жиіліктерінің тұрақсыздығымен дәлелденетін қателіктердің пайда болуына әкеліп соқтыртады. Сонымен қатар, өлшеу нүктелері аралықтарында АЖС күрт өзгерулері өтіп кетуі мүмкін.

Аталмыш тәсілдің кемшіліктері схеманың элементтерін әр бір өзгертуден кейін АЖС алу процедурасын қайталауға тура келетін жағдайда тізбектерді және құрылғыларды икемдеу барысында әсіресе қатты байқалады.

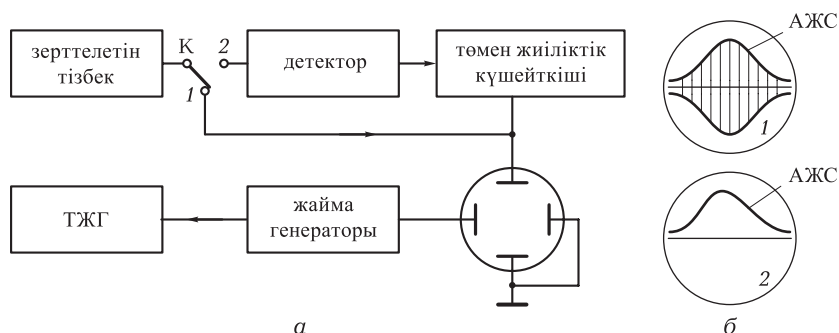
Қазіргі таңда тербелісті жиілікті және электронды-сәулелі индикаторы бар генераторының негізінде құрылған панорамалық автоматтандырылған АЖС өлшеуіштері кеңінен қолданылады. Аталмыш аспаптарды пайдалану АЖС параметрлерін өлшеу уақытын едәуір азайтады және радиосхемалардың икемдеу сапасын көтереді.

Әрекет ету және құрастыру принципі бойынша бұл аспаптар спектрдің гетеродинді анализаторларына тым жақын. Алай-



12.1.-сурет. АЖС нүктелер бойынша алынуы:

а – құрылымдық схема; б – АЖС құру.



12.2.-сурет. Автоматтандырылған АЖС жеңілдетілген құрылымдық схемасы

(а) және ЭСТ экранындағы тиісті бейнелері (б): 1 және 2 –кілттің қалпы.

да, АЖС өлшеуіштерімен спектр анализаторларының арасында спектр анализаторы сигналдардың параметрлерін өлшеуге арналған, ал АЖС өлшеуіші тізбектердің және құрылғылардың сипаттамаларын зерттеу үшін қолданылуымен байланысты елеулі айырмашылықтары бар.

Автоматтандырылған АЖС өлшеуішінің жеңілдетілген құрылымдық схемасы 12.2-суретінде көрсетілген. Аспаптың негізін жиілік бойынша модуляцияланған амплитудасы тұрақты кернеуді өндіруге арналған тербеліс жиілігінің генераторы (ТЖГ) құрайды. Жиілікті өзгерту заңы жайманың ара тәрізді кернеуін пайдаланатын модуляциялаушы кернеудің нысанымен анықталады.

Сонымен, зерттелген тізбектің кірісіне тұрақты амплитудасымен және жиілігі кезеңді өзгертетін кернеу беріледі. Тізбектің шығуындағы кернеу амплитудасының өзгеру заңы АЖС нысанын қайталайды. Егер осы кернеуді ЭСТ ауытқитын тілімшелеріне беретін болсақ, онда экранда зерттелетін тізбектің АЖС бейнесі пайда болады.

ЭСТ кернеуді зерттелетін төртполності аспабының шығуына тікелей немесе детектордан және күшейткіштен кейін беріледі (12.2, а-суретіндегі схемасындағы К жарытап қосықышы 1 немесе 2 қалпында болады). ЭСТ экранындағы тиісті бейнелері 12.2, б-суретінде келтірілген, бұл жерде көрсетілген «нөлдік сызығы» сәуленің кері жүрісінің барысында сызылады. Осы уақытта ТЖГ жабылады.

Бірінші нұсқасы тізбектің шығуында кернеудің амплитудасы жеткілікті үлкен болған жағдайда қолданылады, мысалы, күшейткіштерді зерттеу барысында. Бұл ретте, детектордың сипаттамасының сызықтық еместігімен және аспаптың төмен жиіліктік күшейткішінің АЖС беркелкі еместігімен дәлелденетін

ляторына беріледі және аспаптың экранында жиіліктік шкаласын құрайды.

АЖС өлшеуіші сондай-ақ, шығарылатын және кірістірілген әртүрлі тағайындалымындағы детекторлық бастиектерімен жиынтықталады.

12.2. АМПЛИТУДАЛЫ-ЖИІЛІКТІК СИПАТТАМАЛАР ӨЛШЕУІШТЕРІНІҢ НЕГІЗГІ ТҮЙІНДЕРІ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ

АЖС өлшеуішінің ең маңызды түйіні болып жиіліктің тербелмелі генераторы табылады. Экрандағы жиіліктердің жұмыс диапазоны, жиіліктің максималдық және минималдық жолағы, зерттелетін АЖС жаңғыртуының дәлділігі ЖТГ схемасымен және параметрлерімен анықталады. Жиіліктің тербелмелі генераторы II-тарауында қарастырылған принциптеріне құрылады, сондықтан АЖС өлшеуіштерінде қолданылатын ЖТГ қысқаша сипаттамасымен шектелеміз (12.4-сурет).

Жиілік бойымен (кемінде 5) қайта құрудың шамалы коэффициенті және жиілік тербелісінің шамалы жолағы талап етілген жағдайда жиіліктік модуляторынан және қайта құрылатын орташа жиілігімен бір контурлы автогенераторынан тұратын ЖТГ қолданады. (12.4, а-суретін қараңыз).

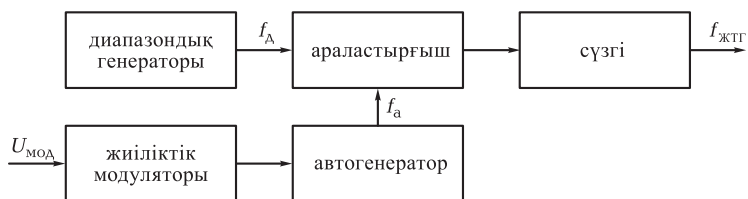
Кең жолақты тізбектерді зерттеу барысында кең жолақта жиіліктің автоматты өзгеру қажеттілігі пайда болады. Мұндай жағдайда гетеродинді үлгісіндегі ЖТГ қолданылады.

Диапазондық генераторларының шығуларындағы және тұрақты орташа жиілікке икемделген автогенераторлардың кернеулері араластырғышқа беріледі. Араластырғыштың шығуындағы ТЖФ көмегімен айырымдық жиіліктің тербелісі бөлініп алынады:

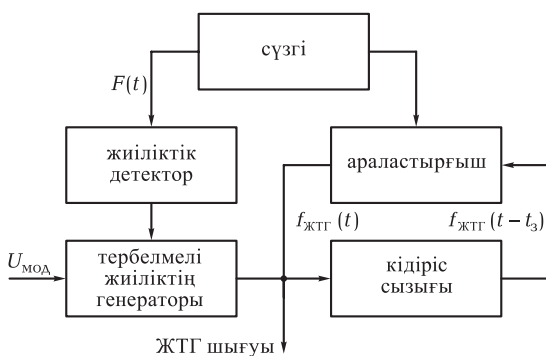
$$f_{\text{ЖТГ}}(t) = f_d - f_a,$$

мұнда f_d - диапазондық генераторының жиілігі, f_a – автогенератордың жиілігі.

Жиіліктің тербеліс жолағы автогенератордың жиілігі өзгертін жолағына тең болады. Жиіліктер әдетте автогенератордың тербелістерінің орташа жиілігінен едәуір төмен болады, сондықтан жиілік бойынша тербелудің салыстырмалы жолағы бірден көп болғанда қайта құрудың коэффициентін 104 дейін деп алуға болады. Осы схеманың артықшылығы болып шығуда үлкен қуат алу мүмкіндігі табылады. Аталмыш схеманың



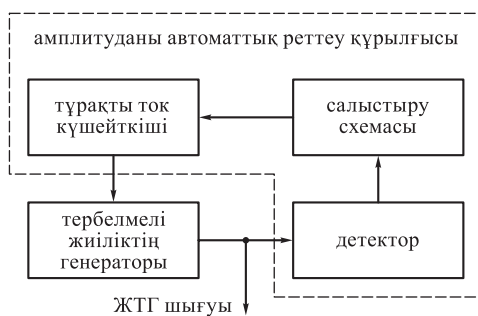
а



б



в



г

12.4-сурет. ГКЧ құрылымдық схемалары:

а – гетеродин үлгісіндегі; б – жиілікті автоматты реттеу жүйесімен; в – жиіліктік детекторы арқылы модуляциялау сипаттамасын желілендіру; г – амплитуданы автоматтық реттелуімен.

кемшіліктеріне шығу кернеуінің нысанының бұрмалаулары пайда болу мүмкіндігі (сүзгінің өткізу жолағына жоғары тәртіптеріндегі үйлесімді тербелістерінің кіріп кету салдарынан) және шығуындағы біршама қуаты жатады.

Модулятор (жайма генераторы) ЖТГ жиілігімен және сәуленің көлденең ауытқуын басқару үшін кернеуді өндіреді. АЖС өлшеуіштеріндегі модуляциялаушы кернеудің нысаны, түптеп келгенде, кез келген болуы мүмкін. x осінің бойымен тұрақты жиіліктік масштабын қамтамасыз ету қажет, яғни, ЖТГ жиілігінің лездік мәндерімен және сәуленің көлденең ауытқуының шамасының арасындағы сызықтық байланысы.

АЖС өлшеуіштерінде жайма кернеуі ретінде модуляциялаушы $U_{\text{мод}}$ кернеуді және оған пропорционал болатын сәуленің көлденең ауытқуы пайдаланылады, онда тұжырымдалған шартты келесідей жазуға болады:

$$f_{\text{ЖТГ}}(t) = a + bU_{\text{мод}}(t), \quad (12.1)$$

мұнда a және b – қайсыбір тұрақты коэффициенттері.

(12.1) ара-қатынасы модуляцияланушы кернеудің өзгерудің кез келген заңында әділ болады. Іс жүзінде, ара тәрізді, үшбұрышты және синусоидалы нысандағы кернеулері қолданылады. Модуляцияланушы кернеудің кезеңі сәуленің тіке және кері жүрісі уақытына бөлінеді. Тіке жүрісі уақытының ішінде сәуле экранда зерттелетін АЖС сызады, ал кері жүрісі жайма сызықтарын тіркеу үшін пайдаланылады, яғни сәуленің тігінен нөлдік ауытқуына сәйкес келеді. Бұл ЖТГ сәуленің кері жүрісінің уақытына модулятордың ішінде пайда болатын арнайы импульстарымен жабылады.

АЖС өлшеуіштеріндегі жиілік тербелісінің үшбұрыштық заңымен жиілікті тербелуші генераторы құлыпталмайды және сәуле зерттелетін АЖС тіке және кері жүрісінде де сызылады. Бұл өлшеулердің динамикалық қателіктерін бақылауға мүмкіндік береді (1274-суретінің тарауын қараңыз). $f_{\text{ЖТГ}}(U_{\text{мод}})$ тәуелділігін ЖТГ модуляциялық сипаттамасы деп аталады. (12.1) ара-қатынасынан көрініп тұрғандай, аталмыш тәуелділігі сызықтық болуы тиіс. Оның сызықтылық еместігі аспаптың экранындағы зерттелетін АЖС нысанының бұрмалануына әкеліп соғады.

ЖТГ модуляциялау желілендірудің негізгі тәсілдерін қарастырайық.

1. Бірқатар жағдайларда бұл мәселені схеманың ішіне функционалдық түрлендіргіштің диодтық өлшеуішін енгізу арқылы шешеді. Автогенератордың контурына модулятормен және сызықтық емес элементінің арасына диодты түрлендіргішті қо-

сады. Осы схемасы арқылы ЖТГ қажетті жиілік өзгеру заңы қамтамасыз етілетіндей модуляциялаушы кернеу нысанының осындай өзгеруі жүзеге асырылады, яғни, модуляциялық сипаттамасының сызықтылығы. Аталмыш тәсілі өте қолайлы, себебі, ол диодтық түрлендіргіштер схемаларының қарапайымдылығына, олардың көмегімен іс жүзінде дәлділігі жоғары дәрежедегі кез келген функциясын жуықтау мүмкіндігіне ие.

2. Ара тәрізді модуляциялаушы кернеуінде модуляциялау сипаттамасының сызықтығы ЖТГ жиілігін сызықтық заңымен өзгерту барысында қамтамасыз етіледі. Мұндай жағдайда 12.4, б-суретінде көрсетілген жиілікті автоматтық реттеу жүйесін пайдаланған жөн. Кернеу араластырғышқа ЖТГ шығуынан және кідіріс сызығынан беріледі. Кідіріс уақыты жиілікке байланысты болмауы тиіс. Бұл жерде кідіріс сызығының шығуында кірістегі тербелістерге қатысты t_3 уақытына ығысады. ТЖФ арқылы араластырғыштың шығуында айырмашылық жиілігінің тербелісі бөлініп алынады:

$$F(t) = f_{\text{ЖТГ}}(t) - f_{\text{ЖТГ}}(t - t_3).$$

Әлбетте, $f_{\text{ЖТГ}}(t)$ сызықтық тәуелділігінде айырымдық тербелісінің тұрақты жиілігі болады, яғни: $F_0(t) = f_{\text{ЖТГ}}(t_3) - f_{\text{ЖТГmin}}$, мұнда $f_{\text{ЖТГmin}}$ – ЖТГ минималдық жиілік мәні.

Осы жиілікке жиіліктік детекторын икемдейді. ЖТГ жиілік өзгеру заңы сызықтықтан ауытқуында жиіліктік детектордың шығуында қателіктің кернеуі пайда болады. Автогенератордың схемасындағы сызықтық емес элементіне әсер етуімен бұл кернеу ЖТГ модуляциялау сипаттамасына желілендіреді.

3. Жиіліктік детекторды қолдануға негізделген модуляциялық сипаттаманы желілендіру әдісі 12.4, в-суреттегі схемасымен түсіндіріледі. Автогенератордың тербелмелі жиілікпен тербелістері автогенератордың орташа жиілігіне икемделген жиіліктік детекторына беріледі. Жиіліктік детектордың шығуындағы кернеу сәуленің көлденең ауытқуына пайдаланылады. Мәлім болғандай, аталмыш кернеудің шамасы сызықты түрде жиіліктік детекторының кірістегі тербелісінің жиілігіне байланысты.

Модуляциялық сипаттамасының желілендіру тәсілін автогенератордың орташа тұрақты жиілігінде қолданған жөн, яғни, ол гетеродинді үлгісіндегі ЖТГ схемасына қосулы тұрғанда (12.4, а-суретін қараңыз). Іс жүзінде бұл тәсіл жиіліктердің кең жолағындағы сызықтық сипаттамасы бар жиіліктік детекторын құру қиындылығынан жиіліктің тербелуінің шағын жолағында ғана пайдаланылады.

Амплитудалы-жиіліктік сипаттамасы зерттелетін құрылғының кірісіндегі кернеудің тұрақты амплитудасында алынуы

тиіс, яғни, ЖТГ кернеуінің тұрақты амплитудасында. Тербелу жолағы шектеріндегі ЖТГ кернеу амплитудасының тұрақсыздығы экранда зерттелетін АЖС нысанының бұрмалануын туындатады. ЖТГ қайта құрылған кезіндегі осы шаманың өзгеруі зерттелетін тізбектің беріс коэффициентін анықтау барысында қателіктерге әкеледі. Заманауи АЖС өлшеуіштерінде ЖТГ кернеуінің амплитудасын тұрақтандыру үшін арнайы шаралары қабылданады. Аспаптың схемасына 12.4, г-суретінде бейнеленген ААР құрылғысы енгізіледі.

ЖТГ кернеуі ААР жүйесінің детекторына келіп түседі. ЖТГ кернеуінің амплитудасына пропорционал болатын детектордың шығуындағы кернеу тұрақты тіректі $U_{\text{оп}}$ кернеуімен салыстырылады. Күшейтілген айырымдық кернеуі (қателік сигналы) ЖТГ беріледі және оның тербелістерінің амплитудасын тұрақтандырады.

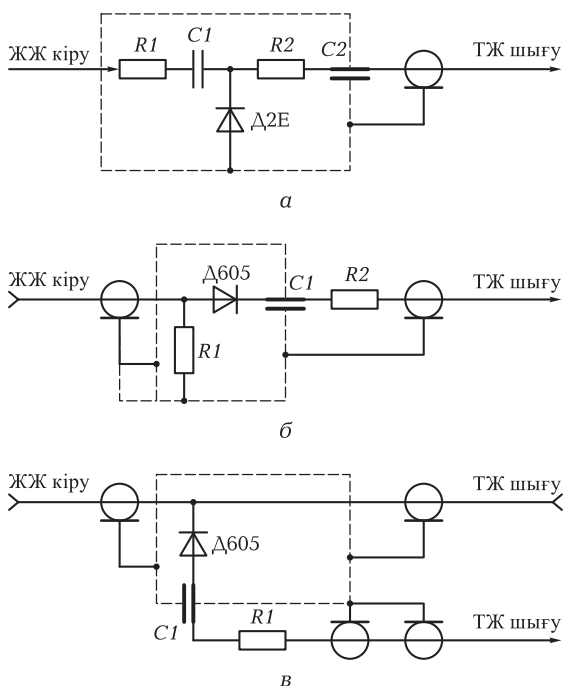
Төменгі жиіліктердегі ААР детекторы ретінде жоғары омды детекторлық бастиекті пайдаланады, жоғары жиіліктерінде өтпелі үлгісіндегі (детекторлық бастиектердің суреттемелері төменде келтірілген) бастиегін қолданады. ААР жүйесінің күшейткіші, ережеге сай, шығу кернеуінің шамалы ығысуымен тұрақты токтың күшейткіші болып табылады. ЖТГ кернеуінің амплитудасын тұрақтандырудың қарастырылған тәсілінің кемшілігі келесідей, яғни, тербелістер амплитудаларының өзгеруі, ережеге сай, жиіліктің қосымша модуляциясына әкеліп соғады, ал бұл өз кезегінде, экрандағы АЖС нысанының бұрмалануын тудырады.

Аталған кемшілік ЖТГ кернеуінің амплитудасын тұрақтандырудың басқа тәсілінде жоқ. Осындай генераторымен және зерттелетін құрылғының арасында электрлі өзгертін күшейту коэффициентімен кең жолақты күшейткішін қосады. ААР жүйесінің шығуындағы кернеу күшейту коэффициентін реттейді, осылайша, зерттелетін құрылғының кірісіндегі кернеуді тұрақтандырады.

Жоғары жиіліктерінде ЖТГ кернеуінің амплитудасын тұрақтандыру үшін кеңжолақты электрлі басқарылатын аттенюаторлары қолданылады.

АЖС өлшеуіштері шығарылмалы және кірістірілген үш үлгісіндегі детекторлық бастиектерімен жиынтықталған: жоғары кедергілі, келісімделген акырғы үлгісіндегі және келісімделген өтпелі. Детекторлық бастиектердің принциптік схемалары 12.5-суретінде келтірілген.

Жоғары кедергілі детекторлық бастиектері зерттелетін тізбегіне минималды әсер ететін кернеуді өлшеу үшін арналған. Олар бірнеше жүздеген мегагерц дейінгі жиіліктерінде қолданы-



12.5-сурет. Детекторлық бастиектерінің принциптік схемалары: а – жоғары кедергілі, б – ақырғы келісімделген, в – өтпелі келісімделген.

лады. Жоғары кедергілі детекторлық бастиектің жеткілікті мөлшердегі кірісті белсенді кедергісі, шағын кіру сыйымдылығы және жиіліктердің жұмыс жолағындағы біркелкілі АЖС бар.

Детекторлық бастиегінің жиіліктік сипаттамасының тегістелуі кіру тізбегінің әсерін әлсіздендіретін диодпен тізбектеле шамалы белсенді кедергісін қосу арқылы қол жеткізіледі (12.5, а-суретінде бұл рольді $R1$ резисторы орындайды).

Келісімделген ақырғы детекторлық бастиектері кума толқынды режимінде жұмыс істейтін жоғары жиілікті тракттарының шығуындағы кернеуді өлшеу үшін қолданылады. Бұл бастиектерінде кірісіндегі $K_{тт}$ кернеудің тұрғын толқынының шағын коэффициенті және жиіліктердің жұмыс диапазонындағы ЖТГ біркелкілі болуы тиіс. Кернеудің тұрғын толқынының шағын коэффициенті жоғары жиіліктік трактасы бар детекторлық бастиегінің кірісінің келісімделуін қамтамасыз етеді. Бұл үшін сіңіруші резистордың $R1$ кедергісі (12.5, б-суретін қараңыз) зерттелетін тракттың толқынды кедергісіне тең етіп орнатылады. Детекторлық бастиегінің АЖС біркелкілігі құрасты-

рылымның ықшамдылығымен қол жеткізіледі, соның ішінде, диодты тікелей резистордың қасында қосуымен.

Келісімделген өтпелі детекторлық бастиектері ЖТГ кернеу амплитудасының біркелкілі еместігін бақылау, сондай-ақ, кейбір өлшеулері үшін пайдаланылады. *Өтпелі детекторлық бастиегі* ішкі өткізгішіне диод қосылған коаксиалды сызығының кескіні (12.5, в-суретін қараңыз). Диодтың сыйымдығының орнын толтыру үшін диод орналасқан жердің аумағындағы коаксиалдың сыртқы диаметрін біршама көбейтеді. Кезкелген үлгісіндегі детекторлық бастиектің негізгі кемшілігі болып оның детекторлық сипаттамасының сызықтық еместігі табылады. Бұл жағдай диодтың вольт-амперлік сипаттамасының бейидалды нысанымен байланысты.

Детекторлау сипаттамасын бейнелейтін қисықты тәжірибеге дәлділігі жеткілікті болатындай етіп, екі учаскеге бөлуге болады, яғни, *бастапқы*, детектор тогының кіріс кернеуінің амплитудасының квадраттық тәуелділігімен, және *сызықтық*. Германий жартылай өткізгішті диодтары бар детекторлық бастиектері үшін кіріс кернеуінің амплитудасының шекаралық мәні әдетте 0,2 В құрайды. АЖС өлшеуіштерінде сызықтық учаскесінде детекторлау сипаттамалары жұмыс істейді. Бұл үшін зерттелетін тізбектің шығуындағы кернеу амплитудасы көрсетілген шамадан көп болуы тиіс.

12.5-суретте $R1$ және $R2$ резисторлар; $C1$ және $C2$ – конденсаторлар; $D2E$, $D605$ - пайдаланылатын диодтар.

АЖС өлшеуішінің индикаторлық құрылғысына тік және көлденең арналарының күшейткіштері және ЭСТ кіреді.

ЭСТ үлгісін тандау оның пайдаланушы қасиеттерімен анықталады, атап айтқанда: экранның өлшемдерімен, сезімталдығымен, сәулені фокустау сапасымен, жиіліктердің жұмыс жолағымен және т.б. Модуляциялаушы кернеуінің жиілігіне қарай қалдықты жарықтануы қалыпты немесе ұзақты ЭСТ пайдаланады. АЖС өлшеуіштерінде сәулесі электростатикалық ауытқитын осциллографтық түтіктерімен қатар сәуленің магнитті ауытқуымен теледидар үлгісіндегі түтіктері де қолданылады. Соңғыларының экраны, ауытқулары электростатикалық түтіктеріне қарағанда, әдетте тік бұрышты, өлшемі едәуір ауқымды болып келеді, және сәуленің фокусталуы да жақсы.

ЭСТ кемшіліктері болып сәуленің ауытқуына қажетті үлкен қуаттары және жиіліктердің шағын жұмыс жолағы табылады, ал бұл негізінде шарғыларды ауытқытатын үлкен индуктивтіліктерімен дәлелденеді. Индикатордың жиіліктік сипаттамаларын тегістеу үшін тіке және көлденең арналарының күшейткіштерінің ақырғы каскадтарындағы теріс кері байланысы қолданылады.

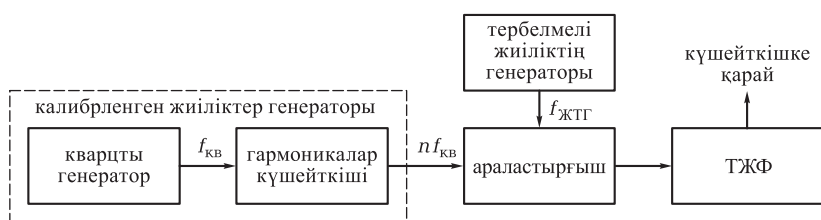
12.3. АМПЛИТУДАЛЫ-ЖИІЛІКТІК СИПАТТАМАЛАРДЫҢ СИПАТТЫ НҮКТЕЛЕРІНІҢ ЖИІЛІКТЕРІН ӨЛШЕУ

АЖС зерттеу барысында АЖС өлшеуіштерінің экранындағы бейнелердің сипатты нүктелеріне сәйкес келетін жиіліктерді және жиіліктік аралықтарды өлшеу қажеттілігі пайда болады. Аталмыш өлшеулері жылжымалы немесе жылжымайтын жиіліктік таңбалары арқылы орындалады.

Заманауи аспаптарында қолданылатын жиіліктік таңбалардың түзілу және жиіліктерді өлшеу тәсілдерін қарастырайық. АЖС өлшеуіштерінде жылжымайтын тең қашықтықта орналасқан жиіліктік таңбалар жүйесін жиі қолданады. Таңбалар спектрының құрамында тұрақты калибрлеу жиіліктері бар кернеуімен ЖТГ кернеулерінің нөлдік қағыстарынан қалыптасады. Жиіліктік таңбалардың түзілуінің осы тәсілінің мағынасы 12.6-суретінде келтірілген құрылымдық схемасымен түсіндіріледі.

Жиіліктердің тұрақтылығы жоғары генераторынан (өдетте кварцты) кернеу индуктивтік жүктемесімен күшейткіш-шектеуші түріндегі гармоникалардың күшейткішіне беріледі (12.6-суретті қараңыз). Оның жұмыс режимі шығуындағы кварцталған жиілігінің гармоникаларының көп саны алуға болатындай таңдалады. Араластырғышқа белгілі заңмен уақыт бойына өзгеретін жиілігі бар ЖТГ кернеуі және спектрі кварц генераторының жиілігіне еселікті болатын жиіліктерінен тұратын күрделі нысандағы кернеуі келіп түседі. кезінде кварц жиілігінің гармоникасының жеткілікті мөлшерін алу үшін таңдалады. Нөлдік қағыстар калибрлеу жиіліктеріне сәйкес болатын ЖТГ жиіліктеріне тең болуымен түзіледі.

Нөлдік қағыстар кернеуі төменгі жиіліктердің сүзгісімен бөлініп алынады. Кернеу төмен өту сүзгісімен бөлінеді. Ережеге сай, бұл үшін қиықтың жеткілікті төмен жиілігімен RC-сүзгілері



12.6-сурет. Жиіліктік таңбалардың нөлдік қағыстар әдісімен түзілудің құрылымдық схемасы

пайдаланылады. Сүзгі қиығының жиілігінің көбеюі экрандағы таңбалардың кеңеюіне әкеліп соғады. Сүзгінің шығуындағы кернеу төменгі жиіліктің күшейткішіне келіп түседі. Қағыстардың күшейтілген кернеуі тіке ауытқитын тілімшелеріне немесе ЭСТ модуляторына беріледі және аспаптың экранында жиіліктік шкаласын түзеді. Екі көршілес таңбалардың арасындағы жиіліктік аралық кварцтық генераторының жиілігіне тең болады.

Экрандағы жиіліктік шкаласының масштабын өзгерту үшін (таңбалар арасындағы аралықтардың) әртүрлі кварцты генераторлары қосылады немесе жиілік бөлгіштері пайдаланылады. Жиіліктік таңбалардың түзілуінің осы қарастырылған тәсілі көптеген кең жолақты АЖС өлшеуіштерінде қолданылады.

Симметриялық АЖС бар тар жолақты тізбектерді зерттеу барысында үш жылжымалы жиіліктік таңбалар жүйелерін пайдаланған ыңғайлы болады.

Таңбалардың түзілу құрылымдық схемасы 12.7, а-суретінде келтірілген. Жоғары жиіліктік диапазонды генераторы f_1 жиілігімен амплитудасы бойынша төмен жиіліктік диапазондық генераторынан жиілігі f_2 синусоидалы кернеумен модуляцияланады. Кернеу жоғары жиіліктік генераторының шығуынан араластырғышқа беріледі. Сонымен, араластырғышқа жиіліктері f_1 , $f_1 - f_2$, $f_1 + f_2$ тербелістері және уақытпен өзгертін жиілігі $f_{ЖТГ}$ ЖТГ кернеуі келіп түседі. Кернеудің таңбалары төменгі жиіліктер сүзгісімен және көрсетілген жиіліктердің және ЖТГ кернеуінің арасындағы нөлдік қағыстарынан қалыптасады.

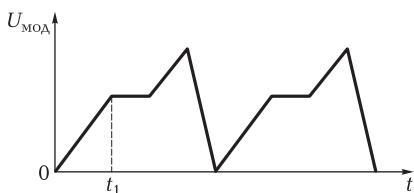
Таңбалардың күшейтілген кернеуі ЭСТ беріледі. Жоғары және төменгі жиілікті генераторларының икемдеу жиіліктерін өзгерте отырып, таңбаларды зерттелетін АЖС сипатты нүктелерімен біріктіреді (12.7-сурет, б). Таңбалардың жиіліктерін генераторлардың шкалалары бойынша анықтайды.

АЖС өлшеуішінің экранындағы жиіліктерді өлшеу дәлдігін ЖТГ жиіліктерін және сәуленің көлденең ауытқуын модуляциялау үшін кернеудің $U_{\text{мод}}$ сызықтық-сатылы нысанын пайдала-



12.7-сурет. Жиіліктерді үш жылжымалы таңбалар арқылы өлшеу: а – белгілердің түзілу схемасы; б – ЭСТ экранындағы бейне

12.8-сурет. Сызықтық-сатылық кернеу



нуымен көтеруге болады (12.8-сурет). Сатының басталуына сәйкес келетін t_1 уақыт сәтінде ЖТГ жиілігі және электрондық сәуле тоқтайды. Зерттелетін АЖС жарықтығы сатының ұзақтығымен, ал диаметрі – сәуленің фокусталуының сапасымен анықталатын жылтыраған нүкте пайда болады.

Жиілік сатының уақытының ішінде электронды-есептегіш жиілік өлшеуішімен өлшенеді. Жиілік өлшеуішін іске қосу үшін уақыт бойынша сатының басымен сәйкес келетін импульстерді пайдаланады. Сатыны және тиісінше ЭСТ экранындағы жылтыраған нүктені жылжытып, зерттелетін АЖС сипаттайтын жиілікті өлшейді.

Сызықтық-сатылық кернеу фантастронды схемалары немесе саты пайда болатын (электронды кілті) схемасының ара тәрзді кернеудің кәдімгі генераторына қосу арқылы қалыптасады. Сатының ұзақтығы жиілік өлшеуішінің есептеу уақытымен анықталады, яғни, жиіліктің өлшеу уақытымен анықталады. Қарастырылған тәсілі жиіліктерді жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді, алайда, ол жиіліктің тербеліс кезеңінің елеулі көбеюін талап етеді (іс жүзінде бірнеше секундқа дейін), ал бұл оның қолдануын шектейді.

12.4. АМПЛИТУДАЛЫ-ЖИІЛІКТІК СИПАТТАМАЛАР ӨЛШЕУІШТЕРІНІҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ

АЖС өлшеуіштерінің негізгі тағайындалымы болып сызықтық төртполюстік аспаптарының амплитудалық-жиіліктік сипаттамаларын зерттеу табылады. АЖС өлшеуіштері, сонымен қатар, АЖС тіктігінің жиіліктік тәуелділігін зерттеу, тербелісті контурларының және резонаторларының төзімділігін, жоғары жиіліктік тізбектерінің параметрлерін өлшеу үшін қолданылады.

Осы өлшеулердің әдістемелігін және ерекшеліктерін қарастырайық.

АЖС өлшеу. Өлшеуіштің экранында АЖС бұрмаланбай жаңғыртылуы үшін зерттелетін құрылғының қасиеттеріне және

жұмыс диапазондарына байланысты бір қатар шарттарын орындау қажет.

Аспапты пайдаланудың қалыпты режимі ЖТГ келісімделген жүктемесіне жұмысына сәйкес келеді. Әдетте төмен жиіліктердегі ЖТГ шығу кедергісі 600 Омға тең болады, ал жоғары жиіліктерінде – 75 немесе 50 Ом болады. Егер зерттелетін төртполюсты аспаптың кіріс кедергісі көрсетілген шамаларынан елеулі ерекшеленетін болса, онда келісімдеуші құрылғылар пайдаланылады. Соның ішінде, төртполюсті аспабында төмен кедергілі кірісі болады, кернеу бөлгіштерін қосады.

Келісімдеу сапасын аспаптың индикаторлық құрылғысына ЖТГ және зерттелетін төртполюсті аспабы арасында қосылған өтпелі келісімделген детекторлық бастиегі бар кернеуін бере отырып, тексеруге болады. Бұл ретте, экранда жиіліктің тербелуінің орнатылған жолағындағы кернеу амплитудасының біркелкі еместігін бағалауға болатын ЖТГ айналып өтетін кернеудің бейнесі пайда болады.

Белсенді төртполюсты аспаптарды зерттеу барысында, соның ішінде, күшейткіштерді, АЖС амплитудалық сипаттамаларының сызықтық еместігінің салдарынан АЖС нысанының бұрмалануы мүмкін. Аталмыш бұрмалануларды ЖТГ кернеуінің көбеюімен зерттелетін АЖС нысанының өзгеруінен анықтауға болады. Күшейткіштердің АЖС алуын кірістегі минималды қажетті кернеуінде жүзеге асырған жөн, бұл жерде осы кернеудің азаюы экрандағы АЖС нысанының өзгеруін туындатпауы тиіс.

Төртполюсты аспаптарының ауқымды өшуімен АЖС өлшеу барысында зерттелетін тізбектің шығуындағы кернеу аз болады. Бұл ретте детектордың сипаттамасының сызықтық емес учаскесінде жұмыс істеуімен пайда болған АЖС нысанының бұрмалануы пайда болады.

АЖС көптеген өлшеуіштері үшін жұмыстың қалыпты режимі детектордың бастиегінің кірісіндегі 0,2 В астам кернеуін беруіне сәйкес келеді. Аталмыш кернеу 10 мкВ дейін азайған жағдайда детектордың беріс коэффициенті шамамен 10 есе төмендейді, сондықтан өшуі ауқымды құрылғыларды зерттеу барысында зерттелетін тізбектің шығуындағы кернеу алдымен кең жолақты күшейткішіне, кейін – детекторлық бастиегіне беріледі. Бұл детектордың сипаттамасының сызықтық еместігімен дәлелденетін АЖС нысандарының бұрмалануларын жояды, бірақ АЖС күшейткішінің біркелкілі еместігімен байланысты қосымша қателіктеріне әкеліп соғады.

Өлшеуіштерді жиіліктердің түрлендірілуімен АЖС схемаларды және құрылғыларды зерттеу үшін пайдалануға болады. Бұл ретте ескерілетін жәй, яғни, жиіліктік таңбалар ЖТГ жиілігіне

сәйкес болады, ал бақыланатын АЖС – зерттелетін схеманың шығуындағы жиілігіне. Осылайша, жиілікті гетеродинді түрлендіру жағдайында және таңбаның айырымдық құраушы кернеуін бөліп алғанда аспаптың экранында $f = f_m - f_{\text{гет}}$ жиіліктеріне сәйкес болады, мұнда f_m – таңбаның жиілігі, $f_{\text{гет}}$ – зерттелетін схеманың гетеродиннің икемдеу жиілігі. Бұл ретте таңбалар арасындағы жиіліктік аралықтары өзгермейді.

Бұрын айтылғандай, АЖС өлшеуіштері детекторлық бастиектерінің жиынтығымен жабдықталады. Төмен жиіліктік құрылғыларының АЖС өлшеу барысында зерттелетін құрылғының неғұрлым шығуында, соғұрлым аралық нүктелерінде қосылатын жоғары кедергілі детекторлық бастиектерін пайдаланады. Жиілік көтерілген сайын детекторлық бастиектің кіріс кедергісі төмендейді және оның зерттелетін тізбекке тиетін әсері байқалатын болады, сондықтан жоғары жиіліктерінде тізбектің шығуында жүктеменің орнына қосылатын келісімделген детекторлық бастиектері қолданылады. Аталмыш бастиектің кіріс кедергісі жүктеменің кедергісіне тең болуы тиіс. Қажет болған жағдайда детекторлық бастиек келісімдеуші құрылғысы арқылы қосылады.

Төзімділікті өлшеу. Зерттелетін тізбектің резонансты жиілігін f_0 және оның өткізу жолағын Δf_0 өлшеуіне негізделген өте қарапайым тәсілі. Төзімділік келесідей формуласымен есептеледі:

$$Q = f_0 / \Delta f_0.$$

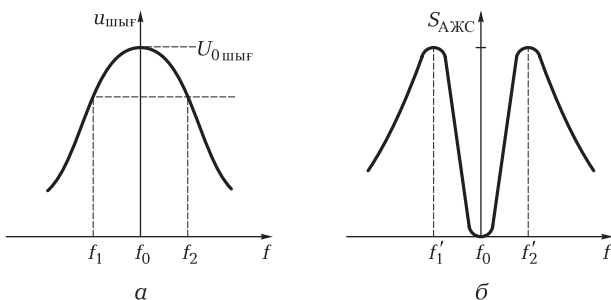
Детекторлық бастиегінің және тік арнасының күшейткішінің сызықтық сипаттамаларында өткізу жолағы $0,707 U_{0 \text{ шығ}}$ деңгейінде анықталады, мұнда $U_{0 \text{ шығ}}$ – тізбектің шығуындағы максималды кернеуі (12.9, а-сурет). Бір қатар жағдайларында келесі формуласын пайдаланған қолайлы болады, яғни:

$$Q = 0,5 \frac{f_1 + f_2}{f_2 - f_1}.$$

мұнда, f_1 және f_2 – $0,707$ деңгейінде есептелген жиіліктері.

Төзімділікті анықтаудың едәуір дәлірек тәсілі АЖС құламалық сипаттамасының жиіліктік максимумдары арасындағы жиіліктік аралығының өзгеруіне негізделген. Бұл қисықты ЭСТ экранында бұрын суреттелген ЖТГ кернеуінің қос еселенген жиіліктік модуляциялау тәсілімен алуға болады. Тербелісті контурының амплитудалық-жиіліктік сипаттамасының келесідей максималды тіктігі болады жалпыланған бұзылуларында:

$$\zeta'_{1,2} = \frac{2(f'_{1,2} - f_0)}{\Delta f_0} = \pm 0,707$$



12.9-сурет. Тербелістік контурының жиіліктік сипаттамалары:

а – АЖС; б – АЖС құламасының жиіліктік сипаттамасы.

мұнда, $f'_{1,2}$ - АЖС тіктігінің жиіліктік сипаттамасының максимумдарына сәйкес келетін жиіліктері (12.9, б-сурет).

(12.3)-формуласынан (12.2)-формуласын ескеруімен, келесідей есептеу формуласы шығады:

$$Q = 0,5 \frac{f'_1 + f'_2}{f'_2 - f'_1}.$$

Төзімділікті АЖС өлшеуіштерімен анықтау барысындағы қателіктер ең алдымен козу тізбектерінің және детекторының тұйықтаушы әрекетімен және экрандағы АЖС динамикалық бұрмалануларымен дәлелденеді, сондықтан зерттелетін тізбектің және ЖТГ бір-бірімен минималды байланыста болуына тырысу керек, және кіріс кедергісі ауқымды детекторлық бастиегімен пайдаланған жөн.

Динамикалық қателіктерді азайту үшін ЖТГ жиілігінің өзгеруінің жылдамдығын бұрын баяндалғандарды ескеруімен орнатқан жөн.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. АЖС өлшеуіштерінің құрылымдық схемасының ерекшеліктері қандай?
2. Автоматтандырылған АЖС өлшеуішінің схемасының ерекшелігі қандай?
3. Кез келген АЖС өлшеуішінің схемасындағы қандай түйіні негізгі болып табылады?
4. Детекторлық бастиектерінің қандай схемалары бар?
5. АЖС алу және құру әдістемелігі қандай?

МИКРОПРОЦЕССОРЛЫҚ, КОМПЬЮТЕРЛІК ЖӘНЕ ВИРТУАЛДЫҚ ӨЛШЕУШІ АСПАПТАР МЕН ЖҮЙЕЛЕР

13.1. НЕГІЗГІ МӘЛІМЕТТЕР

Өлшеулерді автоматтандыру көптеген өлшенетін параметрлерді одан да тез өңдеуге, өлшеулердің дәлдігіне қойылатын талаптардың жоғарлауына және олардың тезәрекеттігіне (үлкен көлемді ақпаратты өңдеу мен қабылдау кезінде оператордың шектеулі мүмкіндіктері жағдайында) және, демек, өлшеулер үдерісіндегі оператордың рөлі менжұмысбастылықты төмендетуге мүмкіндік береді.

Сандық өлшеу құралдар құрылымына көшу микропроцессорларды пайдаланатын автоматтандырылған өлшеу жүйелерін құруға әкелді.

Цифрлық технология негізінде салынған автономдық программаланбайтын аспаптар мен икемді өлшеу жүйелері (ИӨЖ) **автоматтандырылған өлшеу құралдары** болып саналады.

Автономдық программаланбайтын аспаптар қатаң бағдарламаға сәйкес жұмыс істейді және белгілі бір сигнал параметрлерін және тізбектік сипаттамаларын өлшеуге арналған болады. Осы құрылғылардың ішінде автоматты түрде осындай сигналының полярлығын анықтау және өлшеу ауқымын орнату сияқты өлшеу операцияларының бір бөлігі ғана орындады.

Икемді өлшеу жүйелері әртүрлі физикалық шамаларды өлшеу және өлшеу режимін өзгерту үшін бағдарламалық құралды қайта құруға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда өлшеу жүйесінің аппараттық бөлімі өзгермейді. *Құрылымдық құрылысы бойынша* ИӨЖ интервалға, микропроцессорға және компьютерлік өлшеулерге бөлінеді.

Ең қуатты ИӨЖ түрлері құрылғыларды және ақпараттық дисплей құрылғыларын өлшеу, компьютер жүйесін өлшеу бірінде

арнайы көпөткізгішті сызықпен біріктіру арқылы құрылған өлшеуіш есептегішкешендері (ӨЕК) жатыр. Компьютер мен барлық басқа түйіндер арасындағы байланыс және олардың үйлесімділігі аппараттық, бағдарламалық және конструктивті құралдардың тіркесімі арқылы қамтамасыз етіледі.

Компьютердің өлшем құралдарымен немесе кез келген басқа сыртқы жүйелерімен түйіндестіру құрылғысы *интерфейс* деп аталады. Кейде автоматтандырылған жүйенің бағдарламалық жасақтамасы осы тұжырымдаманы қамтиды. Әдетте, ӨЕК жалпы арқаулық жүйеге қосылған стандартты құрылғылар (модульдер) және стандартты интерфейстерді пайдаланады. Сонда жаңа метрологиялық тапсырманы шешу үшін тек ақпарат көзі немесе алушысы немесе бағдарламалық жасақтама ретінде пайдаланылатын кейбір модульдерді ауыстыру жеткілікті болады.

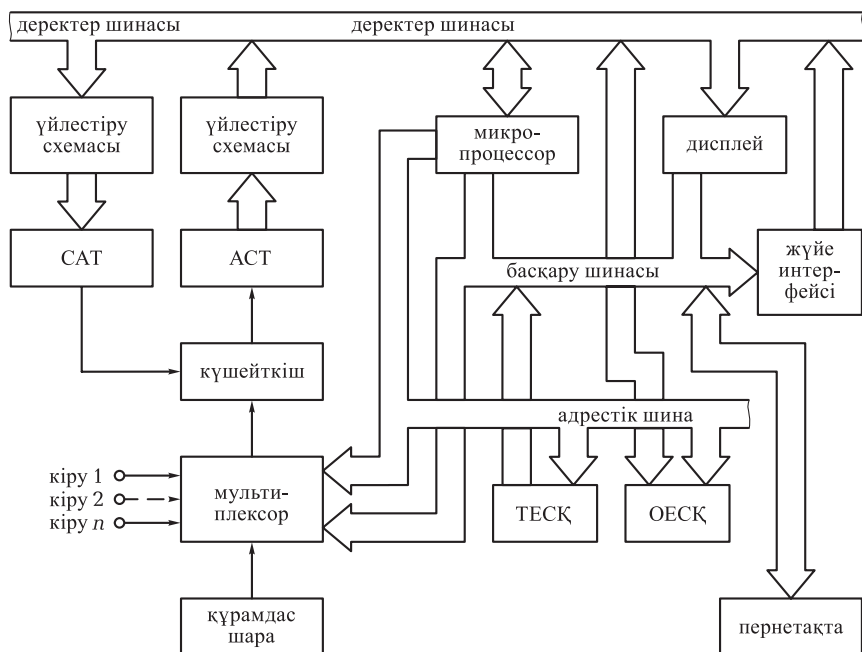
Микропроцессорлық ИӨЖ ішінде барлық тораптар микропроцессорлық магистралға тікелей қосылады. Кіріктірілген микропроцессорлар қызмет көрсетуді жүзеге асырады, өлшеудің әртүрлі режимін қамтамасыз етеді және сигналдың немесе тізбектің бірқатар параметрлерін анықтайды. Мұндай құрылғылардың жұмысы жад құрылғысында сақталған бағдарламаларға сәйкес орындалады.

Қазіргі уақытта көптеген өлшеу жүйелерінде дербес компьютерлер қолданылады. Бұл, ең алдымен, компьютер өлшеу жүйесін өте икемді ететіндігіне байланысты болады, себебі пайдаланушы оның бағдарламалық қамтамасыздандыруын оңай өзгерте алады. Компьютерлік-өлшеуіш жүйелер дербес компьютерінің өзінді шинасында өлшеу, өңдеу, есептеу және басқару құралдарын біріктіреді.

13.2. МИКРОПРОЦЕССОРЛЫҚ ӨЛШЕУІШ АСПАПТАР

СӨА микропроцессоры бар блоктық схемасы 13.1 суретте көрсетілген. Осындай құрылғының нақты мысалы сандық ваттметр, уақыт аралығы және т.б. болуы мүмкін.

Осындай құралдың жұмысы келесідей жүзеге асырылады. Пернетақта режимді орнату өрісін, сандық деректер өрісін және кодтаушыларды қамтиды. Режим өрісінің көмегімен өлшеу режимі мен өлшенген мән орнатылады. Өлшеу диапазоны сандық пернетақта арқылы енгізіледі. Кодтаманы пайдаланып, перне-



Сурет 13.1. Құрамдас микропроцессоры бар өлшеуіш сандық аспабының құрылымдық схемасы

тактаның сигналдары кодқа айналады және деректер шинасына жіберіледі.

Режимді орнату іш программасы бойынша микропроцессор пернетақта арқылы енгізілген ақпаратты тұрақты есте сақтау құрылғысы (ТЕҚҚ) тұрақтыларымен салыстыра отырып, талдайды да, САТ (сандық аналогтық түрлендіргіш) басқару кодтарын мультиплексорға және т.б. (кіріс арнасын қосу үшін) құрастырады. Пернетақталардан бір уақытта енгізілген ақпарат дисплейге шығару үшін түсіндіріледі.

Дисплейге енгізілетін деректерді шығаруды пернетақтадағы жазулармен толық теңдестіру жөн. Ол үшін ТЕҚҚ ішінде енгізілетін деректер кодтарын дисплейде көрсетілетін таңбаларға датүсіндіру аймақтарын бағдарламалау керек. Аспаптың жұмыс режимін бағдарламаудан басқа енгізілетін деректердің талдауын (синтаксистық талдау, түпнұсқа деректердің толықтығын бақылау және т.б.) қамтыуы мүмкін.

Өлшеудің нақты режимі «іске қосу» командасының келуімен басталуы тиіс (пернетақта арқылы – жергілікті басқару кезінде,

интерфейстік шина арқылы – қашықтықтағы басқару кезінде). АСТ-дан кодты микропроцессорге жіберу АСТ тапсырыстарының үзімім режимінде де, АСТ жүгіне режимінде де адрестелетін регистр ретінде жүзеге асырылуы мүмкін (әсіресе АСТ микропроцессордан іске қосу режимінің жұмысы кезінде).

Қате түзету туралы толық ақпарат алу үшін және мультиплексор деректер арқылы микропроцессорлық құрылғының істеп тұрғандығын диагностикалау үшін АСТ қосылу үшін кодты тасымалдайды (сандық вольтметр жағдайда - тірек кернеу). Стандартты өлшемге сәйкес келетін АСТ коды микропроцессорға жіберіледі және ТЕСҚтұрақтысымен салыстырылады. Құралдың келесі калибрлеу цикліне дейін өлшенетін параметрлерді есептеуге қатысатын тиісті түзету есептеледі. Құрылымы ұқсас болып келетін аспап өлшеудің басқа (сипаты бойынша ұқсас) түрлеріне оңай түрде ауыстырылуы мүмкін. Бұл әрекетті орындау үшін ТЕСҚ(бағдарлама мен тұрақтылар, режимдер туралы кіріс туралы ақпаратты түсіндіруді қоса алғанда) және пернетақтаны (өлшенген параметрлердің құрамы, яғни құрылғы түрі өзгеретін болса) алмастыру жеткілікті болады. Құрылғының кірісіне мультиплексорды енгізу сигналдардың параметрлерін бірнеше кірістерден, яғни күрделі (көп параметрлі) өлшемдерді орындауға мүмкіндік береді.

13.3. КОМПЬЮТЕРЛІК-ӨЛШЕУІШ ЖҮЙЕЛЕР

Қазіргі уақытта метрология және өлшеу технологиясы саласында жаңа бағыт - *компьютерлік-өлшеуіш жүйелер* (КӨЖ) және олардың түрлері, немесе даму бағыты - *виртуалды* (виртуалды - елестейтін) *өлшеу құралдары* (ВӨҚ) бағыты қалыптасты. Компьютерлік өлшеуіш жүйесіне нақты уақыт режимінде немесе, қазіргі кезде айтатындай, онлайн режимінде жұмыс істейтін компьютер міндетті түрде кіреді.

Соңғы жылдары дербес компьютерлер есептеу құралдары ретінде ғана емес, әмбебап өлшеу құралдары ретінде де қолданылады. Дербес компьютер негізіндегі компьютерлік өлшеуіш жүйесі стандартты өлшеу құралдарын (вольтметрлер, осциллографтар, спектр анализаторлары, генераторлар және т.б.) виртуалды аспаптар жүйесімен алмастыруға мүмкіндік береді. Сонда аспаптардың бір қатары бір уақытта бір дербес компьютерде іске қосылып (ойнатылуы) мүмкін болады. Микропроцессорлық

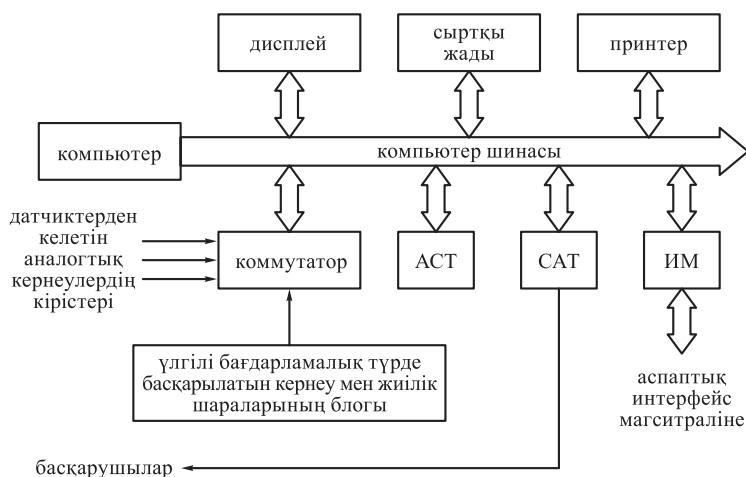
құрылғылармен салыстырғанда КӨЖ ерекшеліктері мен артықшылықтары:

- операторға қолжетімді, қолданбалы өлшеу міндеттердің кең ауқымын шешуге мүмкіндік беретін ауқымды стандартты компьютерлік қосымшалар қоры (сигналдарды зерттеу және өндеу, датчиктерден деректерді жинау, әр түрлі өнеркәсіптік қондырғыларды басқару және т.б.);
- жергілікті және ғаламдық (мысалы, Интернеттегі) компьютерлік желілерге зерттеу және өлшеу деректерін жедел жіберу мүмкіндігі;
- жүйемен өзара іс-қимылдың жылдам дамуын қамтамасыз ететін пайдаланушының жоғары дамыған графикалық интерфейсі;
- сыйымдылық көлемі үлкен болатын ішкі және сыртқы жадысын пайдалану мүмкіндігі;
- белгілі бір өлшеу міндеттерін шешу үшін компьютерлік бағдарламаларды құрастыру мүмкіндігі;
- өлшеу нәтижелерін құжаттау үшін әр түрлі құрылғыларды жылдам қолдану мүмкіндігі.

КӨЖ құрылымдық схемасын қарастырайық. Ең жалпы жағдайда КӨЖ жүйелі немесе параллель сәулетпен салынуы мүмкін.

Дәйекті сәулетті компьютерлік өлшеу жүйесіне (оны кейде орталықтанған жүйе деп те атайды) дәйекті режимдеталданатын сигналдарды өңдейтін түрлендіруші жүйенің барлық бөліктері кіреді, сондықтан барлық сәйкес электроника компьютер слоттарына орналастырылады. КӨЖ мұндай сәулетін құрудың артықшылықтары белгілі — өндеудің бөлу принциптерін қолданудың арқасында уақыт бойынша жүйенің құны жоғары емес.

Параллель сәулетті компьютерлік өлшеу жүйесі параллель өлшеу арналарының бірқатарын қамтиды да, әрбір арнаның өзінің талданатын сигналдардың түрлендіру тораптары болады. Тек компьютерлік процессормультитиплекстеу (яғни, сигналдарды біріктіру) режимінде жұмыс істейді. Құрылымның осындай қағидасы арқылы КӨЖ әрбір арнада сигналдарды өндеудің оңтайландыру үдерісі тәуелсіз түрде жүргізілуі мүмкін. Бұл жүйеде сигналдарды зерттелетін сигналдың орналасу көзінде жергілікті түрде жүзеге асырылады да, сигналдарды өлшенетін объектіден сандық формада жіберуге мүмкіндік береді.



13.2-сурет. Компьютерлік өлшеу жүйесінің жалпыланған құрылымдық схемасы

Құрылымның тізбектей және параллель сәулетін көрсететін КӨЖ жалпыланған құрылымдық схемасы 13.2 суретте келтірілген. КӨЖ дербес элементтерінің өзара әрекеттестігі компьютердің сыртқы құралдары да (дисплей, сыртқы жад, принтер), коммутатор, АСТ және үлгілі бағдарламалық түрде басқарылатын кернеу мен жиілік шараларының блогынан құралған өлшеу схемасы да қосылған дербес компьютердің ішкі шины арқылы жүзеге асырылады.

САТ көмегімен басқару аналогтық сигналдарын жасауға болады. ИМ Интерфейс модулі өлшеуіш құрылғыны құрал интерфейсінің желісіне қосады. Коммутатор жүйенің түйіндеріне сыртқы датчиктердің аналогтық кернеулерін қамтамасыз етеді.

КӨЖ қарапайым схемалары жеке компьютердің бір платасына орналастырыла алады. КӨЖ айтарлықтай күрделі құрылымдылары да болады, онда орнатылған бағдарлама бойынша шешілетін өлшеу міндетіне сәйкес қажетті өлшенетін элементтер коммутацияланады, яғни жүйенің құрылу сәулеті өзгереді.

КӨЖ элементтерінің біріне кернеу мен жиіліктің үлгілі бағдарламалық басқару өлшемдерінің блогы жатады. КӨЖ-ге орнатылған кернеудің үлгілі өлшемдері ретінде көбінесе стабилитрондар қолданылады, олардың кернеуінің температуралық

коэффициенті шамамен $2 \cdot 10^{-5}$. Стабилитрондар блогын белгілі температурада ұстау ірек кернеуін тұрақтандырудың ең тиімді тәсілі болып табылады. Термостат элементтердің температура-сын шамамен $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ және тұрақтылығы $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ кем емесдеңгейінде сақтайды.

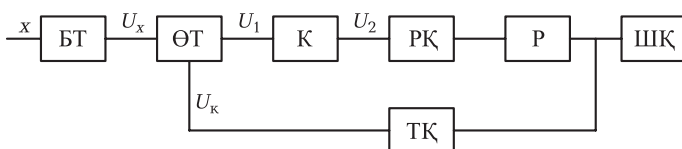
Осы тізбектің кемшілігі термостаттың өте ұзақ жылытуы (30 минутқа дейін) болып табылады, және термостат қосылған кезде температураның секірістері өте үлкен болып тұрады. Температуралық айырымдар сталитрондардың тозу процессін жылдамдатады, ол дегеніміз, олардың ұзақ мерзімді тұрақтылығын төмендетеді. Қазіргі кезді КӨЖ ішінде элементтердің температуралық тұрақсыздығын бағдарламадық әдістер арқылы есепке алу мүмкіндігі бар болады.

13.4. АВТОМАТТЫҚ ӨЛШЕУІШ АСПАПТАР

Жалпы ақпарат. Өлшеу процесі автоматты түрде, операторлардың қатысуынсыз орындалатын аспаптар *автоматты өлшеуіш аспаптар* (АӨА) деп аталады. Олар технологиялық өндірістік процестерді сипаттайтын параметрлерін өлшеу және жазу үшін арналған. Бұл параметрлерге: температура, қысым, сұйықтықтардың деңгейі мен шығыны, сұйықтықтар мен газдардың құрамы мен шоғырлануы, электр кернеулері мен токтар, қуат, жиілік және т.б. жатады.

Қазіргі уақытта АӨА кең түрде пайдалану және олардың жоғары қажеттілігі біріқатар метрологиялық және пайдалану сипаттамаларына байланысты болады: жоғары дәлдік ($0,001\%$ дейін қателік) жөнессезімталдық (10^{-8} дейін), аспаптар көрсеткіштерінің пайдалану жағдайларынан сәл тәуелділігі, энергияның төмен өзіндік тұтынуы, сигналдың аз қуатты алғашқы түрлендіргіштерді пайдалану, бір уақытты бірнеше шамаларды өлшеу мүмкіндігі, құжаттық ақпаратты алу.

Осы көрсеткіштер өлшеудің өтемдік тәсілдерін пайдаланумен, аз инерциялылықпен және үлкен шығу қуатымен, АӨА топтары схемаларын біраз күрделенуімен, өлшенетін параметрлердің объективті санауымен пайдалануы арқылы қамтамасыз етеді.



Сурет 13.3. Үздіксіз әрекетті АӨА құрылымдық схемасы

Жалпы түрде үздіксіз әрекетті АӨА құрылымдық схемасын 13.3 сурет түрінде келтіруге болады. Мұндағы БТ - бастапқы түрлендіргіш, ӨТ - өлшеуші тізбек, К - күшейткіш, РҚ - реверсті қозғалтқыш, Р - редуктор, ТҚ - түзету құрылғысы, ШҚ - шығару құрылғысы. ТҚ түзету құрылғысымен қамтылатын, сигналдың тікелей берудің буындары немесе жүйенің тікелей тракты (ӨТ, К, РҚ, Р) БҚ бақылау жүйесін құрайды және өлшеу процессінің автоматтандырылуын қамтамасыз етеді.

Бақылау жүйесінің жұмыс қағидасына бастапқы түрлендіргіштен БТ келетін өлшеу шамасын U_x түзетуші құрылғысымен ТҚ жасалатын өтемдеуіш шамасымен U_k салыстыруды қамтиды. Осы шамалардың айырмашылығы $\Delta U = U_1$ артып, редуктор Р арқылы түзетуші құрылғысына ТҚ әсер етіп, реверсивті қозғалтқышына РҚ жіберіледі де, бір уақытта шығу құрылғысының ШҚ жұмысын қамтамасыз етеді. Жүйе теңдігі $\Delta U = 0$ кезінде болады. Осы теңдік астатикалық жүйеде болуы мүмкін. Ол үшін ықпалдасушы буынның сигналын тура трактта бар болуы қажетті шарт болып тұрады. Осы жағдайда ықпалдасушы буын ретінде реверсивті қозғалтқыш РҚ болып табылады. Себебі оның шығу білігінің бұрылу жылдамдығы кернеулің басқару орамасына жіберілген шамасына пропорционалды болып келеді:

$$d\alpha / dt = kU_2, \text{ немесе } \alpha = k \int U_2 dt,$$

мұндағы α - қайтымды қозғалтқыштың шығу білігінің айналу бұрышы; k - тұрақты коэффициент; U_2 - күшейткіштің шығу кернеуі.

Іс жүзінде тепе-теңдік $\Delta U \neq 0$ кезінде, а $\Delta U_{\text{пор}}$ сезімталдық шегімен анықталынады. Ол қозғалтқыштың қозғалуына әкелетін ΔU минималды мән мен жүйе бөлшектерінің инерциялылығы болып табылады.

Өлшеу жүйелері өзінің типі бойынша қолданыста бар үздіксіз әрекеттегі АӨА бір параметр бойынша теңестіруі бар көпірлерге,

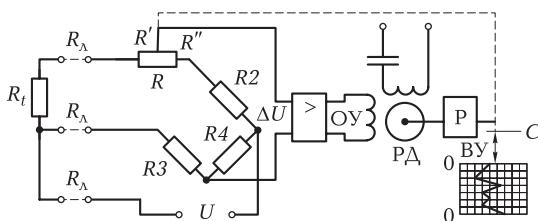
тұрақты ток потенциометрлері мен дифференциалды-трансформаторлық жүйесі бар аспаптарға бөлінеді.

Температураны өлшеу үшін автоматты көпір. R_t терморезисторды пайдалану арқылы температураны өлшеуге арналған автоматты теңдестірілген көпір оңайлатылған құрылымдық схемасы 13.4 суретте келтірілген. Көпір иіндерінің біреуіне R_A кедергісінің байланыс тізбегі арқылы байланысатын терморезистор қосылады. Қалған үш иін термотұрақты резисторлардан R , R_2 , R_3 , R_4 жасалған.

Бастапқы температу кезінде көпірді теңестіру R айнымалы резистор қозғалтқышының қалпын өзгеру арқылы жүзеге асырылады. Температураның бастапқы мәнін ауытқуы кезінде терморезистор кедергісі өзгеріп, көпір тепе-теңдіктен шығады. Күшейткіш кірісіне кіретін ΔU үйлесімсіздік сигналы пайда болады. Күшейтілген сигнал реверсивті қозғалтқышының РҚ басқару орамасына БО жіберіледі. РҚ білігінде ол механикалық түрде R айнымалы резистор қозғалтқышымен және шығару құрылғысының ШҚ нұсқағышымен байланысады. Осы байланыстар арқылы көпір автоматты түрде тепе-теңдікке келтіріледі.

Үйлесімсіздік сигналын өндеу ΔU сезімталдық шегінен $\Delta U_{\text{пор}}$ артық болғанға дейін жүзеге асырылады. Шығу шамасы тікелей Цельсий градустарына дәйектелген шкала бойынша есептеуге болады. Шкаланы дәйектеу әрбір нақты терморезистор үшін ақиқат болады.

Термистордың үш сымдық іске қосылуы байланыстырушы сымдардың R_A өлшеу дәлдігіне тигізетін әсерін едәуір азайтуға мүмкіндік береді. Шынында да, R_A кедергісінің екі сымы көпірдің аралас иіндеріне қосылғандығын және дәл сол кедергімен үшіншісі көріпдің қорек диагоналіне қосылғанын есепке ала отырып, біз келесі теңдікке ие боламыз:



Сурет 13.4. Көпірдің автоматты теңдестірудің жеңілдетілген құрылымдық схемасы

$$(R'_1 + R_\Lambda) R_4 = R'_2 (R_3 + R_\Lambda),$$

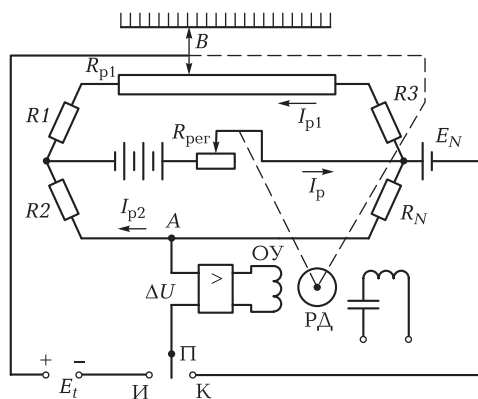
мұндағы $R'_1 = R'_1 + R'$ және $R'_2 = R'_2 + R''$.

Көпір иіндерінің симметриясы, яғни $R'_2 = R_4$ кезінде R_Λ өлшеу қателігіне әсерін толық жойылуын көреміз. Аспап межелігі, яғни $\alpha = f(T)$ тәуелділігі терморезистордың R_1 көпірлік тізбек иініне қосылуы кезінде сызықтық сипатқа ие болады. Ал осы көпірлік тізбек Рреоходрына жанасып жатады.

Тұрақты тоқтың автоматты потенциометрі. Өлшеудің өтемақы әдісін қолданатын автоматты құрылғыны іске асыру мысалы ретінде термोजұппен жиынтықта жұмыс істейтін потенциометрді қарастырамыз, ал оның шеттерінде термоЭҚК E_1 пайда болады (сурет 13.5).

Осы потенциометрдің өтемдеуіш құрылғысы көпірлік схема бойынша құрастырылды. Өлшеу процессі екі тәсіл арқылы жүзеге асырылады. К қалпы кезінде П ажыратып қосқышының ЭҚК бар қалыпты элементті E_N пайдалану арқылы жұмыс тогын баптау жасалынады. $\Delta U = E_N - R_N I_{p2}$ теңгерімін бұзу кернеуі күшейткіш кірісіне түсіп барады. Күшейткіш кірісінен реверсивті қозғалтқыш РҚ басқару орамасына БО жіберіледі. Ол R_{per} реостаты қозғалтқышының қалпын өзгереді. Аспап ΔU мәнін нөлге дейін автоматты түрде жеткізеді. Осы жағдайда тізбекте I_p, I_{p1}, I_{p2} белгілі токтарын орнатылады.

П ажыратып қосқышының И қалпы кезінде механикалық байланыстың В потенциометрі қозғаушығына алмасуы жүзеге асырылады. Термोजұптың өлшенетін ЭҚК E_1 өтемдеуіш кернеуі арқылы теңдестіріледі



13.5-сурет. Тұрақты токтың автоматты потенциометрінің схемасы

13.6-суреті. Мемлекеттік тексеру қызметін ұйымдастыру құрылымы

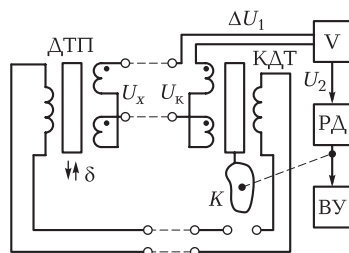
$$U_k = (R_{p1} + R_l) I_{p1} - R_l I_{p2}$$

механикалық түрде В потенциометрі қозғаушығымен байланысатын реверсивті қозғалтқышының ΔU теңгерімін бұзу кернеуіне әсер ету жолымен жасалынады. В потенциометрінің қалыптары өтемдеуіш резисторының R_{p1} кедергісіне әсер етеді. Өлшенетін термо-ЭҚК мәні В қозғағышының шкалада вольттармен градиентпен калпына сәйкес белгіленеді.

Қазіргі автоматты потенциометрлер температураны өлшеу үшін тұрақтандырылған қоректендіру көздерімен қамтамасыз етіледі. Оларда қалыпты элемент пен автоматты жұмыс тоқтарының қондырғылары жоқ болады.

Дифференциалдық-трансформаторлық құрылғы. 13.6 суретінде көрсетілген схема қысымды (автоматты манометр), сұйықтық деңгейін (деңгейөлшеуіш) және сұйықтық шығынын (шығынөлшеуіш) өлшеу үшін кең түрде қолданысын тапты.

Дифференциалды трансформаторлық түрлендіргіштен (ДТТ) және өтеуіштік дифференциалды трансформатор (ӨДТ) өлшеу тізбегінің негізгі тораптары болып табылады. Құрылымы бойынша осы аспаптар бір-біріне ұқсас болып келеді. Олардың екіншілік орамдары тізбектей және қарама-қарсы түрде қосылған. ДТТ қозғалмалы өзекшесі кез келген механикалық шама әсерінен шарғылар осі бойынша δ қашықтыққа қозғалу мүмкіндігіне ие болады. сонда ДТТ шығысында $U_x = k\delta$ сигналы пайда болады, ал ӨДТ U_k өтемдеуіш кернеуді тудырады. Егер $U_x \neq U_k$ болса, онда жүйе $\Delta U_1 = U_x - U_k$ сигналын ΔU_1 $\Delta U_{\text{пор}}$ шамасына тең болғанша дейін жұмсайды. Сонда реверсті қозғалтқыш РК шығу білігінің бұрылу бұрышы U_x шамасымен функционалды түрде байланысып, осы шаманы бейнелеп көрсетеді. $U_x = F(\delta)$ болғандықтан, бүкіл аспаптың теңдік шкаласы $\alpha = f(\delta)$ түрінде бейнеленеді.



13.5. ВИРТУАЛДЫҚ АСПАПТАР

КӨЖ дамытудағы ең перспективалық бағыттарының бірі виртуалды құралдарды құрастыру болып табылады.

Аналогтық және дискретті сигналдары түрлендіру, есептеу техникасы мен сандық құрылғылары саласындағы ілгерілеу электрондық техника және жалпы өлшеу-басқару жүйесінің әмбебап тораптары мен блоктарын айтарлықтай жеңілдету және жасауға; жоғары деңгейлі бағдарламалық құралдар негізінде өзінің функционалдық мүмкіндіктері бойынша алуан түрлі өлшеу және басқару аспаптар мен жүйелерін біріктіру арқылы түпнұсқалық электрондық тораптар мен блоктарды жасаудан виртуалды-бағдарламалық тораптар мен блоктарды жасауға көшуге мүмкіндік береді.

Мұндай мүмкіндік *National Instruments* фирмасының Labview типтес виртуалды жүйелерін қолдану негізінде пайда болды. Ол датчиктер, стандартты интерфейстер, компьютерлер мен сәйкес болатын бағдарламалық құралдардан құралатын өлшеу-басқару жүйелерін өлшеу, өлшеу нәтижелерін өңдеу, индикациялау мен басқару функцияларын жүзеге асыру арқылы құрастыруға мүмкіндік берді. Жиынтық түрде осының барлығы *виртуалды өлшеу-басқару жүйесі* деп аталатын өзіндік ерекшелігі болып табылады.

Үлкен деректер ауқымын жазу мүмкіндігі өлшеу нәтижелерін есте сақтауға мүмкіндік береді, ал ол дегеніміз, ретроспективалық талдау мен статистикалық өңдеуді және т.б. жүзеге асыруға да мүмкіндік береді. LabVIEW жүйесін өзінің логикалық құрылымы бойынша Си және Бейсик тілдерінің құрылымдарына жақын болатын қолданбалы программалау құралы ретінде пайдаланудың маңызды ерекшелігі онымен бірге жұмыс істеу бағдарламалар мәтіндерін жазуды талап етпей, бағдарламаларды блок-схемалар түрінде құрастыру үшін графикалық бағдарламалау тілі қолданылатындығы болып табылады.

Осылайша, іс жүзінде бір бағдарламалық-есептеу жиынтығы болатын, бағдарламаның іске қосылуы виртуалды жүйелерінің математикалық модельдерін құрастырудың кең мүмкіндіктерімен жиынтықты болатын жаңа жүйені пайдалануға енгізу мүмкіндігін беретін кезде, ортақ компьютер негізіндегі алуын түрлі электрондық жүйелерін құрастырудың жаңа аппараты қолданылған.

Виртуалдық құрылғы жоғары жылдамдықты дербес компьютерден және бір немесе екі деректер жинау тақталарынан (ДЖТ) тұрады. Тақта дербес компьютерге (әдетте ISA немесе PCI слотына) немесе тиісті бағдарламалық қамтамасыздындыруы бар жиынтықтағы LPT-порты арқылы қосылатын сыртқы қосымша құрылғысына орналастырылады.

Виртуалдық құрылғы пайдаланушысы пернетақта, тінтуір немесе арнайы қолданбалы бағдарлама арқылы графикалық панель объектісін іске қосады. Виртуалдық өлшеу құралдары дербес компьютердің үлкен есептеу және графикалық мүмкіндіктерін ДЖТішінде пайдаланылатын, АСТ және САТ жоғары дәлділігі мен тезөрекеттігімен байланыстырады. Іс жүзінде виртуалды құрылғылар (КӨЖ барлық типтері дерлік) қолданылатын АСТ және САТ дәлдігі көмегімен әртүрлі радиоэлектронды тізбектердің амплитудалық, жиілік және уақыттық сипаттамаларын талдауын жүргізеді де, сондай-ақ процессті өлшеу және өлшеу жүйелерін автоматтандыру үшін сигналдарды қалыптастырады.

Виртуалдық құрылғының бағдарламалық бөлігі стационарлық өлшеу құрылғысының алдыңғы басқару панелін компьютер дисплейінің экранында (жасай) алады. Стационарлық өлшеу құрылғысының нақты басқару панерінен ерекше осындай виртуалды панель тәжірибенің нақты шарттарына бейімделу үшін жұмыс үдерісінде бірнеше рет қайта-қайта құрылуы мүмкін.

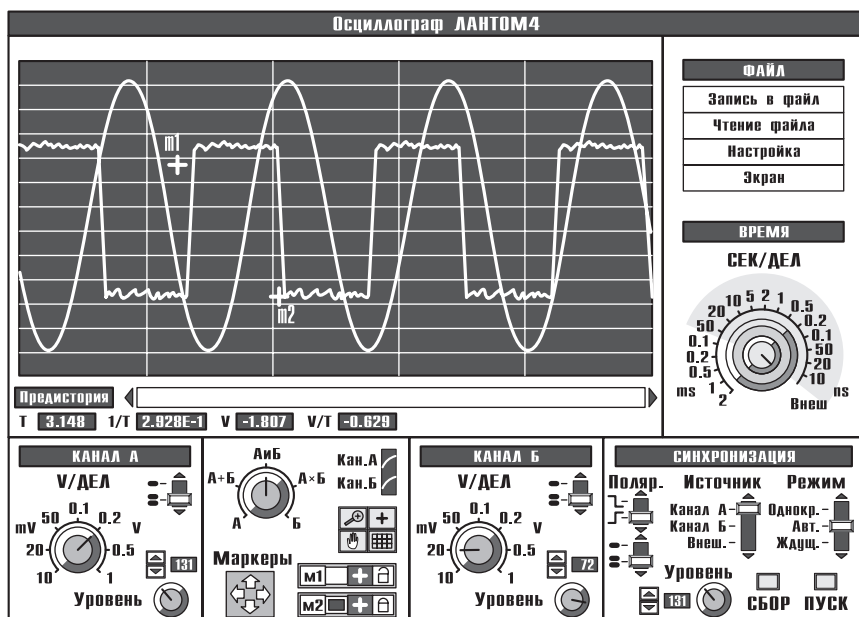
Пайдаланылатын тақша және бағдарламалық қамтамасыздандыруға байланысты пайдаланушы бір немесе басқа метрологиялық тапсырмаға арналған өлшеу құралын алады.

Мысал ретінде ЦЗО-01 типті, нақты, деректерді жинау арнайы тақтасында және дербес компьютерде Мәскеу «Руднев-Шуляев» ЖАҚ АСТ орталығындағы виртуалды сандық сақтау осциллографтары қарастырамыз. Виртуалды сандық осциллографтың бағдарламалау интерфейсінің сыртқы түрі (виртуалды графикалық өлшеу тақтасы) 13.7 суретінде ұсынылған.

ЦЗО-01 типті виртуалды есте сақтау осциллографы дербес (импульсты), мерзімдік және кездейсоқ процесстерінің әр түрлерінің амплитудалық және уақытша параметрлерін байқау, тіркеу, ұзақ уақыт бойы сақтау, талдау және өлшеуге арналған.

Дербес компьютерге немесе сыртқы жадыға орнатылған «Осциллографтар» бағдарламалық пакеті аспаптың өндеуге *дайындығы* бойынша деректерді жинау тақташасымен деректерді аламасуды жүзеге асырады. Тақташаға деректерді жинау арнайы командасын бергеннен кейін бағдарлама одан ДЖТ ішінде орнатылған буфеттік жадыны толтыру процедурасының аяқталуы туралы хабарламасын күтеді. Содан кейін талданатын сигналдар осциллографқа (компьютерге) жіберіліп, оларды өндеу мен зерттеу толығымен үдеріске жіберіледі.

Компьютер арқылы бағдарламалық файлдармен жұмыс істеу зерттелетін (өлшенетін) процесстерді құжаттарныдуга, сигналдарды эталондық сигналдармен салыстыруға және пайдала-



Сурет 13.7. Сандық виртуалдық аспаптың бағдарламалық интерфейсінің сыртқы түрі

нушымен оның бағдарламаларында құрастырған сигналдарды көрсетуге мүмкіндік береді.

Жеңілдетілген түрде деректерді жинау тақтасының әрекет қағидасын екі кезеңге бөлуге болады:

1) цифрланған сигналдарды ішкі ДЖТ буферлік жадыға жазу (нақты осциллограф сәулесінің кері жүрісіне сәйкес келеді);

2) деректерді виртуалдық осциллографқа жіберу және оларды өңдеу және экранға шығару (нақты осциллограф сәулесінің тура жүрісіне сәйкес келеді).

Бұл «сәуленің тура жүрісі» режимі (экранда бейненің жаңарту аралығы) жазу ДЖТ буферінің жады көлеміне, компьютер процессорының жылдамдығы мен компьютер ЖЖҚ және осциллографтар арналарының санына байланысты болатынын түсіну оңай.

Зерттелетін сигналдар аналогтық болғанына қарамастан, осциллографтың виртуалды экранында(компьютердисплейінде) бейне аналогтық-цифрлық түрлендіру кейін қалыптасады және сондықтан дискретті болып табылады. Виртуалды батырмалар, тұтқалар, қосқыштар және графикалық интерфейстің басқа эле-

менттері нақты элементтерден ерекшеленбейді. Олардың жалғыз және басты айырмашылығы нақты өлшеу аспаптарында сияқты тұтқа арқылы емес, тінтуір (немесе пернетақта) арқылы жүзеге асатын тұтқалар мен ауыстырып қосқыштар қалыптарының өзгеруі болып табылады.

Виртуалды сандық есте сақтау осциллографтарының негізгі артықшылықтары:

- жаймалаудың кез келген жылдамдықтағы жарқын және жақсы фокусталған экран;
- бейненің қатты сызылған контурлары;
- сигналдар немесе тізбектер параметрлерін өлшеудің жоғары дәлдігі;
- өткізудің кең жолақтығы;
- кез келген уақыт үшін сигналэпюрін есте сақтау мүмкіндігі;
- сигнал параметрлерінің автоматты өлшеуі;
- өлшеу нәтижелерін статистикалық өңдеу мүмкіндігі;
- өлшеулер нәтижелері бойынша есеп құру үшін принтер мен плоттерді қосу мүмкіндігі;
- ағымдағы деректерді үлгілік немесе алдын ала жазылған деректермен салыстыру;
- өздігінен бұғатталу және өздігінен диагностикалаудың құралдарының бар болуы;
- электр тізбектерінде өтетін өтпелі процесстерді зерттеу мүмкіндігі;
- өлшеу нәтижелерінің жеңілдетілген мұрағаттауы.

Бұл осциллографта бірнеше генератордан келетін сигналдар комбинациясы бойыншасинхрондау көзделінеді.

Виртуалды аспаптардың микропроцессорлық өлшеу аспаптарының алдында үлкен артықшылығы бар, себебі пайдаланушының қолданбалы бағдарламалардың кең ауқымына қолы жетеді де, ол үлкен сыйымдылықты сыртқы жадыны және өлшеу нәтижелерін құжаттандырудың әр түрлі құралдарын пайдалына алады. Деректерді жинау тақтасы, өлшеу құрылғысы мен дербес компьютердің үйлесуі адам алдында автономды өлшеу аспаптарын қолдану кезінде мүмкін болмайтын, жаңа мүмкіндіктерді ашады. Енді тәжірибе және өлшеуді өткізу үшін тек компьютер керек болады, ал бағдарламалаудың басқа құралдары өткізілетін тәжірибенің техникалық талаптарына қарай таңдалып алынады.

Экономикалық тиімділік та виртуалды аспаптардың артықшылықтары қатарына жатады, себебі өлшеу ақпаратты өңдеудің компьютерлік бағдарламалардың кез келген деректерді жинау тақтасы нақты өлшеу құралынан арзанырақ болады.

XXI ғасырда көптеген метрологиялық зерттеу мәселелері виртуалды құрылғылар көмегімен шешілетіні анық.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Құрылымдық құрылысы бойынша ИӨЖ қандай түрлері бар?
2. Өлшеу технологиясында микропроцессорларды пайдалану дегеніміз не?
3. Микропроцессор негізінде жасалған өлшеу құралы қандай бөлшектерден тұрады?
4. КӨЖ құрылымдық схемаларын құрастырудың қандай тәсілдері бар?
5. КӨЖ температураның тұрақсыздығын есепке алу қалай жасалынады?
6. Автоматты өлшеуіш құрылғысы деп нені атайды?
7. Температураны өлшеу үшін автоматты көпір әрекетінің қағидасы қандай?
8. Тұрақты токтың автоматты потенциометрі қалай жұмыс істейді?
9. Дифференциалды-трансформаторлық құрылғы қалай жұмыс істейді?
10. Виртуалды аспап дегеніміз не?
11. Виртуалды аспаптардың қандай артықшылықтары бар?

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ӨЛШЕУШІ ЖҮЙЕЛЕР

14.1. ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫ ЖҮЙЕ РЕТІНДЕ

Түптеп келгенде, кез келген техникалық құрылғы жүйе ретінде қарастырылуы мүмкін, мәселе тек оны талдап тексеру деңгейінде ғана болады. Объектінің (объективті шынайылықтың) кез келген бөлігін сипаттау үшін жүйелік ұғымдарды пайдалану, осы бөлікті көзге көрінетін өрісте осы ортамен ең маңызды өзара әрекеттіктерінің тек түпкі саны қалатындай етіп, оны қоршаудан алыстатады. Соңғылары ақпарат алмасқанда берілген заттық және (немесе) энергетикалық байланыс сипатын ие болуы мүмкін. (сурет 14.1, а). Егер зерттеушінің назары тек қарастырылатын объект пен оны қоршаған орта арасындағы ақпарат алмасуға ғана салынатын болса, онда объект туралы ақпараттық жүйе ретінде айтады. Осы жүйе арқылы берілген ақпарат формасы мен мазмұны бойынша кіріс ақпаратына тәуелді болып келеді.

14.1. б суретінде келтірілген беріліс буыны түріндегі өлшеу түрлендіргішінің моделі ақпараттық жүйенің қарапайым схемалық бейнелеуінің мысалы болып табылады. Бұл жүйеге көптеген кіріс көлемі ($x_{e1}, \dots, x_{en}$) түрінде ақпараттық ағын келтіріле алады. Оларды жүйеде өңдеу нәтижесінде (белгілі бір математикалық тәуелділіктермен сипатталатын операцияларды орындау жолымен) жүйе шығысында тиісті шығыс шамалары ($x_{a1}, \dots, x_{an}$) беріледі.

Кіріс және шығыс шамалары арасындағы белгілі бір байланыстар (тәуелділіктер) жүйенің *беріліс қасиеттері (сипаттамалары)* деп аталады. Бірдей жүйелерге бірдей қасиеттер (сипаттамалар) тән болады.

Объектілерді зерттеудегі жүйелік көзқарасы артықшылықтарының бірі бір жүйеде өлшенген сипаттамаларды өзінің құрылы-



Сурет 14.1. Өлшеу құрадарының моделдері:

а — өлшеу құралының қоршаған ортамен өзараәрекетінің жалпыланған схемасы; б — өлшеу аспабының жалпыланған моделі

мы бойынша біріншіден ерекшеленеті, бірақ сол сияқты беріліс сипаттамаларына ие болатын басқа жүйеге қосу мүмкіндігі болып табылады. Өлшеу құралдарын кибернетикалық жүйелер ретінде қарастыру кезінде олардың түйініне тереңдеп енуіне, олардың тәртібін жақсылап түсінуге, сипаттамаларын, оның ішінде өлшеу қателіктерін, зерттеуге және, сонымен қатар, өлшеу нәтижелерін жіберу және өңдеуге мүмкіндік береді. Егер әсер етуше шамалардың әсерін елемей, қазіргі уақыт мерзімінде жүйе кірісіне тек бір шығыс шамасы x_a сәйкес келетін, жалғыз өлшенетін шама хесәйкес келеді деп ойланайтын болсақ, онда осындай жүйені $x_a = f(x_e)$ түріндегі статикалық сипаттамасымен бейнелеуге болады. Одан да мұқият талдау үшін осы шамалардың уақыттағы өзгерісін есепке алу

$$x_a(t) = f[x_e(t)].$$

кажет:

Өлшенетін шама тек сирек жағдайдарда ғана өлшеу процесінде өзінің тұрақты мәнін сақтайды. Жиі кезде өлшенетін шама тұрақты болып тек көрінеді, себебі оны өлшеу нәтижелерінен

шығару үшін, оны тек кедергілердің аясында бағалау мүмкін болып тұрады. Тек қоршаған ортаның өзгермейтін температурасы кезінде ғанатұрақты болатын метал кесегінің l ұзындығы айтылғанның мысалы ретінде қызмет етуі мүмкін.

Соңғы мысалдан өлшеу құралдарын жүйелі қарастырылуы кезінде тағы бір маңызды шектеу туралы қорытынды шығаруға болады: кіріс шамаларымен қатар әсер етуші шамалар түрінде, соның ішінде кедергілер мен шу түрінде келетін қоршаған ортаның әсерлерін есепке алмауға болмайды. Сол сияқты кедергі ететін әсерлерді бағалау және олардың әсерлерін шектеу жүйелік техникасының басты міндеті болып табылады.

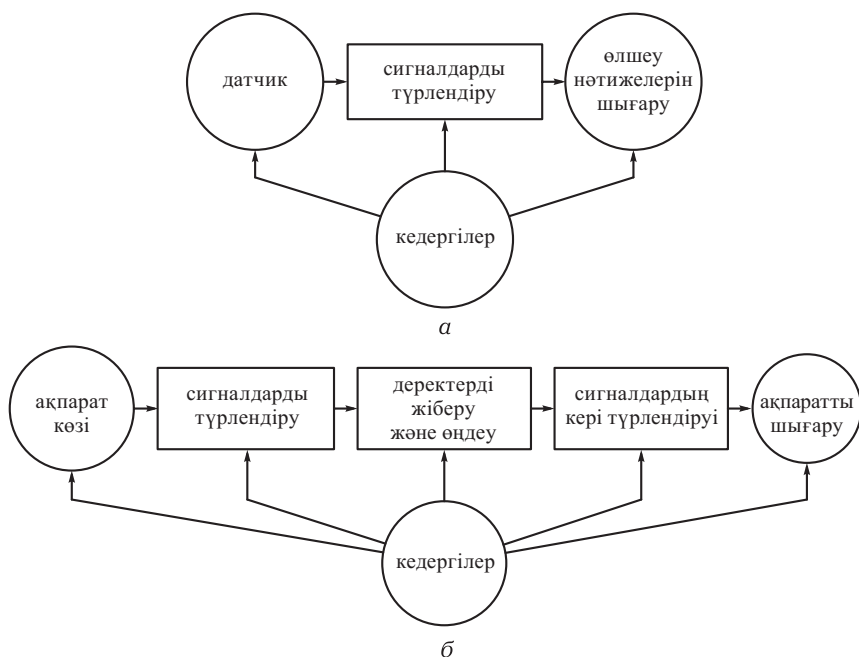
Қорытындылай келе, өлшеу құралдарын ақпараттық өлшеу жүйесі ретінде қарастыру кезінде келесі жалпы ережелерді басшылыққа алу жөн:

- ақпараттық өлшеу жүйесінің қоршаған ортамен өзара әрекетінің маңызды түрлері ақпаратты іріктеу, өлшенетін шамалардың маңызын анықтау және оларды шығыс ақпараты түрінде беру;
- кірістен шығысқа қарай бағытта, яғни $x_c \rightarrow x_a$, кіріс және шығыс ақпараты арасында себептік-салдарлық байланыс бар;
- ақпараттық өлшеу жүйесі кіріс (өлшенетін) шамасына мейлінше аз әсер ететіндей болуы тиіс;
- кедергінің әсері және одан туындайтын қателіктер осында қосалқы рөлді атқарады;
- автономдық өлшеу құрылғыларында қоршаған ортамен материалдық байланыстар жиі түрде жоқ болады, алқарастыру үшін энергетикалық байланыстардың барнемесе жоқ болуы маңызды рөл атқармайды (олардың бар болуы әдетте қосымша шу мен кедергілерді тудырады);
- ақпараттық өлшеу жүйесі үшін кез келген уақыт кезінде $x_a = K_p x_c$ түріндегі кешігулері жоқ желілік беріліс сипаттамасы болуы жөн, мұндағы K_p — беріліс коэффициенті;
- ақпараттық өлшеу жүйесінің беріліс сипаттамасы уақытқа қатысты өндірілетін және инвариантты болуы тиіс, яғни кіріс және шығыс шамалары арасындағы тәуелділік уақыт өтуімен өзгермеуі тиіс.

14.2. ӨЛШЕУШІ АҚПАРАТ

Ақпарат түсінігі тулары бір қатар анықтамалар бар. Ол солардың қанағаттанғысыздығын көрсетеді. Сондықтан бұл түсінікті анықтап алу үшін семантика (адамдар үшін ақпарат маңыздылығы) және прагматика (адамдарға әсер ететін ақпарат) сияқты адам аспектілерін есепке алмай отырып, ақпараттың бір қатар маңызды ерекшеліктерін қарастыру керек. Өлшеу ақпаратының маңыздылығын оны қабылдау алу көзқарасынан, яғни статистикалық тұрғымен байланысты болатын көпшіліктен өлшенетін шаманың бір немесе бірнеше мәнін таңдау көзқарасынан қарастыру керек.

Өлшеудің әрбір құралы 14.2, б суретінде схемалы түрде берілген ақпараттың жүйедегі сигналдарды жіберу және өңдеумен салыстырғанда, 14.2, а суретінде схемалы түрде берілген ақпаратты қабылдау және бөліп шығаруды қамтамасыз етеді. Осы



Сурет 14.2. Ақпаратты ақпараттық жүйелерде (а) және дербес құрал ретінде (б) қабылдау және өңдеу операциялары

жүйелердің элементтері физикалық құрылғыларды емес, ақпарат (сигналдар) бойынша операциялары ретінде көрінеді.

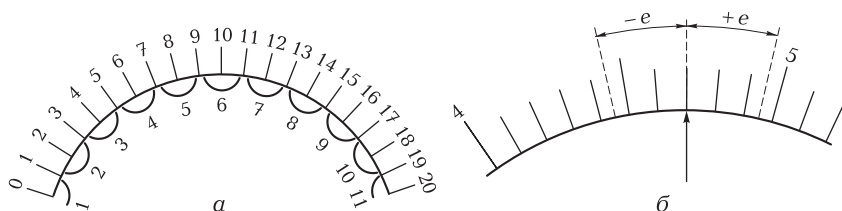
Өлшеу техникасында ақпаратты түсіндіру тұрғыларының бірі өлшенген мәнінің ықтималдығын бағалауды қамтитын ықтималдықтар теориясының ережелеріне негізделген болады. Егер өлшеудің басталғанына дейін ізделінетін шама мәні белгілі бір интервалының құрамында болу ықтималдығы р_vөте төмен болатын болса, онда осы ықтималдық өлшеу жолымен бағаланатын болады. Кванттау деңгейлерінің немесе осы шама мәндерінің айырмалы сатыларының саны неғұрлым көп болса, онда өлшенетін шаманың белгілі бір мәнінің ықтималдығы р_vсоғұрлым аз болады. Егер өлшемдер шегіндегі өлшенетін шаманың әрбір мәні дәл сол ықтималдықпен пайда болатынына сенетін болсақ,

$$p_v = 1/m,$$

онда бұл шаманың кез келген мәнінің пайда болу ықтималдығы келесідей болады

$$\sum_{v=1}^m p_v = 1$$

Өлшенетін көлемнің m айыратын сатыларының саны өлшеу құралының қателігіне тәуелді болады. 14.3, асуретінде бейнеленген гипотетикалық аспап шкаласы мысалында айтылғанын түсіндіреміз. Әрбір өлшеу орындалатын абсолютті қателік $e = \pm 1$ (шкаланың бөлінуі), ал салыстырмалы қателік $e^o = \pm 0,05$ немесе $\pm 5\%$ құрайды. Басқа сөзбен айтқанда, егер көрсеткіште 2 саны болса, онда өлшенген мән, мысалы үшін, 1 мен 3 арасында болуы мүмкін. Шкаланың басында 0 сол жағында 1 бөлгіші болуы мүмкін.



Сурет 14.3 Аспаптар шкаласы:

а — аспап шкаласы мысалы негізінде өлшеу құралдарының қателігінен m кванттау айыратын сатыларының санының тәуелділігі иллюстрациясы; б — амперметр шкаласының мысалы

Бұл жағдайда m бөлгіштерінің саны (айырмалы мәні) келесідей болады:

$$M = \frac{1}{2|e^\circ|} + 1 = 11.$$

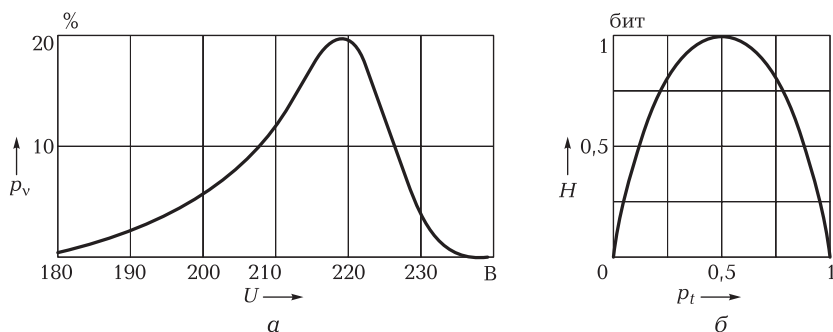
Басқа мысалды қарастырамыз — 0,1 А шкаласының бөлу (қадам) «бағасымен» 0-ден 10 А дейін шегі бар ток өлшеуішін аламыз. $e^\circ = 0,025$ салдарынан шкаладағы бөлу саны 100 тең болғандығына қарамастан, $m = 21$, яғни $e = \pm 0,25$ А абсолютті қателік кезінде 0, 0,5, 1,0, ..., 9,5, 10 мәндерін айыруға болады. Кез келген аталған айырым мәндерінің пайда болу ықтималдығы $p_v = 21 - 1 = 0,0476$, немесе $p_v = 4,76\%$ құрайды. Егер өлшенген мәнді $\pm 0,5$ А дәлдірек білу қажет болса, онда жоғарыда айтылған ықтималдық кезінде ол мүмкін болмайды. Оның барлығы 4,7 А мәніне қарсы тұратын тіл қалпы бар ток өлшеуіші шкаласының бөлігі келтірілген 14.3, бсуретінде көрсетіледі. Сонда 4,5 А мәні 100 % ықтималдықпен сипатталады, ал 5 А мәні мүмкін болмағандықтан шығарылады, себебі соңғысы қателік шектерінің сыртында жатады. Ток күшін $\pm 0,1$ А шамасына дәлдірек біліп алу қажет болатын болса, онда 4,7 А мәнінің ықтималдығы 20 % құрайды; сонда 4,5 және 4,6 А мәндері, сонымен қатар, $\pm e$ қателік шегінде жататын 4,8 және 4,9 А мәндері де болуы ықтимал. Қарастырылатын жағдайда белгілі бір шаманың пайда болуы ықтималдылығы 4,76-дан 100 %-ға дейін өзгереді.

Өлшеулерді ақпаратты белгісіздікті азайтып және ықтималдылықты арттыру арқылы іздеу ретінде түсіндіруге болады (статистикалық мағынада).

14.3. ӨЛШЕУ КЕЗІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҢ САНЫ

Әдетте тәжірибе кезінде өлшенетін шаманың болжалды мән-дері туралы, яғни оның азды көпті ықтимал мәндері туралы түсінік бар болады.

Мысал ретінде ол 0-ден 300 В дейін шектеріндегі өлшемдері-бар, вольтметрмен басқарылатын, желінің 220 В номиналдық кернеуі кезінде ауыспалы ток желісінде кернеудің өзгерулерін көрсетуге болады. Өлшемдердің шектеріне жақын болатын кер-неу мәндерінің ықтималдылығы нөлге тең болатыны анық (желі апаттық болмаса), ал номиналдық мәндерге жақын болған кезде ықтималдық максималды болып тұрады. Осы мәндерінің функ-



14.4 сурет. Ықтималдықтар графигі:

а — өнеркәсіптік желіде кернеу мағынасының қысық ықтималдығы (ықтимал жағдай); б — «Иә» айтудың ықтималдық функциясындағы Н ақпараттың орташа көлемі байланысының тәуелділік графигі

цияларындағы кернеу мәндерінің пайда болу ықтималдығының тәуелділік қисығы 14.4, а суретінде (гипотетикалық жағдай үшін) келтірілген.

Ақпараттың орташа мәнін анықтау кезінде (орта мөлшерін) әртүрлі мәндері ықтималдығының айырмашылықтары негізгі рөлді атқарады. Егер әрбір мәннің пайда болу ықтималдығы бірдей болса, онда әрбір өлшенген мәнде бар ақпарат мөлшері орташа мәнге тең болып саналады. Олай болмаған жағдайда, алынған мәндер олар өздерінің «салмақтары» бойынша орта мәнге келтірілуі тиіс (сонда ең ықтимал мәнге ең үлкен «салмақ» сәйкес келеді). Осылайша салмақталған орташа шама анықталынады. Ықтималдықтардың өздері салмақты коэффициенттер болып табылады.

Ақпараттың орташа шамасы келесі өрнек арқылы анықталынады.

$$H = \frac{1}{\sum_{v=1}^m p_v} \sum_{v=1}^m p_v H_v = \sum_{v=1}^m p_v H_v = \sum_{v=1}^m p_v \log_2 \frac{1}{p_v}$$

немесе

$$H = - \sum_{v=1}^m p_v \log_2 p_v \quad (14.1)$$

себебі

$$\sum_{v=1}^m p_v = 1.$$

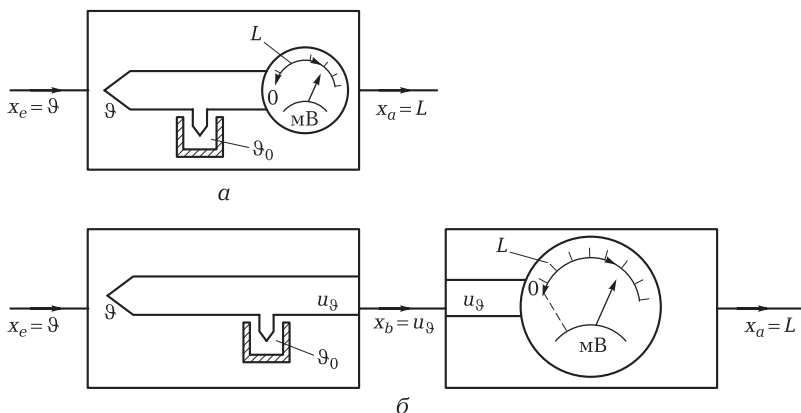
(14.1) өрнегінен өлшенетін шамасы мәндерінің біркелгі (тең ықтималды) үлестірілуі кезінде олардың әрқайсысы келесі ақпарат көлеміне тең болатыны көрініп тұр

$$H_0 = H = \log_2(1/p_v).$$

14.4. ӨЛШЕУ КЕЗІНДЕ АҚПАРАТТЫ ҰСЫНУ ФОРМАЛАРЫ

Өлшеу ақпараты оның тасымалдауыштары болатын сигналдар түрінде беріледі. Сигнал уақыт өтуімен өзгертін, тікелей (немесе онымен байланысатын басқа шама арқылы жана түрде) ақпаратқа ие болатын және осы ақпарат анықтала алатын, кем дегенде бір параметрге ие болатын физикалық шама болып табылады. Келтірілген параметрлер ақпараттық деп аталады және олардың мәндерінің көбісінің өлшеуіне жол беруі тиіс. Осы параметрлер өлшенетін шамамен бір мағыналы түрде байланысады да, өлшемдердің қайталуы кезінде оның мәндерінің жаңғыртылуын қамтамасыз етеді; олар бір уақытта тиісті өлшенетін шамалары мәндерінің шаралары ретінде қызмет етеді, яғни өлшенетін шамалар тиісті ақпараттық параметрлерімен бейнеленеді.

Әдетте сигнал ретінде өлшенетін көлемнің өзі қабылданады. Өлшеу онда «өлшенетін көлем» сигналы «шығыс көлемі»



14.5 сурет. ТермоЭҚК өлшеу схемасы:

а — термоэлемент және өлшеу аспабы — бірыңғай блок; б — термоэлемент және өлшеу аспабы тіркеп жазылған

сигналына түрлендіретін сигналдарды түрлендіру процессі болып табылады, яғни ол «өлшенген мағына» сигналына қайта түрлендіріледі. Сигнал түсінігі және оны анықтаумен байланысты болатын қасиеттерін келесі мысал негізінде түсіндіруге болады.

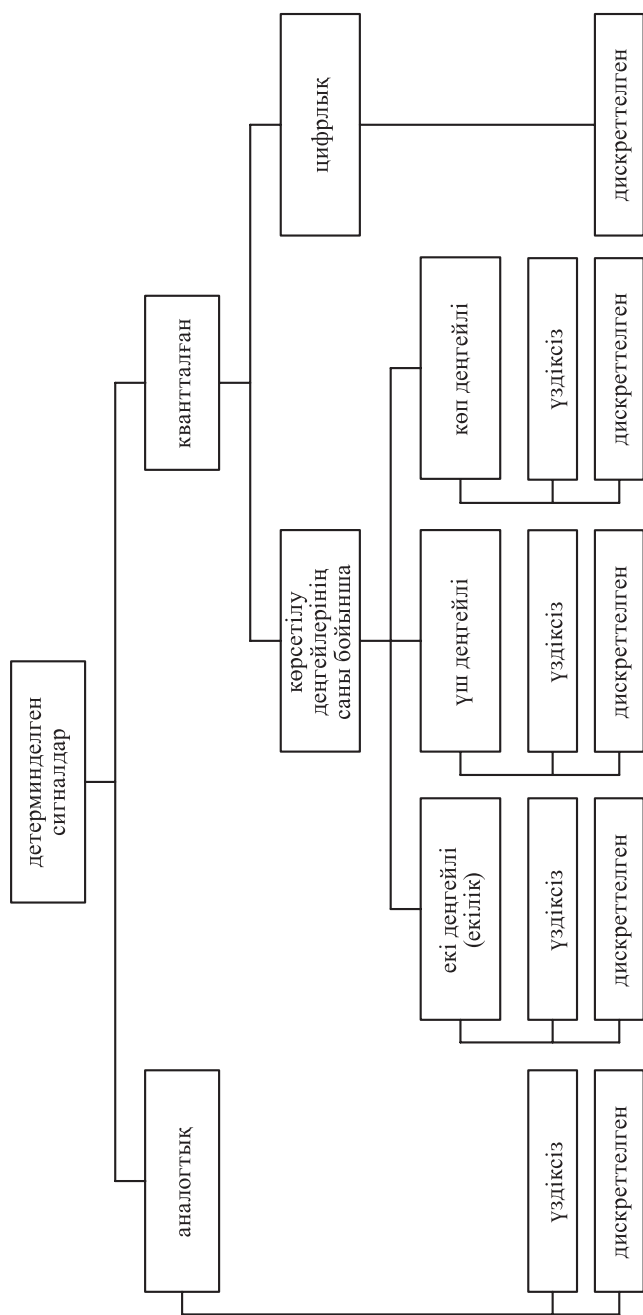
Термоэлемент және оған қосылған түрлендірілетін термоЭҚК өлшеуге арналған аспап схемалық түрде 14.5 суретте көрсетілген. Датчик-аспап жұбын бірыңғай жүйе ретінде (14.5, а суретін қараңыз) және екі тізбектей қосылған құрылғылар ретінде қарастыруға болады (14.5, б суретін қараңыз). Бірінші схемадан өлшенетін шаманы – температураны θ (x_c кіру сигналы); шкала бойындағы тілдің L доғасы ұзындығына ауытқуына түрлендірілетін хасигналын тасымалдаушы; ақпараттық параметр – шкала бойынша нөлдік белгілеуінен тіл тоқтаған бөлгішке дейін есептелетін L ұзындығынбөліп шығаруға болады. Екінші схемада $x_c = \theta$ және $x_o = u_\theta$ — термоЭҚК өлшенетін шамалары кіріс сигналдары болып табылады. ТермоЭҚК және тілдің ауытқуы хасигналын тасымалдаушылары болып табылады, ал термоЭҚК мәні мен L тілінің орын ауыстыруы ақпараттық параметрлерге жатады.

14.5. СИГНАЛДАР КЛАССИФИКАЦИЯСЫ

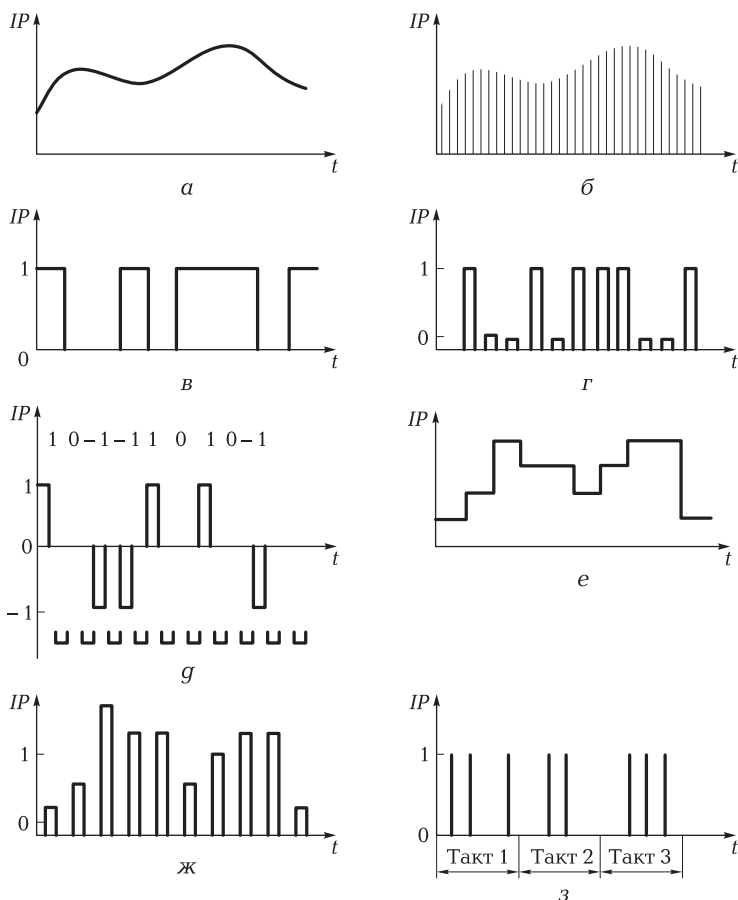
Сигналдарды түрлі жіктелу белгілері бойынша жүйелеуге болады. Ақпарат теориясының ережелері бойынша сигналдар ақпараттық параметрлер бойынша ажыратылады. Осында тәртібі кез келген уақытта белгілі болатын детерминделген сигналдар деп аталатын сигналдармен шектелім қоямыз.

Сигналдардың тиісті мысалдарының детерминделген сигналдар мен эпюрлердің жіктелу схемасы 14.6 және 14.7 суреттерінде келтірілген. Осы сигналдар аналогтық және квантталған болып табылады. *Аналогтық сигнал* (нақтырақ, оның ақпараттаушы параметрі) уақыттың кез келген сәтінде қандай да бір сандық мағынамен сипатталады және деңгейі бойынша мағынаның шексіз үлкен санымен беріле алады. *Квантталған сигнал*, керісінше, деңгейі бойынша мағынаның соңғы санымен беріледі. Осындай ұқсас сигнал анықталған мөндер салалары *кванттау интервалдары* (қадамдары, деңгейлері) деп аталады. Деңгей бойынша кванттау өте нақты боулы тиіс, дегенмен, ықтимал кванттау мөндерінің саны (кванттау деңгейлері) шеткі болып табылады. Деңгейлердің сандарын кодтауды да осындай сигналдарды *цифрлық* деп атайды.

Сигналдардың аналогтық және цифрлық сигналдарға бөлінуін (олардың деңгейлерінің мөндері көзқарасы тұрғысынан) үздіксіз



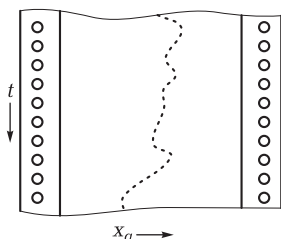
Сурет 14.6. Детерминделген сигналдар классификациясы



Сурет 14.7. Детерминделген сигналдардың түрлері және олардың мысалдары (IP— ақпараттаушы параметр):

а — аналогтық үздіксіз; б — аналогтық дискреттелген; в — екідеңгейлі үздіксіз; г — екідеңгейлі дискреттелген; д — үшдеңгейлі дискреттелген; е — көпдеңгейлі үздіксіз; ж - көпдеңгейлі дискреттелген; з - сандық дискреттелген

және үзiктi (дискреттелген) сигналдармен шатастырмау керек. Бiрiншiлерi мiндетiнiң кiлемiмен сипатталады, ал екiншiлерi уақыт iшiндегi өзгеру сипатымен және әсер етудiң ұзақтығымен ажыратылады. Үздіксіз сигнал әрдайым өзгеріп тұрады; ол ерiктi уақыт сәтiнде қызмет етiп, белгiлi бiр мәнге ие болады. Дискреттi сигнал тек дискреттеу интервалдары (қадамдары) деп аталатын уақыт интервалдарында ғана өзгередi.



Сурет 14.8. Өлшенетін шаманы қағаз таспада нүктелік рәсімдеу мысалы

Нүктелік өзіжазғышта алынғананалогтық дискреттелген сигналдың жазу учаскесі $x_a = f(t)$ 14.8 суретінде көрсетілген. Деңгей бойынша сигнал аналогтық болып табылады; оның дейгейлері хамәндерінің шексіз көп санымен көрсетілуі мүмкін. Дегенмен, уақыт бойынша ол үзікті болып табылады, яғни уақыт бойынша бірдей дискретизация интервалдары арасында өлшенген, дербес дискретті мәндермен белгіленеді. Кейбір жағдайларда осы интервалдар әр түрлі болуы мүмкін.

Деңгей бойынша квантталған сигналдар, өз кезегінде, екі-және көпдеңгейлі (немесе екі- және көпмағыналы) болып бөлінеді. Біріншілерін екілік сигналдар деп атайды; олартек екі мәнді қабылдайды - 0 немесе 1. Кейбір жағдайларда оларға -1 және +1 мәндері беріледі, бірақ мұндай сигналдар үшдеңгейлік сигналдарға жататын болса да, олар нөлдік мәнді де камтиды (14.7, д суретін қараңыз). Әдетте бұл сигналдарды цифрлық деп атайды да, импульстар жиынтығы ретінде бейнелейді. Сонда импульстардың осындай кезектілігінің ақпараттық параметрі тек амплитуда ғана емес (14,7, в-д суретін қараңыз), сонымен қатар осы импульстардың қадағалау жиілігі және олардың арасындағы уақыттық қашықтық болуы мүмкін. Соңғы жағдайда (14.7, з суретін қараңыз) уақыт – сигналдың ақпараттық параметрінің нөлдік мәні тактыдағы импульстің жоқ болуы болып табылады, ал такт ішіндегі осындай мәндерінің (0 және 1) саны сандық кодты құрайды.

Цифрлық сигналдар дискретті болып келеді. Оларды кезектес түрде (бір арна бойынша) немесе параллель түрде, бір уақытта параллель арналардың тобы бойынша параллель сөздер түрінде жіберуге болады. тізбектес жіберу кезіндетанба – уақытша такт белгісін де жіберу талап етіледі (14,7, з суретін қараңыз).

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Өлшеу құралдары мен қоршаған орта арасындағы өзара әрекеттестіктің жалпыланған схемасы қандай болады?

2. Ақпаратты қабылдау мен өңдеудің қандай операциялары ақпараттық жүйеде және өлшеудің жеке құралдарында орын алады?
3. Өлшеу ақпарат дегеніміз не?
4. Өлшенетін шаманың ықтимал мәні дегеніміз не?
5. Ақпаратты берудің қандай формалары бар?
6. Сандарды кодтау дегеніміз не және кодтардың қандай түрлері болады?
7. Екілік кодтың графикалық құрастырылуы қандай болады?
8. Өлшеу сигналдарықандай белгілер бойынша ажыратылады?

ӨЛШЕУІШ АҚПАРАТТЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ӨНДЕУ

15.1. АҚПАРАТТЫ ӨНДЕУ ҚҰРЫЛҒЫСЫНЫҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ

Ақпаратты өңдеу құрылғылары – бұл ақпараттандырылған түрлендіргіштер, олардың функционалдық тағайындалуы түрлендіру функциясымен анықталады. *Түрлендіру функциясы* дегеніміз $y = \Phi(x)$ тәуелділігін айтады және қарастырып отырған құрылғының бастапқы және соңғы шамаларын байланыстырады. Математикада «өңдеу» термині «оператор» терминіне эквивалентті. «Оператор» ұғымы жалпы жағдайда екі жиын элементтері арасындағы сәйкестікті білдіреді. «Функция» ұғымы оператордың ең қарапайым мысалы болып табылады, бұл жағдайда екі жиын да сандық болып келеді.

Ақпаратты өңдеу құрылғылары кез келген математикалық операциялардың орындалуына негізделген. Жүйеде олар функционалды түрде есептеу құрылғылары болып табылады. Құрылғылардың өлшеу және есептеу құрылғылары болып бөліну шектері көп жағдайда шартты болып келеді. Кез келген ақпаратты түрлендіруші есептеуіш болып табылады, өйткені ол белгілі бір «оператор» түрлендіру функциясын жүзеге асырады.

Сандық шамалармен (кодтармен берілген шамалармен) математикалық операцияларды орындаған кезде есептеу мен оқып алу әдістеріне негізделген өңдеу алгоритмдері қолданылуы мүмкін. Есептеу әдісі арқылы жұмыс істейтін түрлендірушілерде айнымалы шамалар ақпаратты өңдеу құрылғысына бірлік немесе разрядты туындылар түрінде енуі мүмкін.

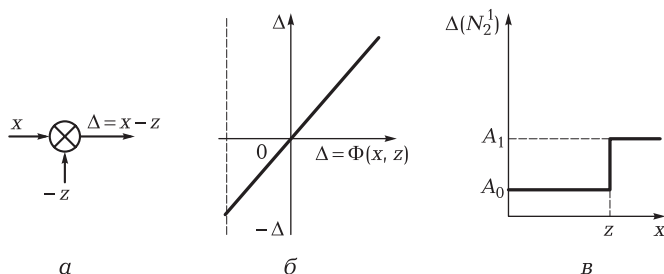
Сәйкестік әдісі бойынша жұмыс істейтін түрлендірушілерде функция есте сақтау құрылғысында сақталады және айнымалылар мәндері негізінде оқылады. Бұл әдіс ең жылдам және ол күрделі операторларды орындауға мүмкіндік береді.

Ақпараттың өңделуі орталықтан жүзеге асырылуы мүмкін немесе бөлек түрлендірушілер бойынша үлестірілуі мүмкін. Бірінші жағдайда өңдеу үшін «есептеу машиналары» атауына ие болған арнайы мамандырылған құрылғылар пайдаланылса, екінші жағдайда өңдеу ақпаратты түрлендірудің бүкіл трактындағы ақпаратты түрлендіргіштер көмегімен жүзеге асырылады.

Өлшеу құрылғыларында алынған ақпаратты статистикалық өңдеу көмегімен сәйкес коэффициенттерге бөлу немесе көбейту арқылы ақпараттың өлшеу қателігін азайтуға болады, сигналдарды бірыңғай масштабқа келтіруге болады; өлшеу нәтижелерін логрифмдік масштабта келтіруге болады, бұл бастапқы шаманың өлшеу диапозонын кеңейтуге мүмкіндік береді; түрлендірудің жалпы трактының сипаттамасын сызықтандыру мақсатында функционалды түрлендіруді жүзеге асырады. Егер де есептеу көлемі көп болса, орталықтандырылған өңделуді қолданған жөн және ақпаратты өңдеу құрылғысы ретінде есептеу техникасының арнайы немесе әмбебап құралдарын қолданған жөн.

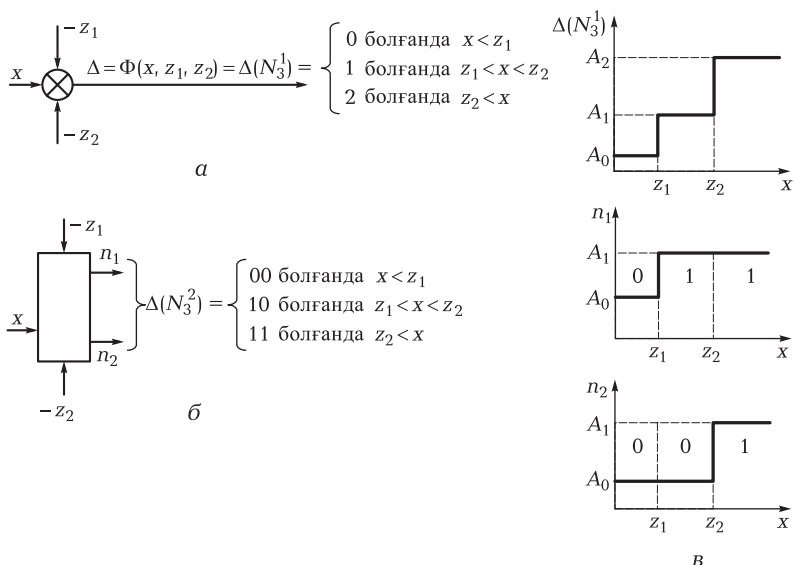
15.2. САЛЫСТЫРУ ЖӘНЕ АЗАЙТУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ

Басқарудың және автоматты түрде реттеудің ең қарапайым жүйелерінде ақпаратты өңдеу құрылғылары $\Delta = x - z$ өрнегіне сәйкес азайту операциясын орындайды. Азайту құрылғысының шартты графикалық белгіленуі және амплитудалы модуляциясы мен үздіксіз шамаларын қолданған кездегі аналогты шама үшін $\Delta = \Phi_{\Pi}(x, z)$ тәуелділігі 15.1, а, б суретінде бейнеленген. Бұл орайда x шамасының z шамасынан ауытқу белгісі мен өлшемін



Сур. 15.1. Азайту құрылғылары:

а – шартты графикалық белгіленуі; б – аналогты шама үшін; в – квантты шама үшін



Сур. 15.2. Салыстыру құрылғылары:

а – шығу жолындағы бір разрядты үшпозициялы коды бар құрылғысы; б – екі разрядты екілік-үштік коды бар; в – сигналдардың логикалық деңгейлері.

анықтайды. Бірқатар жағдайларда Δ белгісін анықтау жеткілікті, мысалы салыстыру операциясын жүзеге асырған кезде. Соңғы шама квантталады және бір разрядты $A_0 = 0, A_1 = 1$ логикалық деңгейлері бар екілік код $\Delta(N_2^1)$ түрінде беріледі (сур. 15.1, в).

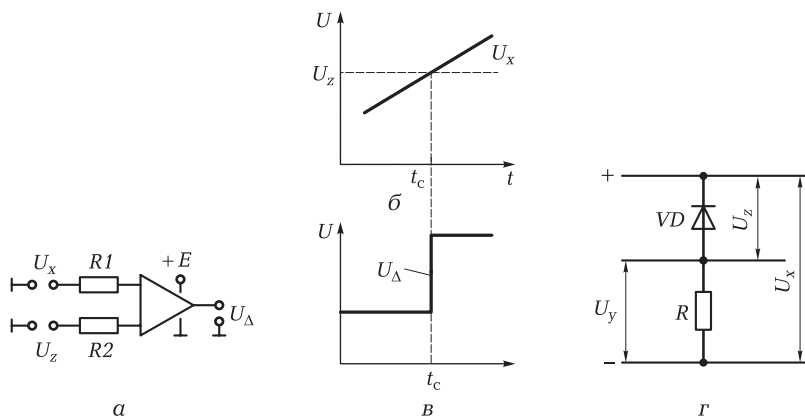
Шығу жолында сигнал бір разрядты үшпозициялы кодымен $\Delta(N_3^1)$ (сур. 15.2, а) немесе екі разрядты екілік-үштік кодымен $\Delta(N_3^2)$ (сур. 15.2, б) берілетін салыстыру құрылғылары пайдаланылады. Бірінші жағдайда бір ғана шығу жолы бар және сигнал үш логикалық деңгейменен (A_0, A_1, A_2) беріледі, екінші жағдайда n_1 және n_2 екі шығу жолы бар, әр шығу жолында сигнал екі логикалық деңгейменен (A_0, A_1) (сур. 15.2, в) беріледі.

Электрлік резистивті түрлендіргіштердің сигналдарын салыстыру және азайту үшін көпір диагоналінда беруші резистор мен бергіш резисторын қосу арқылы берілген кернеуден бергіш резисторы кедергісінің ауытқуына пропорционалды кернеу қалыптасатын схемалар пайдаланылады.

Электрлік кернеулерді салыстыру және азайту үшін операциянды күшейткіштер кең қолданылады. Олар дифференциалды схема бойынша орындалады және оларға берілген кернеулердің

айырмасын ғана күшейтеді. Операционды күшейткіштер әмбебап есептеу элементтері болып табылады, олар қосу схемалары аркасында түрлі математикалық операцияларды жүзеге асыра алады. Операионды күшейткіштегі салыстыру құрылғысының (компаратордың) схемасы ОКс 15.3 суретінде бейнеленген. Терістеуші емес кіріске (15.3, а сур. қараңыз) U_x кернеуі беріледі, оны берілген U_z кернеуімен салыстыру қажет. Салыстыру уақытына дейін t_c (15.3, б сур. қараңыз) ОКс шығу жолындағы кернеуі төмен болады (15.3, в сур. қараңыз). t_c мезетінде $U_x = U_z$ болғанда, операционды күшейткіштің ОКс шығу жолында кернеу секіріске ұшырап, жоғары мәнге дейін өседі. Бұл кернеу секірісі (айырмасы) команда ретінде қолданылуы мүмкін.

Кернеу регуляторларындағы кернеулерді салыстыру үшін параметрлік тұрақтандырғыштар кең қолданылады (15.3, г сур. қараңыз). Бұндай құрылғының негізін $U_{\text{тип}}$ тұрақтандыру кернеуі бар VD стабилитроны құрайды. Берілген U_z кернеуі стабилитрон және R резисторы көмегімен қалыптасады. Кірмелік кернеу U_x U_z мәніне дейін жеткенде, стабилитрон үлгісі арқылы қалыптасады. Содан кейін кірмелік кернеу ұлғайған кезде стабилитрондағы кернеу тұрақты болып қала береді, ал резистордағы R кернеу – өседі. U_z кернеуі U_x кернеуінен шегеріледі, және алынған кернеулер айырмасы $U_y = U_x - U_z$ басқару құрылғысының күшейткішіне беріледі. Тәжірибелік схемаларда U_z кернеуінің талап етілетін мәнін таңдап алу үшін кернеу бөлгіші пайдаланылады.



Сур. 15.3. Операционды күшейткіштердегі құрылғылар схемалары:

а, б, в – салыстыру құрылғыларының схемалары; г – параметрлік тұрақтандырғын схемасы

нылады. Қазіргі кезде кодтар түріндегі салыстыру операциялары үшін микропроцессор техникасының элементтерін пайдаланған жөн.

15.3. АҚПАРАТТЫ ӨНДЕУДІҢ ОРТАЛЫҚТАН- ДЫРЫЛҒАН ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ

Егер де ақпаратты өңдеу көлемі едәуір үлкен болса, онда ақпараттың өңделуін бір құрылғыда шоғырландырған жөн. Ондай құрылғыларға есептеу машиналары жатады.

Қазіргі кезде аналогты және цифрлы есептеу машиналары кең қолданысқа ие болды. Заманауи есептеу машиналарын құру үшін тек қана электронды техника элементтері пайдаланатындықтан, «электронды-есептеу машиналары» деген термин көп жағдайда қолданылатын болды.

Техникада жиілікті-модуляцияланған сигналдары бар есептеу құрылғылары және амплитудалы, жиілікті және кодталған модуляциясы бар аралас (гибридті) есептеу құралдары пайдаланылады.

Аналогты есептеу машиналарда ақпарат модуляцияның амплитудалы (аналогты) түрлерімен беріледі, ал цифрлы есептеу машиналарда кодталған модуляция көмегімен беріледі. Аналогты есептеу машиналары басқару объектілерін автоматты түрде модельдеу жүйелерінде кең қолданылады және басқару жүйелерінің өзінде сирек кезде қолданылады.

Аналогты есептеу машиналарының негізгі артықшылығына кодталған модуляцияны қолданатын жүйелерде жетімсіз болатын жоғары жылдамдықты әрекеттің жасалынуы болып табылады, кемшілігі – есептеу кезіндегі үлкен қателіктер. Аналогты есептеу машиналары дифференциалды теңдеулердің интеграциясын жүзеге асырады, математикалық модельдеу әдісі арқылы нақты динамикалық жүйелерді зерттейді. Заманауи аналогты есептеу машиналарының негізгі элементті базасын операциянды құшейткіштер құрайды.

15.4. ЖИІЛІКТІК ЖӘНЕ УАҚЫТТЫҚ ИМПУЛЬСТІК СИГНАЛДАРДЫ ӨНДЕУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ

Жиілікті және уақыт импульсті сигналдарын өңдеу құрылғылары қазіргі кезде техникалық объектілерді басқару жүйелерінде кең қолданылады. Бұл сигналдардың жиілікті-импульсті және уақыт-импульсті модуляциясы бар. Өңдеу құрылғыларының

негізгі элементтеріне барлық мүмкін болатын есептегіштер жатады. Олар сумматор функцияларын атқарады. Бұл орайда импульсті бірлік кодымен берілген қосылғыштар бірлік өсімшелері ретінде келтіріледі. Жалпы жағдайда функция аргументтері өңдеу құрылғысына бірлік, разрядты өсімшелер және толық мәндес болып енуі мүмкін.

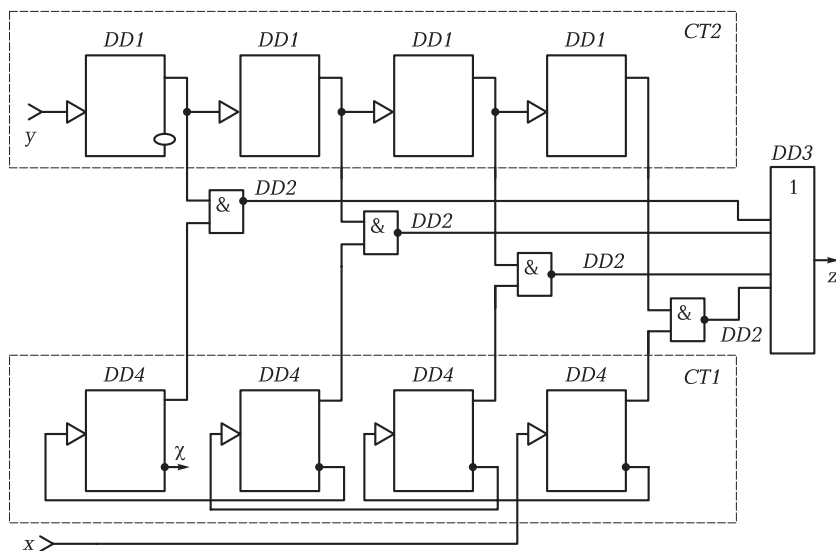
Жиілікті және уақыт импульсті модуляциясымен сигналдарды өңдеу үшін әмбебап түрлендіргіштер жасалынған: екілік көбейткіш және екілік бөлгіш. Бұл түрлендіргіштер көмегімен кез келген математикалық операциялар орындалуы мүмкін.

Екілік көбейткіш деп

$$f_z = f_x N_y$$

функциясын орындайтын құрылғыны атайды.

Екілік көбейткіштің принципиалды схемасы 15.5 суретінде келтірілген. Жиілігі f_0 болатын импульсті реттілікпен берілген x шамасы $DD4$ триггерлерден құралған $CT1$ есептегіш-бөлгіштің кіріс жолына түседі. $CT1$ әр разрядының шығу жолында жиіліктері $f_0 2^{-1}$, $f_0 2^{-2}$, $f_0 2^{-n}$ болатын импульстар сериясы қалыптасады, мұндағы n – $CT1$ және $CT2$ есептегіштеріндегі разрядтар саны. $CT2$ есептегіш-тіркеушінің $DD1$ T -триггері есептеу кірісіне импульсті реттілікпен берілген y шамасы түседі. Ол T_0 уақыты



Сур. 15.5. Екілік көбейткіштің принципиалды схемасы

ішінде N_y кодын қалыптастырады. N_y коды $CT2$ ішіне параллельді түрде де енгізілуі мүмкін. Кішісі $CT2$ және үлкені $CT1$ разрядтарының шығыстары $И$ ($DD2$) элементіне қосылған; сәйкесінше есептегіштердің басқа разрядтары $И$ -дің сәйкес элементтеріне қосылған, олардың шығыстары $ИЛИ$ ($DD3$) элементтерімен біріктірілген. Егер де $CT2$ -нің сәйкес триггерлері «1» жағдайында орналасатын болса, $DD2$ элементтері арқылы импульстар өтеді. $CT1$ триггерлер бірлік шығыстарын $DD2$ элементтеріне қосу, ал нөлдік шығыстарды үлкен разрядты шығыстарға қосу $DD3$ элементінің кіріс жолындағы разрядты тасымалдау импульстардың сәйкес келмеуін қамтамасыз етеді.

Екілік көбейткіш шығысында T уақыты ішіндегі, шығыс импульстар ілесу периодының бірқалыпсыздығын есепке алмай отыра, N импульстар санын келесідей формула бойынша анықтауға болады:

$$N_2 = T_0(a_n f_0 2^{-n} + a_{n-1} f_0 2^{-(n-1)} + \dots + a_1 f_0 2^{-1}) = \frac{T_0 f_0}{2^n} N_y$$

мұндағы $a_1, \dots, a_n$ - сәйкесінше 0 және 1-ге тең коэффициенттер; $N_y - T_0$ уақытында қалыптасқан екілік кодтағы $CT2$ есептегіш-тіркеуші ішіндегі сан.

Екілік көбейткіш шығысындағы импульстардың орташа ілесу жиілігі келесідей өрнек арқылы анықталады:

$$f_z = f_0 N_y / 2^n \text{ немесе } f_z = f_x N_y,$$

мұндағы $f_x = f_0 / 2^n$.

Алынған өрнек негізінде екілік көбейткіш f_z импульстарының ілесу жиілігі кезінде N_y саны екілік кодының түрлендіргіші ретінде қолданылуы мүмкін деген қорытындыға келеміз.

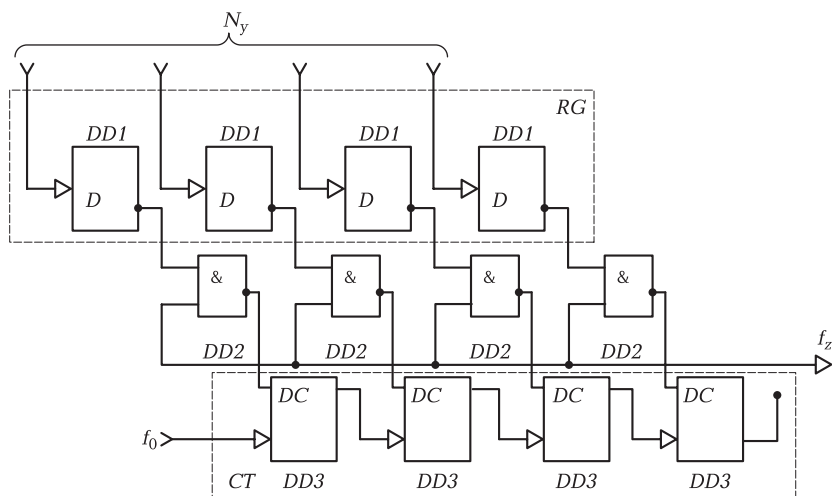
Екілік көбейткіштер өлшеу техникасында өлшеу түрлендіргіштерін құру үшін, сонымен қатар басқару және ақпаратты өңдеу құрылғыларын құру үшін кең қолданылады. Олар, сонымен бірге, реттеу жүйелерінде берілген жиілікті өлшеу заңына сәйкес генераторларды құрастыру үшін пайдаланылады. Екілік көбейткіш өнеркәсіпте микросхемалар түрінде шығарылады.

Екілік бөлгіш деп

$$f_z = f_0 / N_y$$

функциясын орындайтын құрылғыны атайды.

Екілік бөлгіштің принципіалды схемасы 15.6 суретінде келтірілген. D -триггерлерден $DD1$ құралған RG регистрына N_y коды енгізіледі. RG регистры ретінде есептегіш қолданылуы мүмкін.



Сур. 15.6. Екілік бөлгіштің принципиялды схемасы

D -триггерлерден құралған $DD3$ CT есептегіші шығысынан сигнал бойынша кері код келесідей өрнекпен анықталады:

$$N_y = 2^n - N_y,$$

мұндағы n – есептегіштің разрядтарсаны.

Келесі импульс шығыс жолында $T_0 = t_0 N_y$, мұндағы $t_0 = 1/f_0$ интервалынан кейін пайда болады. Екілік бөлгіштер кодты уақыт интервалына түрледіретін түрлендіргіштер болып табылады. Олар сигналдардың уақыт кідірістерін қалыптастыру үшін және фаза айналдырғыштар ртінде пайдаланылуы мүмкін. Екілік қозғалтқыштарда, екілік көбейткіштердегідей, жиілікті түрлендіргіштер – шектік жылдам әрекет етуші код құрылуы мүмкін.

15.5. ЭЕМ КӨМЕГІМЕН АҚПАРАТТЫ ӨНДЕУ

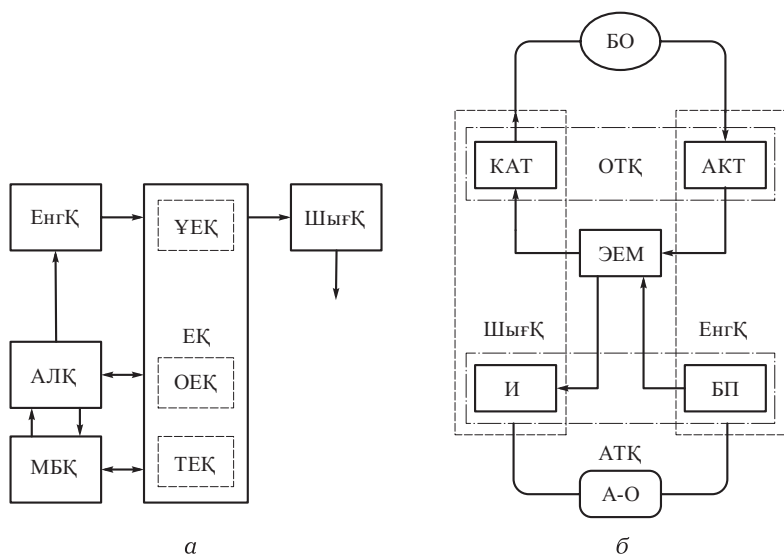
Ақпаратты өндеу құрылғыларының ең таралған түрі – ЭЕМ. Олар ақпараттың түрлендірушілері болып табылады және өздерінің құрылымы бойынша күрделі жүйелерге жатады. Кез келген күрделі жүйе сияқты, ЭЕМ-нің басқару объектісі мен басқару жүйесі бар. Ақпаратты өңдейтін ЭЕМ-нің басты түйініне арифметикалық-логикалық құрылғысы АЛҚ жатады. Ол ақпаратты өндеу жүйесінде басқару объектісі болып табылады. Басқару жүйесінің негізін микропрограммалық басқару құрылғысы МБҚ құрайды. Өз жұмысында арифметикалық-логи-

калық құрылғы мен микропрограммалық басқару құрылғысы есте сақтау құрылғысымен ЕҚ өзара байланысады. Есте сақтау құрылғысы тұрақты (ТЕҚ), оперативті (ОЕҚ) және ұзақ мерзімді (ҰЕҚ) бола алады (сур. 15.7, а).

Заманауи ЭЕМ түрледірушілерінің ең қарапайым кіріс және шығыс элементтері күрделі электрмеханикалық, электронды-оптикалық және электронды құрылғыларына айналды. Оларды ақпаратты енгізу құрылғысы ЕнгҚ және шығару құрылғысы ШығҚ деп атайды.

Шығару құрылғысы шыққан мәліметтерді пайдаланушының қабылдауына, мәліметтердің сақталуына және басқа жүйелерге беруге ыңғайлы болатындай формаға келтіреді. Енгізу-шығару құрылғыларына ақпараттың магнитті тасушыларынан ақпаратты оқып алатын блоктар жатады және бұл тасушыларға жазып алатын блоктар жатады. Бұндай құрылғыларға фотодан оқып алатын құрылғылар, сканерлер, дисктік жинақтауыштар, графикалғыштар, принтерлер жатады.

Жұмыстың диалогтік режимін ұйымдастыру үшін дисплейлер қолданылады. Функционалдық мәніне қарай енгізу-шығару құрылғыларына басқару пульстері БП және адаммен түйіндістіру құрылғылары АТҚ болып табылатын сәйкес индикаторлар И бар. АТҚ арқылы адам-оператор А-О ЭЕМ-мен ақпаратты ал-



Сур. 15.7. ЭЕМ-нің құрылымдық схемалары:

а – жалпы; б – ЭЕМ-нің басқару объектісі мен адам-оператормен түйіндістірілуі

мастырады. Егер де ЭЕМ басқару жүйесіне кіретін болса, онда ЕнгҚ және ШығҚ жүйелік АТҚ айналады. Бұл жағдайда олардың ішінен объектімен түйіндесу құрылғыларын ОТҚ белгілеп алуға болады. Көп жағдайда басқару объектісімен БО түйіндесу құрылғысы дербес функционалды құрылғысы ретінде қарастырылады. Іс жүзінде бұл аналогты-кодтық АКТ және кодтық-аналогтық түрлендірушілер КАТ (сур. 15.7, 6). ЕнгҚ және ШығҚ арқылы ақпарат ақпаратты жазудың механикалық, магниттік немесе оптикалық әдісімен жасалынған дискілер түріндегі машиналық оқып алатын тасушылар көмегімен енгізіледі және шығарылады.

Машинада оқылатын тасушы мен оқып алу құрылғысы және ақпаратты жазу құрылғысының жиынтығы есте сақтау құрылғысын (жинақтауышты) құрайды. Заманауи дербес электронды-есептеу машиналарының негізгі енгізу-шығару құрылғыларына магнитті дискілердегі жинақтауыштар, дисплей (монитор), клавиатура, басып шығару құрылғысы (принтер) жатады. Аталған негізгі құрылғылардан басқа дербес ЭЕМ жабдықтары құрамына қосымша қатты магниттік дискілердегі есте сақтау құрылғылары; графикалық кескіндерді (суреттерді, сызбаларды, фотоларды, схемаларды, видеокескіндерді) енгізу-шығару құрылғылары; ЭЕМ-дерді байланыс желілеріне, мысалы телефон желілеріне, қосуға мүмкіндік беретін және бөлек ЭЕМ-дерді қуатты ақпарат желісіне біріктірілуіне жағдай жасайтын байланыс құралдары енуі мүмкін.

Арифметикалық-логикалық құрылғысы арифметикалық және логикалық операцияларды орындауға негізделген. Арифметикалық-логикалық құрылғысындағы барлық математикалық операциялар арнайы командалар арқылы микропрограммалық басқару құрылғысы әсерінен орындалады. Берілген мәселені шешу үшін керекті командалар жиынтығын программа деп атайды.

Микропрограммалық басқару құрылғысы ЭЕМ-нің барлық құрылғыларының жұмысын реттейді. Ол есте сақтау құрылғысынан кезекті команданы тандап алып, оның шифрын ашады және берілген команданы орындау үшін ЭЕМ жұмысын ұйымдастырады. Команданың жалпы жағдайда орындалуы тиіс операцияның типі туралы ақпараты, операцияға қатысатын мәліметтердің есте сақтау құрылғысындағы орналасу адресі, нәтиже жіберілетін адресі, және кезекті команданың орналасу адресі болады.

ЭЕМ жұмысы келесідей. Микропрограммалық басқару құрылғысының сигналы бойынша есте сақтау құрылғысынан команда оқылады. Тандап алынған команда МБҚ түседі де, шифры ашылады. Ашылған шифр нәтижелері негізінде қажетті басқару командалары орындалады. Олар АЛҚ, ЕнгҚ, ШығҚ

және жадыға ене отырып, АЛҚ қажетті мәліметтердің берілуін қамтамасыз етеді. Содан кейін АЛҚ ішінде кезекті басқару командалары әсерінен ақпараттың өңделуі жүзеге асырылады. Операция нәтижесі есте сақтау құрылғысына ЕҚ сәйкес адресі бойынша жіберіледі, ал МБҚ-ға кезекті команда беріледі де, жоғарыда аталған цикл қайталанады.

Есте сақтау құрылғысы немесе ЭЕМ жадысы программаларды және өңделетін ақпаратты (мәліметтерді) сақтау үшін жұмыс істейді. ЕҚ мәліметтері екілік санау жүйесінде кодтармен беріледі. Тұрақты есте сақтау құрылғыларында программалар мен константалар сақталынады. Олардың құрамындағы мәліметтер өшіріленбей, ЭЕМ-нің жасалу процесінде жазылып алынады.

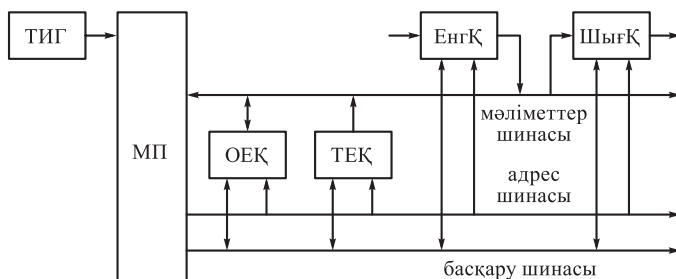
Оперативті есте сақтау құрылғылары өңдеу процесіндегі мәліметтерді есте сақтау үшін және жиі өзгеретін программаларды сақтау үшін арналған. Ұзақ мерзімді есте сақтау құрылғылары үлкен массивті мәліметтерді және программаларды сақтау үшін арналған. МБҚ арифметикалық-логикалық құрылғысы және ЕҚ сәйкес аймағы процессор ретінде қарастырылады (тура аудармасы – өңдеуші). Осылай, процессор – бұл берілген командаға сәйкес ақпаратты автоматты түрде өңдейтін ЭЕМ құрылғысы. Іс жүзінде АЛҚ сумматор болып табылады.

Заманауи электронды құрылғылар негізін жартылай өткізгіш материалдарда электронды эффектілерді пайдаланатын электронды эффектілер құрайды. Жартылай өткізгіш техниканың асқын дамуы интегралды схемалардың құрылуына, содан кейін үлкен және аса үлкен интегралды схемалардың дамуына әкеліп соқтырды. Бұл БИС түріндегі жартылай өткізгіштің бір кристалындағы процессордың жасалып шығарылуына жағдай жасады. Осындай БИС мыңдаған элементарлы транзисторларды құруы мүмкін.

Бір немесе бірнеше үлкен интегралды схемалар түрінде жасалынған процессор «микропроцессор» атауына ие болды. Микропроцессорларды және сәйкес интегралды схемаларды пайдалана отыра, түрлі ақпаратты өңдеу құрылғыларын, соның ішінде микроЭЕМ құруға болады. Микропроцессордағы үлкен интегралды схемаларға енгізілген ЕнгҚ және ШығҚ порттар деп атайды.

15.6. АҚПАРАТТЫ ӨНДЕУДІҢ МИКРОПРОЦЕССОРЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІ

МикроЭЕМ-нің типтік құрылымдық схемасы 15.8. суретінде келтірілген. Бұндай ЭЕМ-нің негізін микропроцессор МП құрайды. Такт импульстарының генераторы ТИГ жадыдағы



Сур. 15.8. МикроЭЕМ-нің типтік құрылымдық схемасы

команданы оқып алу және оны орындау (командалар циклын) уақытын анықтайтын микропроцессор жұмысының тактарын береді. Микропроцессорге кіретін есте сақтау құрылғыларынан басқа, қосымша оперативті ОЕҚ және тұрақты ТЕҚ есте сақтау құрылғылары кіретін сыртқы жады да пайдаланылады. Сыртқы жады көлемі көп жағдайда ЭЕМ мүмкіндіктерін анықтайды, сол себепті микроЭЕМ-де жадыны ұлғайту шарттары жасалынады.

Схемадан көрініп тұрғандай (сур. 15.8 қараңыз), микропроцессорлық жүйе құрылымының ерекшелігі үш шина – байланыс желістері көмегімен жүзеге асырылатын магистральді принцип болып табылады. Олар арқылы жүйенің жұмыс істеуіне қажетті барлық ақпарат таралады. Мәліметтер шинасы жүйе түйіндері арасындағы мәліметтерді алмастыру үшін пайдаланылады. Ол тұрақты үш жағдайы бар арнайы схемалар пайдаланылатын екі бағытты байланыс желісі болып табылады. Олар арқылы мәліметтер микропроцессор ішіне немесе одан сыртқа қарай тарайды. Адрес шинасы микропроцессор байланыста болатын жүйе түйіндерінің адресін беру үшін пайдаланылады. Басқару шинасы микропроцессордың МП және жүйенің барлық түйіндерінің синхронды жұмысы мен өзара байланысын қамтамасыз ететін сигналдарды беру үшін қолданылады. Басқару шинасы желістерінің бір бөлігі сигналдарды микропроцессордан беру үшін қызмет етсе, басқа бөлігі сигналдарды микропроцессорге беру үшін қызмет атқарады.

Түйіндерді қосудың магистральді принципін пайдалану ОЕҚ немесе ТЕҚ көлемдерін оңай ұлғайтуға, енгізу-шығару құрылғыларының номенклатурасын кеңейтуге, өзге құрылғыларды қосуға мүмкіндік береді. Қазіргі кезде ақпаратты енгізу және шығару құрылғылары микропроцессор ішіне орналастырылады

да, ақпаратты қабылдау және беру порттарымен бірге байланыс каналын құрайды. Байланысты жүзеге асыру үшін ЭЕМ түйіндері арасында «интерфейс» атауына ие болған унифицирленген сигналдарды пайдалану арқылы ақпаратты алмастырудың арнайы ережелері бекітіледі. Керек болған жағдайда кіріс және шығыс сигналдарын келісімдеу құрылғылары (интерфейсті карталар) пайдаланылады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Ақпаратты жүйелердің типтік құрылымдық схемасы қандай?
2. Ақпаратты өңдеу құрылғылары не үшін пайдаланылады?
3. Салыстыру және азайту құрылғылары қалай жұмыс істейді?
4. Салыстыру құрылғыларындағы операционды күшейткіштер қалай пайдаланылады?
5. Логикалық элементтердегі салыстыру құрылғылары қалай құрылған?
6. Ақпаратты өңдеудің орталықтандырылған құрылғылары дегеніміз не?
7. Жиілікті және уақыттық импульсті сигналдарды өңдеу құрылғыларының ерекшеліктері неде?
8. Екілік көбейткіш пен екілік бөлгіш қалай жұмыс істейді?
9. ЭЕМ көмегімен ақпараттың өңделуі қалай жүзеге асырылады?
10. Ақпаратты өңдеудің микропроцессорлық жүйелері қалай құрылған?

1. Аналогтық электрөлшеуіш аспаптар: оқу құралы/Е.Г.Бишард, Е. А. Киселева, Г. П. Лебедев басқалары— М.: Жоғары мектеп, 1991.
2. Электр және электр емес шаманы өлшеу: оқу құралы/ Н. Н. Евстихиев, Я. А. Купершмидт, В. Ф. Популовский; ред. Н. Н. Евстихиева. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Виртуалдық сайманды қолдану LabVIEW/ред. Басқарған К. С. Демирчана және В. Г. Миронова. — М.: Солон-Р, Радио және байланыс, Жедел желі — Телеком, 1999.
4. Метрология. Негізгі терминдермен анықтамалар РМГ 29-999. БКИИПК. — М.: Стандарттар баспасы, 2000.
5. Раннев Г. Г. Өлшеу әдістері мен құралдары: оқулық/ Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. — 2-басылым, стереотип. — М.: Академия, 2004.
6. Тартаковский Д. Ф. Метрология, стандарттау және өлшеу техникалық құралдары: оқулық/ Д.Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. — М.: Жоғары мектеп, 2001.
7. Харт Х. Өлшеуіш техникасына кіріспе: неміс тілінен аударылған/ Х. Харт. — М.: Мир, 1999.
8. Шишмарев В. Ю. Өлшеуіш техника: оқулық/ В. Ю. Шишмарев. — М.: Академия, 2008.
9. Шишмарев В. Ю. Өлшеуіш құралдар: оқулық/ В. Ю. Шишмарев. — 2-басылым, стереотип. — М.: Академия, 2008.
10. Шишмарев В. Ю. Техникалық өлшемдер мен аспаптар: оқулық/ В. Ю. Шишмарев. — М.: Академия, 2010.
11. Шишмарев В. Ю. Электррадиоөлшеуіштер: оқулық/ В. Ю. Шишмарев, В. И. Шанин. — 2-басылым, стереотип. — М.: Академия, 2009.

Шартты белгілер.....	3
Кіріспе.....	4

1 тарау. Өлшем бірліктермен қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі.....6

1.1. Физикалық шамалар өлшеу нысаны ретінде.....	6
1.2. Физикалық шамалар бірлігінің халықаралық жүйесі.....	7
1.3. Өлшемдер туралы негізгі түсініктер.....	8
1.4. Өлшеу құралдарының түрі.....	11
1.5. Физикалық шамалардың бірлік эталондары.....	13
1.6. ИЖ жүйесінің бірлік эталондары.....	16
1.7. «Өлшем бірліктерін қамтамасыз ету туралы» Федералдық заң.....	18
1.8. Тексеру және калибрлеу әдістері, тексеру схемалары.....	20
1.9. Өлшеудің негізгі әдістері.....	23
1.10. Өлшеуіш аспаптардың көрсеткіштері мен классификациясы.....	25

2 тарау. Өлшеудің метрологиялық көрсеткіштері.....29

2.1. Негізгі терминдер және анықтамалар.....	29
2.2. Жүйелік қателіктердің туындау себептері мен жою әдістері.....	32
2.3. Кездейсоқ қателіктерді бағалау.....	34
2.4. Өлшеуіш құралдардың қателіктері.....	38

3 тарау. Электрөлшеуіш аспаптардың өлшеуіш тізбектері және механизмдері.....45

3.1. Өлшеу механизмдер туралы жалпы мәліметтер.....	45
3.2. Магниттік-электрлік өлшеуіш механизмдер.....	49
3.3. Ферродинамикалық өлшеуіш механизмдер.....	52
3.4. Электрдинамикалық өлшеуіш механизмдер.....	55
3.5. Электрмагниттік өлшеуіш механизмдер.....	58
3.6. Электрстатикалық өлшеуіш механизмдер.....	61
3.7. Индукциялық өлшеуіш механизмдер.....	63
3.8. Өлшеуіш тізбектер.....	66

4 тарау. Электрлік өлшеу әдістері.....77

4.1. Электрлік өлшеуіш әдістерінің классификациясы.....	77
4.2. Электрлік өлшеу аспаптарының негізгі құрылымдық схемалары.....	78
4.3. Көпірлік схемалар.....	81

4.4. Тікелей бағалау аспаптарының өлшеу дәлдігін бағалау.....	83
4.5. Салыстыру әдісі бойынша жұмыс жасаушы өлшеуіш құралдар дәлдігін бағалау.....	85
5 тарау. Токтар пен кернеулерді өлшеу.....	87
5.1. Амперметрлермен вольтметрлердің тұтастығы және айырмашылығы.....	87
5.2. Тұрақты токтар мен кернеулерді өлшеу.....	88
5.3. Айнымалы токтар мен кернеулердің әрекетті мөндерін өлшеу.....	90
5.4. Айнымалы токтың орташа және амплитудалық мөндерін өлшеу.....	92
5.5. Шағын токтар пен кернеулерді өлшеу. Нөлдік көрсеткіштер.....	94
6 тарау. Электр қуаты мен энергияны өлшеу.....	96
6.1. Тұрақты және бірфазалық айнымалы ток тізбегіндегі қуатты өлшеу.....	96
6.2. Бір фазалық айнымалы ток тізбектеріндегі белсенді энергияны өлшеу.....	99
6.3. Үшфазалық айнымалы ток тізбектеріндегі белсенді қуат пен энергияны өлшеу.....	102
6.4. Реактивтік қуат пен энергияны өлшеу.....	106
7 тарау. Электр тізбектерінің параметрлерін өлшеу.....	109
7.1. Кедергілерді өлшеу.....	109
7.1.1. Амперметр-вольтметр әдісімен кедергілерді өлшеу.....	109
7.1.2. Омметрлермен кедергілерді өлшеу.....	111
7.1.3. Көпірлік әдістермен кедергілерді өлшеу.....	114
7.2. Индуктивтік пен сыйымдылықты өлшеу.....	121
8 тарау. Сандық және электрондық өлшеуіш аспаптар мен түрлендіргіштер.....	124
8.1. Сандық өлшеуіш аспаптардың сыныпталуы.....	124
8.2. Операциялық күшейткіштер. Сандық-аналогтық және аналогтық-сандық түрлендіргіштер.....	127
8.3. Аналогтық электрондық вольтметрлер.....	134
8.4. Цифрлық вольтметрлер.....	141
8.5. Сандық жиілік өлшеуіштер.....	152
9 тарау. Стандарттық өлшеуіш сигналдарын қалыптастыру аспаптары.....	161
9.1. Негізгі мәліметтер.....	161
9.2. Синусоидалы тербеліс генераторлары.....	164
9.3. Төменгі жиіліктік сандық өлшеуіш генераторлары.....	173
9.4. Шуыл сигналдаргенераторлары.....	175
9.5. Импульстік генераторлар.....	177
9.6. Жиілік стандарттары. Жиілік синтезаторлары.....	179

10 тарау. Сигналдар нысандарын зерттеу.....	184
10.1. Негізгі мәліметтер.....	184
10.2. Әмбебап осциллографтың құрылымдық схемасы.....	185
10.3. Жылдамдық және стробоскопиялық осциллографтары.....	202
10.4. Сандық осциллографтар.....	205
10.5. Үздіксіз және импульстік сигнал осциллограмманы алу әдістері.....	207
11 тарау. Диод, транзисторжәне интегралдық схемалардың электрлік параметрлерін өлшеу.....	213
11.1. Негізгі мәліметтер.....	213
11.2. Жартылай өткізгіштік аспаптардың параметрлерін өлшеу.....	213
11.3. Диодтар мен транзистордың $p-n$ ауысуы арқылы тура токтарды өлшеу.....	215
11.4. Диодтар мен транзистордың $p-n$ ауысуының кері токтарын өлшеу.....	216
11.5. Транзисторлардың статикалық параметрлерін өлшеу.....	217
11.6. Жартылай өткізгіштік аспаптардың сыйымдылығын өлшеу.....	221
11.7. Интегралдық схемалардың электрлік параметрлерін өлшеу.....	223
12 тарау. Амплитудалы-жиіліктік сипаттамаларды өлшеу.....	234
12.1. Амплитудалы-жиіліктік сипаттамалар өлшеуіштерінің құрылымдық схемалары.....	234
12.2. Амплитудалы-жиіліктік сипаттамалар өлшеуіштерінің негізгі түйіндері мен құрылғылары.....	248
12.3. Амплитудалы-жиіліктік сипаттамалардың сипатты нүктелерінің жиіліктерін өлшеу.....	245
12.4. Амплитудалы-жиіліктік сипаттамалар өлшеуіштерінің қолданылуы.....	247
13 тарау. Микропроцессорлық, компьютерлік және виртуалдық өлшеуіш аспаптар пен жүйелер.....	251
13.1 Негізгі мәліметтер.....	251
13.2 Микропроцессорлық өлшеуіш аспаптар.....	252
13.3 Компьютерлік-өлшеуіш жүйелер.....	254
13.4 Автоматтық өлшеуіш аспаптар.....	257
13.5 Виртуалдық аспаптар.....	261
14 тарау. Автоматтандырылған ақпараттық өлшеуіш жүйелер.....	267
14.1. Өлшеуіш құралдары жүйе ретінде.....	267
14.2. Өлшеуіш ақпарат.....	270
14.3. Өлшеу кезіндегі ақпараттың саны.....	272
14.4. Өлшеу кезінде ақпаратты ұсыну формалары.....	274
14.5. Сигналдар классификациясы.....	275

15 тарау. Өлшеуіш ақпаратты автоматтандырылған өңдеу.....	280
15.1. Ақпаратты өңдеу құрылғысының қолданылуы.....	280
15.2. Салыстыру және азайту құрылғысы.....	281
15.3. Ақпаратты өңдеудің орталықтандырылған құрылғылары.....	285
15.4. Жиіліктік және уақыттық импульстік сигналдарды өңдеу құрылғылары.....	285
15.5. ЭЕМ көмегімен ақпаратты өңдеу.....	288
15.6. Ақпаратты өңдеудің микропроцессорлық жүйелері.....	291
Әдебиет тізімі.....	294

Оқу басылымы

Шишмарёв Владимир Юрьевич
Электртехникалық өлшемдер

Оқулық

Редакторы *Л. В. Толочкова*,
Техникалық редактор *О. Н. Крайнова*
Компьютерерде беттеген: *Г. Ю. Никитина*
Корректорлер *А. П. Сизова*
2-басылым, стереотиптік

Басылым. № 102115527. Басуға қол қойылған 01.07.2014. Пішім 60х90/16.
«Балтика» гарнитурасы. Офс. қағаз № 1. Офсет баспа Шартты баспа табақ 19,0.
Таралым 1 000 дана. Тапсырыс №

«Академия» «Баспа орталығы ААҚ. www.academia-moscow.ru
129085, Москва, Мир даңғылы, 101В, кұр. 1.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлық-эпидемиологиялық қорытынды № РОСС RU. АЕ51. Н16592 29.04.2014.

Баспаның электрондық тасымалдауышынан басылған.
«Тверь полиграфиялық комбинат» ААҚ, 170024, Тверь, Ленин даңғылы, 5.
Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.
Homepage— www.tverpk.ru Электрондық пошта (E-mail) — sales@tverpk.ru