

В. Ю. ШИШМАРЁВ

ӨЛШЕУІШ ТЕХНИКАСЫ

ОҚУЛЫҚ

*«Білім беруді дамытудың федералды институты» федералдық
мемлекеттік мекемесі орта кәсіптік білім беру бағдарламаларын іске
асыратын білім беру мекемелеріне оқу құралы ретінде
ұсынған.*

6-басылым, стереотипті



Мәскеу

«Академия» баспа орталығы

2014

ӘОЖ 621.3.08(075.32)

КБЖ 30.10i723

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

П і к і р б е р у ш і л е р :

Т.В. Киселева - Мәскеу ғарыштық машина құрылысы техникумының пәндік радиэлектронды аспаптар комиссиясының төрағасы, пән мамандығының 14-санатты оқытушысы;

Л.Я.Гибер - «Ресей ғарыштық аспап жасау ғылыми-зерттеу институты» ФГУП метрология орталығының басшысы

В.Ю.Шишмарёв

Ш657 Өлшеуіш техникасы: кәсіптік орта білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған оқулық / В. Ю. Шишмарёв. 6-басылым., стер. – М. : «Академия» баспа орталығы, 2014. – 288 б.

ISBN 978-601-333-168-3 (каз.)

ISBN 978-5-4468-1294-3 (рус.)

Физикалық шама, олардың бірліктері мен эталондары, бірлік жүйелері туралы негізгі түсініктер келтірілген. Өлшеу әдістері және өлшеу құралдарының жіктемесі ұсынылған. Метрологиялық өлшеу көрсеткіштері қарастырылған. Сызбанұсқалары көрсетілген және үлгілік механизмдер жұмысының қағидаттары мен аспаптарды өлшеу тізбектері қарастырылған. Электрлік, магниттік және радиотехникалық өлшеу әдістері мен құралдарына баса назар аударылған. Сонымен бірге, бейэлектрлік шаманың электрлік өлшеулеріне арналған әдістер мен құралдары қарастырылған. Өлшеу бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесін құру негіздері баяндалған.

Оқулықты «Электрлік және электромеханикалық құрал-жабдықтарды техникалық пайдалану және қызмет көрсету (салалар бойынша)» мамандығы үшін «Электрлік және электромеханикалық құрал-жабдықтарға техникалық қызмет көрсету және жөндеу (МДК.01.04)» ПМ.01 кәсіби модуль менгеру кезінде пайдалануға болады.

Кәсіптік орта білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

ӘОЖ 621.3.08(075.32)

КБЖ 30.10i723

ISBN 978-601-333-168-3 (каз.)

© В.Ю. Шишмарёв, 2008

© «Академия» ағарту-баспа орталығы, 2008

ISBN 978-5-4468-1294-3 (рус.)

© Безендіру. «Академия» баспа орталығы, 2008

ШАРТТЫ БЕЛГІЛЕР

АИМ	амплитудалық-импульстік модуляция
АИП	ұқсас өлшеу аспабы
АЦП	аналогті-цифрлық түрлендіргіш
АЧХ	амплитудалық-жиіліктік сипаттама
АЭП	аналогті электр күшін өлшейтін аспап
БПФ	Фурьелік жылдам түрлендіру
ВАП	кіру аналогті түрлендіргіш
ВЧ	жоғары жиілік
ГКМВ	Өлшем және салмақ жөніндегі бас конференция
ГКЧ	тербелмелі жиілік генераторы
ГЛИН	желілік өзгертін кернеу генераторы
ГМС	Мемлекеттік метрологиялық қызмет
ГС	сигнал генераторы
ГСС	стандартты сигналдар генераторы
ДПФ	Фурьелік дискретті түрлендіргіш
ДРФ	дискретті торлы қызмет
ЗЦО	есте сақтайтын цифрлық осциллограф
ИВ	импульстік вольтметр
ИП	өлшеу аспабы
ЛБВ	кума толқын лампасы
ЛПД	көшкінді-өту диоды
МХ	метрологиялық сипаттама
НЧ	төмен жиілік
ОГ	осциллографиялық гальванометр
ОС	кері байланыс
РСК	Ресейлік калибрлеу қызметі
СВЧ	асқан жоғары жиілік
СКО	орта квадраттық ауытқу
УПЧ	аралық жиілікті күшейту
ФАПЧ	жиілікті фазалық автобаптау
ФЧХ	фазажиіліктік сипаттама
ЦАП	цифрлық аналогті түрлендіргіш
ЦИП	цифрлық өлшеу аспабы
ЦОУ	цифрлық өлшемдік құрылғы
ЭДС	электр қозғаушы күш
ЭЛО	электронды-сәулелік осциллограф
ЭЛТ	электронды-сәулелік түтік
ЭСЧ	электронды-есептік жиілік өлшегіш

Адамның дүниетанымын қалыптастыру көптеген міндеттердің туындауымен қабаттаса жүреді, оларды шешу үшін материалдық әлем объектілерінің (құбылыс, процесс, зат, бұйым) сол және өзге қасиеттерінің сандық ақпаратын білу қажет.

Мұндай ақпаратты алудың негізгі тәсіліне өлшеу жатады, яғни, дұрыс ұйымдастыру және дәл орындау кезінде өлшенетін объектінің немесе процестің қызықтыратын қасиетін нақты дәлдікпен бейнелей отырып, нәтижесі алынады. Өлшеу ақпараты өнімді сынау, оның техникалық деңгейін бағалау, сапасын аттестациялау және сертификациялау кезінде, техникалық және басқарушылық шешімдерді қабылдауға арналған негіз болып табылады.

Қазіргі таңда өлшеу техникасын барлық білім салаларындағы автоматтық бақылау, өндірістік процестерді және ғылыми-зерттеу жұмыстарын автоматтандыру мақсатында кең қолданады. Өлшеуді қажет ететін нақты әдістер мен технологияларды машина жасау, химия, медицина және басқа салаларда кеңінен қолданады.

Көп жылдық тәжірибеден белгілі болғанындай, қандай да бір пәннің жекелеген бөлімдерін зерттеуге қарағанда, білімнің жүйелік негізді маманын қалыптастыру неғұрлым құндырақ, сондықтан осы оқулықта өлшеудің негізгі әдістері және метрологиялық көрсеткіштері, заманауи терминология және өлшеу әдістері мен құралдарының жіктемесі, өлшеу аспаптарының қағидалық сұлбасы және өлшеу қателігін бағалау мәселелері келтірілген. Сондай-ақ, оқулықта белгіленген әдістер негізінде жасалған өлшеу аспаптарының нақты құрастырылымы қарастырылған.

Кез келген өлшеу аспабы бір физикалық шамадан екіншісіне түрлендіретін қатардан тұрады, сондықтан оқулықта түрлендіру қызметінің түрі бойынша біріктірілген түрлендіргіштердің әртүрлі жүйелері дәйектілікпен қарастырылған, өлшенетін шамалары бойынша топтастырылған өлшеу аспаптарын өлшеудің негізгі әдістері және типтік сұлбасы келтірілген. Материалды осылайша баяндау өлшеуші техникасының қазіргі әдістері мен құралдарының ғылыми жіктемесіне сәйкес келеді.

Дәлдіктің қажетті деңгейі техникалық және экономикалық мақсаттылық өлшемдерімен айқындалуы қажет. Өлшеу дәлдігін екі есе арттыру өлшеу процесін бірнеше есе қымбаттататыны белгілі. Сонымен бірге, өндірістегі өлшеу дәлдігін белгіленген нормадан төменге төмендету өнімнің жарамсыздығына әкеледі.

Әлбетте, қағидат бойынша әртүрлі қолдану әдістемесінің ықпал етуі және өлшеу құралдарының дәлдігі көмегімен жүргізілген өлшеу тек олардың нәтижелеріне сенуге болатын кезде ғана пайдалы болуы мүмкін, ал әртүрлі экспериментшілермен әртүрлі уақытта және әртүрлі жерлерде алынған өлшеу нәтижелерін қажет болған жағдайда өзара салыстыруға болады. Бұдан басқа, нақты кәсіпорыннан мемлекетке дейін бүтіндей өлшеудің біртұтастығы болуы қажет. Бұл үшін метрология заң шығару функциясына сүйенеді. Метрология саласындағы заңдар өлшеудің біртұтастығына жетуге, әзірлеу тәртібіне және өлшеу құралдарын сынауға бағытталған талаптарды, өлшеуді орындау нормалары мен қағидаларын ескере отырып, әзірленеді. Оларда терминдер мен анықтаулар, физикалық шама бірліктері және оларды қолдану қағидалары белгіленеді. Барлық осы нормалар, қағидалар мен талаптар Өлшеудің біртұтастығын қамтамасыз ету мемлекеттік жүйесінің стандарттарымен және қолдануға міндетті басқа нормативтік-техникалық құжаттармен белгіленеді.

Әртүрлі өлшеулерді орындаудың өлшеу әдістерін және физикалық шаманы өлшеу құралдарын жасаудың негізгі қағидаларын зерделеуді талап етеді. Сондықтан, бірінші кезекте өлшеу әдістерін меңгеру қажет. Бұл нақ осы өлшеу әдістері мен аспап жұмыстарының физикалық қағидалары ең тұрақты компоненттері болып табылатынымен шартталған, олай болса нақты сұлбалық шешімдер мен өлшеу құралдарының элементтік негізі үздіксіз өзгереді және жетілдіріледі.

1-тарау

ӨЛШЕУДІҢ БІРТҰТАСТЫҒЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ МЕМЛЕКЕТТІК ЖҮЙЕСІ

1.1. Физикалық шамалар өлшеу объектілері ретінде

Өлшеу объектілері негізгі және туынды болып бөлінетін физикалық шамалар болып табылады. *Негізгі шамалар* бір-біріне байланысты болмайды, бірақ басқа физикалық шамалармен байланысын белгілеу үшін маңызды болатындарын *туындылар* деп атайды. Мысалы, Эйнштейн формуласындағы негізгі шама – күш, ал туынды энергия болып табылады. Негізгі және туынды бірліктердің жиынтығы *физикалық шамалардың біртұтас жүйесін* құрайды.

Біртұтас жүйенің алғашқысы метрлік жүйе болып есептеледі, мұнда ұзындықтың негізгі бірлігі – метр, ал салмақтың бірлігі үшін¹ * – 4°C жуық температура кезіндегі 1 см³ таза судың химиялық салмағы – грамм (кейін –килограмм) қабылданған болатын. 1799 жылы метр мен килограмның алғашқы прототиптері (эталондары) әзірленді. Осы екі бірліктен басқа, метрлік жүйе өзінің бастапқы нұсқасына аудан бірлігін (ар-10 м тарапынан квадрат ауданын), көлемді (стер -10 м қырымен куб көлемі) және сыйымдылықты (литр - 0,1 қырымен куб көлемін) қосты. Осылайша, метрлік жүйеде шама бірліктерін негізге және туындыға дәл бөлу болған емес.

Бірліктер жүйесін негізгілер және туындылар жиынтығы ретінде түсінуді 1832 ж. алғаш рет неміс ғалымы К. Ф. Гаусс ұсынды. Бұл жүйеде негізгі бірліктер үшін ұзындық бірлігі-миллиметр, салмақ бірлігі-миллиграм, уақыт бірлігі-секунд қабылданған болатын. Осы бірліктер жүйесі *абсолюттік* деп аталады.

1881 ж. СГС физикалық шама бірліктерінің жүйесі қабылданған болатын, олардың негізгі бірліктері: ұзындық бірлігі-сантиметр, салмақ бірлігі-грамм, уақыт бірлігі-секунд болып табылады. Жүйенің туынды бірліктері: күш бірлігі-килограмм-күш және жұмыс бірлігі-эрг болып есептелді. СГС жүйесінің қолайсыздығы көптеген бірліктерді, олардың ара қатынастарын анықтау үшін басқа жүйемен қайта есептеу қиындық келтіруінде болды.

¹ XVIII ғ. «ауырлық» және «салмақ» ұғымдары ажыратылмады және бір шаманы білдірді.

XX ғ. басында италиялық ғалым Дж.Джорджи бүкіл әлемде әжептәуір кең тараған, МКСА атауын алған тағы бір бірліктер жүйесін ұсынды. Осы жүйенің негізгі бірліктері: метр, килограмм, секунд, ампер (электрлік тоқ күшінің бірлігі), ал туындылары: күш бірлігі-ньютон, энергия бірлігі-джоуль, қуат бірлігі-ватт болды.

Ғалымдар өлшеудің бірыңғай халықаралық жүйесін құру үшін физикалық шама бірліктерінің басқа да жүйесін ұсынды. Бірақ, қазіргі кезде әлемнің бірқатар елдері өздерінде тарихи қалыптасқан өлшеу бірліктерінің негізінде өлшеу жүргізуді жалғастырып келеді, мысалы: Ұлыбританияда, АҚШ және Канадада салмақтың негізгі бірлігін-фунт деп есептейді, әрі оның «британдық империялық шамасы» және «ескі винчестер шамасы» жүйесіндегі өлшемі әртүрлі. Әлемдік тәжірибеде неғұрлым кең таралғаны Халықаралық бірліктер жүйесі (БЖ).

1.2. Физикалық шама бірліктерінің халықаралық жүйесі

1954 ж. шамалар мен салмақтар жөніндегі бас конференцияда (ШСБК) халықаралық қатынастарда пайдалануға арналған физикалық шаманың негізгі алты бірлігі белгіленді: метр, килограмм, секунд, ампер, Кельвин градусы және жарық. 1960 ж. осы конференцияда SI— Халықаралық бірлік жүйесі бекітілген болатын. Жүйенің аббревиатурасы «Systeme International d'Unites» — Интернационалдық жүйе (ИЖ) франциялық атаудың бастапқы әріптерінен құралған. Соңғы жылдары ШСБК отырысында толықтырулар мен өзгертулер қабылданды, соның нәтижесінде жүйеге жеті негізгі бірлік: физикалық шаманың екі қосымша және бірқатар туынды бірліктері енгізілді, сондай-ақ негізгі бірліктердің мынадай анықтамалары әзірленді:

ұзындық бірлігі — *метр* — вакуумдағы жарық $1/299\,792\,458$ секундтық үлеспен өтетін жол ұзындығы;

салмақ бірлігі — *килограмм* — халықаралық килограмм прототипінің ауырлығына тең, салмақ;

уақыт бірлігі — *секунд* — сыртқы өрістер тарапынан ұйытқулар болмаған кезде, ^{133}Cs атомның негізгі күйінің екі ең жіңішке деңгейі арасындағы тиісті өтудің $9192\,631\,770$ сәулелену кезеңіне тең уақыт;

электрлік тоқ күшінің бірлігі — *ампер* — шексіз ұзындықтың қатарлас екі өткізгіші бойынша және вакуумде біреуі біреуінен 1 м қашықтықта орналасқан, әр учаскеде $2 \cdot 10^{-7}$ Н тең өзара іс-қимыл күшіне ұзындығы 1 м өткізгіш құра алатындай айналма көлденең қиманың шағын қуыстан өтуі кезіндегі өзгермейтін тоқ күші;

термодинамикалық температура бірлігі — *кельвин* — судың үштік нүктесінің термодинамикалық температурасы бөлігінің $1/273,16$ тең термодинамикалық температура. Термодинамикалық температурадан басқа Цельсия температурасын (бірлік –Цельсия градусы) қолдануға болады;

заттар санының бірлігі — *моль* — салмағы 0,012 кг, көміртектегі атомдары 12 болатын болса, осыншама құрылымдық элементтері болатын жүйедегі заттар саны;

жарық күшінің бірлігі — *кандела* — $540 \cdot 10^{12}$ Гц жиілікпен монохромдық сәулеленуді беретін қуат көзінің берілген бағытындағы жарық күші, осы бағыттағы жарықтың энергетикалық күші $1/683$ Вт/см² құрайды.

Келтірілген анықтамалар — киын, бұлар белгілі бір білім деңгейін, ең әуелі физиканы талап етеді. Дегенмен, олар қабылданған бірліктердің табиғи жаратылу тегі туралы түсінік береді.

Халықаралық бірліктер жүйесі алдыңғы жүйелермен салыстырғанда неғұрлым жетілген әрі әмбебап болып есептеледі. Негізгілерден басқа, онда жазық және денелік бұрыштарын, сәйкесінше, радиан және стерadiansын өлшеуге арналған қосымша бірліктер саны, сондай-ақ кеңістік пен уақыттың туынды бірліктер саны, механикалық, электрлік, магниттік, жылулық, жарықтық және акустикалық шамалар, сонымен бірге иондаушы сәулелену шегіндегі туынды бірліктер саны көп болады.

Іс жүзінде барлық халықаралық ірі ұйымдар метрология бойынша өз ұсынымдарын Халықаралық бірліктер жүйесіне енгізді және осы ұйымға мүше - барлық елдерді - осыны қабылдауға шақырды. Ресейде ИЖ тиісті мемлекеттік стандартты 1963 жылы енгізу жолымен ресми қабылданған болатын.

Бүгінде ИЖ жүйесі шын мәнінде халықаралықтық болды, бірақ осы жүйенің бірліктерімен бірге, жүйеден тыс бірліктерді де қолданады, мысалы: тонна, тәулік, литр, гектар және басқалары.

1.3. Өлшеулер туралы негізгі ұғымдар

Метрологияның «мөлшер», «құралдар», «қағидаттар», «әдістер» және «өлшеу объектілері», «өлшеу алгоритмдері» «өлшеу шкалалары» және басқа ұғымдарына сәйкес келетін көпшілік мақұлдаған анықтамаларын қарастырайық.

Метрологияның МЕМСТ 16263 — 70 МИЖ негізгі стандартына сәйкес *өлшемдер* деп, тәжірибелік жолмен, арнайы техникалық құралдардың көмегімен физикалық шаманың мәнін табу процесін атайды. Бұл ретте алынған ақпарат өлшеуіштер деп аталады.

Өлшеу объектісі туралы нақты ақпарат өлшеу тиімділігін қамтамасыз етуші маңызды фактор болып табылатын зерттеудің жүргізілгеніне дейін белгілі болуы қажет. Өлшеу объектісі туралы мұндай ақпаратты *долбар* деп атайды. Осындай ақпараттың толық болмауы кезінде өлшеу мүмкін емес, себебі нені өлшеу қажеттігі белгісіз, демек, қажетті өлшеу әдістері мен құралдарын да таңдауға болмайды.

Өлшеу нәтижесінде алынған ақпарат, өлшеу объектісінде екі формада: пассивті және активті болып баяндалуы мүмкін. *Пассивті* ақпарат объектіні сипаттайтын мәліметтердің жиынтығын құрайды. Мұндай ақпаратқа, мысалы, қуат көзі кернеуінің шамасы туралы ақпарат жатады. Ал, егер де онда қандай да бір құбылыстың энергетикалық сипаттамасының формасы болатын болса, ақпарат *активті* болып табылады. Ұқсас энергетикалық құбылыстар *сигналдар* деп аталады. Олар мысалы, ақпаратты беру үшін пайдаланатын электрлік, оптикалық және акустикалық *сигналдар* болып табылады.

Қызықтыратын физикалық шаманың мәнін анықтау кезінде өлшеу нәтижесі метрологияның негізгі теңдеуі ретінде белгілі, аналитикалық ара қатынас түрінде былайша ұсынылуы мүмкін:

$$A = kA_0,$$

мұндағы A — өлшенетін физикалық шаманың мәні; k — өлшенетін шаманың өрнекке қатынасы; A_0 — өрнек үшін қабылданған шаманың мәні.

Өлшеу қағидаты өлшеуге негізделген физикалық қағидаттардың жиынтығын құрайды, мысалы қуатты немесе әсерді өлшеу үшін Холл нәтижесін немесе электр кернеуін өлшеу үшін Джозефсон нәтижесін қолданады.

Өлшеу әдісі — бұл өлшеудің қағидаттары мен құралдарын пайдалану жиынтығы. Осы ортақ анықтаманы тәжірибеде тек қолданатын өлшеу құралдарына жиі жатқыза отырып, нақты мысалдармен келтіреді, мысалы: жиілік өлшеу әдісін жиілік өлшегішпен, кернеуді- вольтметрмен, тоқ күшін- амперметрмен және т.б.

Өлшеу әдісін өлшеу жүргізудің жалпы немесе кезеңдік жоспарын, яғни қолданатын аспаптар құрамын айқындайтын, белгіленген өлшеу тәртібін, операциялар дәйектілігін және жүргізу қағидасын құрайтын *өлшеу әдістемесінен* ажырата білу керек.

Өлшеу объектісі — бұл қасиеттері бір немесе бірнеше рет өлшенетін физикалық шамалармен сипатталатын нақты физикалық объект.

Техникалық әдебиетте және нормативтік құжаттамада ізделіп отырған физикалық шама мәнін өлшеуді қамтамасыз ететін орындау тізбесі мен тәртібі туралы дәл нұсқама ретінде түсіндірілетін «өлшеу алгоритмі» термині жиі кездеседі.

Өлшемдер нақтылығы өлшеу нәтижесіне сену дәрежесін айқындайды және өлшенетін шаманың ақиқат мәні көрсетілген шегінде болу ықтималдығымен сипатталады. Бұл ықтималдық *сенімгерлік* деп аталады.

Өлшеу дұрыстығы — бұл дегеніміз өлшеу нәтижелері жүйелік қателердің нөлге жақындауын бейнелейтін метрологиялық сипаттама.

Өлшеу нәтижесінің жинақтылығы өлшеу сапасын айқындайды және бір және сол жағдайда, бір және сол әдістермен және құралдармен қайта орындалатын бір және сол шаманы өлшеу нәтижелерінің бір-біріне жақындағын бейнелейді.

Өлшеу нәтижелерінің жаңғыртылуы өлшеу сапасын сипаттайды және әртүрлі жерлерде, әртүрлі өлшеу әдістерімен және құралдарымен, әртүрлі операторлармен алынған, бірақ бір және сол жағдайларға келтірілген, бір және сол шаманы өлшеудің жақын нәтижелерін бейнелейді.

Өлшенетін шама мәнін анықтаудың эксперименттік рәсімдері ретінде өлшеу тіптен алуан түрлі. Бұл өлшенетін шаманың көптігімен, олардың уақыт бойынша өзгеру сипатымен, өлшеу дәлдігіне қойылатын әртүрлі талаптармен және т.б. түсіндіріледі. Өлшеу белгілі бір белгілері бойынша жіктеледі. Осындай белгілердің бірі өлшеу нәтижесін алу тәсілі болып табылады. Өлшеу тікелей және жанама болып бөлінеді.

Тікелей деп, ізделіп отырған физикалық шама мәні тікелей тәжірибелі деректерден болатын өлшеуді атайды. Тікелей деп, көбінесе аралықтық түрлендіру жүргізілмейтін кезіндегі өлшеулерді атайды. Бұл, мысалы, кернеу мен тоқ күшін вольтметр және амперметр сияқты электр күшін өлшейтін аспаптармен өлшеу. Тікелей өлшеу өлшеу тәжірибесінде кең таралған. Математикалық түрде оларды қарапайым формуламен сипаттауға болады:

$$A = x,$$

мұндағы A — өлшенетін шама; x — өлшеу жолымен табылған және өлшеу нәтижесі болып аталатын шама мәні.

Жанама деп, ізделіп отырған шама мәні тікелей өлшеуге түсетін шама мен осы шама арасындағы белгілі байланыстылық негізінде болатын өлшеуді атайды. Жанама өлшеулерді мынадай формуламен сипаттауға болады:

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

мұндағы x_1, x_2, \dots, x_m — өлшенетін A шамасының ізделіп отырған мәнімен бірге белгілі функционалдық тәуелділікке қатысты, тікелей өлшеу шамаларының нәтижелері.

Жанама өлшеулер сондай-ақ, өлшеу тәжірибесіне тән, мысалы: қуатты амперметр-вольтметр әдісімен өлшеу, сыйымдылық пен контур индуктивтілігін және т.б. тікелей өлшеу нәтижелері бойынша тербелмелі контурдың резонанстық жиілігін анықтау.

1.4. Өлшеу құралдарының түрлері

Тәжірибеде шама бірлігін өлшеу кезінде нормаланған қателіктері бар техникалық құралдарды қолданады және оларды *мөлшер* құралдары деп атайды. Оларға: мөлшерлер;

өлшеу түрлендіргіштері;

өлшеу аспаптары;

өлшеу қондырғылары және жүйелері;

өлшеу керек-жарақтары жатады.

Мөлшер деп, берілген өлшемнің физикалық шамасын жаңғыртуға арналған өлшеу құралдарын атайды. Өлшеу құралдарының осы түріне бір тастары, ұзындықтың соңғы шамасы және т.с.с жатады. Тәжірибеде бір мәндік және көп мәндік мөлшерлерді, сондай-ақ мөлшер жинақтары мен қораптарын пайдаланады. Бір мәндік мөлшерлер тек бір мөлшердің (бір тасының) ғана шамасын, ал көп мәндіктер-физикалық шаманың бірнеше мөлшерлерін жаңғыртады. Мысалы: миллиметрлік сызғыш заттың сантиметр мен миллиметрдегі ұзындығын білдіреді.

Жинақтар мен қораптар мөлшердің бірқатар аралықтық немесе жиынтық мәндерін жаңғырту мүмкіндігін алуға арналған бір мәндік немесе көп мәндік мөлшерлердің бірігуін (үйлесімін) құрайды. Мөлшерлер жинағы қажетті үйлесіммен қолданылатын әртүрлі өлшемдердің біртекті мөлшерлер жиынтығын құрайды, мысалы: зертханалық бір тастарының жинағы. Мөлшерлер жинағы- өлшем қораптарының қажетті үйлесімін құрайтындарды біріктіретін, өлшемдік құрылғыларға қатысты мүмкіндігі қол немесе автоматтандырылған тоқ аударғыш делдалдығымен қарастырылған, бір механикалық бүтіндікке құрылмалы біріктірілген өлшемдер үйлесімі. Электрлік кедергі қораптары осы қағидат бойынша жасалған.

Мөлшерді пайдалану кезінде, мөлшердің кесімді және нақты мәнін, сондай-ақ, мөлшер қателігін және оның разрядын ескеру қажет. Кесімді деп, ондағы көрсетілген мөлшер мәнін атайды. Нақты мәні ресми эталонды пайдалана отырып, жоғары дәлдікпен өлшеу нәтижесі ретіндегі арнайы куәлікте белгіленуі тиіс. Кесімді және нақты мәндер арасындағы айырмашылықты мөлшер қателігі деп атайды.

Өлшеу түрлендіргіштері – бұл өңдеуге немесе сақтауға арналған қолайлы формада өлшеу ақпаратындағы сигналды түрлендіру үшін, сондай-ақ көрсететін құрылғыны беру үшін қызмет ететін өлшеу құралы. Өлшеу түрлендіргіштері не болмаса өлшеу аспабының құрылмалы сұлбасына енеді, не болмаса онымен бірлесе қолданылады, бірақ түрлендіргіш сигналы бақылаушының тікелей қабылдауына ермейді. Мысалы, түрлендіргіш компьютер жадына ақпарат беру үшін, керенуді күшейту үшін және т.б. қажет болуы мүмкін. Түрленген шаманы кіру шамасы, ал түрлендіру нәтижесін шығу деп атайды. Өлшеу түрлендіргішінің негізгі метрологиялық сипаттамасы кіру және шығу шамалары арасындағы ара қатынас болып есептелетінді түрлендіру функциясы деп аталады.

Түрлендіргіштер өлшенетін шаманы тікелей қабылдайтын бастапқы; шаманың қашықтыққа беруі немесе тіркеу үшін ыңғайлы шығуда формаға ие болуы беруші; бастапқымен үйлесіп, жұмыс істейтін және физикалық шама тегінің өзгеруіне әсер етпейтін аралықтық болып бөлінеді.

Өлшеу аспаптары (ӨА) — бұл пайдаланушының өлшеу ақпаратын қабылдауға қолайлы формада алуға мүмкіндік беретін өлшеу құралы. Өлшеу аспаптары тікелей әрекет ету және салыстыру аспаптары болып бөлінеді. *Тікелей әрекет ету аспаптары* осы шаманың бірліктегі тиісті межесі болатын, өлшенетін шаманы көрсететін құрылғыда бейнелейді. Бұл ретте физикалық шаманың тегі өзгермейді. Тікелей әрекет ету аспаптарына мысалы: амперметрлер, вольтметрлер, термометрлер және т.б. жатады. *Салыстыру аспаптары* мәні белгілі, өлшенетін шаманы шамалармен салыстыруға арналған. Бұл аспаптарды сәулелену көздерінің ашықтығы, тығыздалған ауаның қысымы және басқаларының шамалары сияқты ғылыми мақсатта және тәжірибеде кең пайдаланады.

Өлшеу қондырғылары және жүйелері — бұл өлшеу объектісінің бір немесе бірнеше физикалық шамаларын өлшеу үшін көмекші құрылғылармен бірге функционалдық белгілері бойынша біріктірілген өлшеу құралдарының жиынтығы. Әдетте, мұндай жүйелер автоматтандырылған және автоматтандыру жүйесіне өлшеу процесінің өзін, пайдаланушының оны қабылдауына арналған өлшеу нәтижесін өңдеу және бейнелеу ақпаратын енгізуді қамтамасыз етеді. Бұл қондырғыларды (жүйелерді) әсіресе статистикалық бақылау әдісі үшін де, өзекті бақылау (мысалы, өндірістік процестер) үшін де пайдаланады.

Өлшеу керек-жарақтары — бұл шама өлшеудің көмекші құралдары. Олар жоғарғы дәлдік дәрежесі талап етілген жағдайда, өлшеу нәтижелеріне түзетулер енгізу үшін қажет. Мысалы, термометр егер аспап көрсеткіші қатаң регламенттелген температура кезінде шынайы болатын болса; психрометр –қоршаған орта ылғалдығы қатаң белгіленген кезде көмекші құрал болуы мүмкін.

Өлшеу керек-жарақтары көмекші құралдың өзінің қателігіне байланысты өлшеу нәтижесіне белгілі бір қателіктерді енгізеді.

Метрологиялық тағайындалуы бойынша өлшеу құралдары жұмыстық және эталондық болып бөлінеді. Жұмыстық өлшеу құралдарын техникалық құрылғылардың, технологиялық процестердің, қоршаған ортаның және басқаларының параметрлерін (сипаттамаларын) анықтау үшін қолданады. Олар зертханалық (ғылыми зерттеулер үшін), өндірістік (технологиялық процестердің берілген сипаттамасын қамтамасыз ету және бақылау үшін), далалық (ұшақтар, автомобильдер, кемелер және т.б. үшін) болуы мүмкін. Осы жұмыс құралдары түрінің әрқайсысы өзіндік көрсеткіштерімен ерекшеленеді. Айталық, зертханалық өлшеу құралдары ең дәл және сезгіш, ал олардың көрсеткіштері - жоғарғы тұрақтылығымен сипатталуы қажет. Өндірістік құралдар аспап көрсеткіштерінің шынайлығына және дәлдігіне әсер ете алатын температура, ылғалдылық, тербеліс және өндірістік процестің басқа факторларының әсеріне тұрақты болады. Далалық құралдар үнемі сыртқы әсерлердің кең шегінде өзгереді. Өлшеу құралының ерекшелігі эталон болып табылады.

1.5. Физикалық шама бірліктерінің эталондары

Эталон — бұл физикалық шама бірлігін жаңғыртуға және (немесе) сақтауға және оның ИЖ тексеру сұлбасы бойынша және белгіленген тәртіпте эталон ретінде бекітілген мөлшерін беруге арналған өлшеу құралдары (немесе өлшеу құралдарының кешені). Эталон құру, сақтау және қолдану жіктемесін, тағайындалымын және жалпы талаптарын «МИЖ. Физикалық шама бірліктерінің эталондары. Негізгі ережелер.» МЕМСТ8.057 — 80 белгілейді.

Эталон конструкциясы, оның физикалық қасиеті және бірлікті жаңғырту тәсілі физикалық шамамен белгіленеді, бұл бірлік осы өлшеу саласындағы өлшеуіш техникасының даму деңгейімен жаңғыртылады. Эталонның ең көп дегенде өзара байланысты үш қасиеті болады: тұрақтылық, жаңғыртушылық және салыстырушылық.

Тұрақтылық — бұл эталонның ұзақ интервалдық уақыт бойы оның жаңғыртылатын бірлігінің мөлшерін өзгертпей ұстап тұратын қасиеті. Бұл ретте, сыртқы жағдайға тәуелді барлық өзгерістер дәл өлшеуге қолжетімді шама функцияларымен қатаң белгіленген болуы қажет.

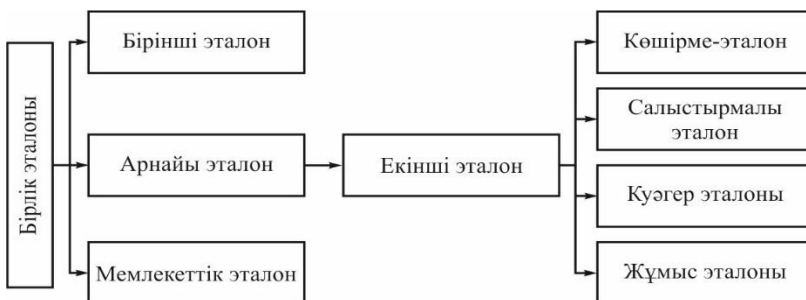
Осы талаптарды іске асыру физикалық тұрақтылыққа негізделген, әртүрлі шамалардың «табиғи» эталондарын құру идеясына әкелді.

Жаңғыртылушылық — бұл өлшеу техникасының қолданыстағы деңгейін дамытуға арналған ең кіші қателігімен бірге оның теориялық анықтамасы негізінде физикалық шама бірлігін жаңғырту мүмкіндігі. Бұған жүйелі қателіктерді анықтау және оларға тиісті түзетулерді енгізу жолымен жою мақсатында эталонды тұрақты зерттеу жолымен қол жеткізеді.

Салыстырушылық — бұл тексеру сұлбасы бойынша төмен тұрған басқа жүйелердің эталонымен бірге, бірінші кезекте өлшеу техникасының қолданыстағы деңгейін дамытуға арналған ең жоғарғы дәлдікпен бірге салыстыруды қамтамасыз ету мүмкіндігі. Бұл қасиет эталондардың өз құрылысы және әрекеті бойынша салыстыру нәтижесіне қандай да бір бұрмалау енгізбейтінін және салыстыру жүргізу кезінде өзгертуге өздері де төзбейтінін топшылайды. Эталондар келесідей түрлерге бөлінеді: (1.1-сурет): *бастапқы* — елдегі ең жоғарғы дәлдіктегі (сол шамадағы басқа эталондармен салыстырылуы бойынша) бірліктің жаңғыртылуына және сақталуына кепілдік береді. Бастапқы эталондар ИЖ бірегей болып табылады. Олар ғылым мен техниканың жаңа жетістіктерін ескере отырып, құрылған күрделі өлшеу кешендерін және өлшеу бірлігін қамтамасыз ететін мемлекеттік жүйе негізін құрайды;

арнайы — бірліктің жаңғыртылуын бастапқы эталон бірлігінің мөлшерін талап етілген дәлдікпен тікелей беру жүзеге аспайтын ерекше жағдайларда қамтамасыз етеді және бастапқы эталонның осы жағдайлары үшін қызмет етеді;

мемлекеттік — ел үшін бастапқы эталон ретінде ресми бекітілген бірінші немесе арнайы эталон.



1.1-сурет. Эталондар жіктемесі

Бекітуді елдің бас метрологиялық органы жүргізеді. Мемлекеттік эталондарды елдің орталық метрологиялық ғылыми институттары құрады, сақтайды және қолданады. Физикалық шаманың бірлігін жаңғырту дәлдігі әлемдік ең үздік жетістіктер деңгейіне сәйкес келуі қажет және ғылым мен техниканың қажеттіліктерін қанағаттандыруы тиіс. Мемлекеттік эталондардың құрамына физикалық шаманың бірлігін жаңғырту және (немесе) сақтау көмегімен, өлшеу жағдайын және жаңғыртылатын немесе сақталатын бірлік мөлшерінің тұрақтылығын бақылайтын, бірлік мөлшерін беруді жүзеге асыратын өлшеу құралдары енеді. Мемлекеттік эталондар басқа елдердің мемлекеттік эталондарымен мерзімдік салыстыруға жатады;

қайталама — тиісті физикалық шаманың бастапқы эталонын салыстыру жолымен алынған бірлік мөлшерін сақтайды. Мұндай эталондар бірлік сақтауға бағынышты және оның мөлшерін беру құралының бөлігі болып табылады, бұл тексеру жұмыстарын ұйымдастыру, сондай-ақ мемлекеттік эталонның сақталуын және ең төменгі тозуын қамтамасыз ету үшін қажет болған жағдайда құралады және бекітіледі. Қайталама эталондардың құрамына физикалық шама бірлігін сақтау, сақтау жағдайын бақылау және бірлік мөлшерін беру көмегімен іске асатын ИЖ енеді.

Метрологиялық тағайындалулары бойынша қайталама эталондар келесідей түрлерге бөлінеді:

көшірме -эталон — жұмыс эталонының бірлік мөлшерін беруге арналған. Ол бастапқы немесе арнайы эталонның мезгілсіз тозуын сақтау мақсатында көптеген тексеру жұмыстарын жүргізу қажет болған жағдайда жасалады. Көшірме –эталон мемлекеттік эталонның тек метрологиялық тағайындалымы жөніндегі көшірмесін құрайды, сондықтан ол әрдайым оның физикалық көшірмесі болып табыла бермейді;

салыстыру эталонын — бір-бірімен сол немесе өзге себептер бойынша тікелей салыстырылмайтын эталондарды салыстыру үшін қолданады;

куәгер эталонын — мемлекеттік эталонның сақталуын және тұрақтылығын тексеру және оның бүлінуі немесе жоғалуы жағдайында ауыстыру үшін пайдаланады. Қазіргі кезде тек килограмм эталонының ғана куәгер эталоны бар. Оның негізгі міндеті — негізгі эталонның тұрақтылығын бақылау мүмкіндігін қамтамасыз ету;

жұмыс эталонын — өлшеудің жұмыс құралдарына бірлік мөлшерін беру үшін қолданады. Бұл ең көп таралған эталондар. Физикалық шама өлшемдерінің дәлдігін арттыру мақсатында, жұмыс эталондарын көптеген аумақтық метрологиялық органдарында және министрліктер мен мекемелердің зертханаларында қолданады.

1.6. ИЖ жүйесі бірлігінің эталондары

Ресейдің эталондық негізін физикалық шама бірлігінің 114 мемлекеттік эталоны және 250 астам қайталама эталондары құрайды.

1.2-бөлімде көрсетілгендей, ИЖ жүйесінде жеті негізгі бірлік бар: метр, килограмм, секунд, ампер, кельвин, моль және кандела. Бұлардың барлығы үшін халықаралық және мемлекеттік тиісті эталондары жасалған. Үлгі ретінде уақыт бірлігінің және тоқ күшінің мемлекеттік бастапқы эталондарын қарастырайық.

Уақыт бірлігі *секунд* алғашқы рет Жер осінің немесе Күннің айналасынан айналу кезеңі арқылы белгіленді. Жақында өткенге дейін секунд $1/86\,400$ күннің орташа тәулігі бөлігіне тең келді.

1967 ж. мөлшерлер мен салмақтар жөніндегі XIII Бас конференцияда сыртқы өрістер тарапынан ауытқу болмаған кезде 133-цеция атомның негізгі жағдайының ең жіңішке құрылымының деңгейлері арасындағы энергетикалық ауысудың резонансты жиілігіне сәйкес келетін $9\,192\,631\,770$ тербеліс жасалатын, уақыт интервалы ретіндегі секундтың жаңа анықтамасы қабылданған болатын. Осы анықтама цезиялық жиілік реперінің көмегімен іске асады.

Репер, немесе *жиіліктің кванттық стандарты деп*, атомдардың, иондардың немесе молекулалардың кванттық ауысу жиілігін өлшеуге негізделген, ең жоғарғы жиіліктегі және оптикалық спектрдегі электр магниттік жиілікті дәл жаңғыртуға арналған құрылғыны атайды.

1997 ж. шілдеге дейін уақытты және жиілікті өлшеу құралдарына арналған мемлекеттік бастапқы эталон және мемлекеттік тексеру сұлбасы МЕМСТ 8.129 — 83 айқындалды. 1997 жылдан бастап, ол «Уақытты және жиілікті өлшеу құралдарына арналған мемлекет аралық тексеру сұлбасы» ПМГ 18-96 мемлекет аралық стандарттау қағидасымен ауыстырылды.

Уақыт бірлігінің мемлекеттік бастапқы эталоны келесідей өлшеу құралдарының кешенінен тұрады:

Халықаралық бірлік жүйесінде уақыт пен жиілік бірліктерінің мөлшерін жаңғыртуға арналған жиіліктің метрологиялық цезиялық реперлерінен;

уақыт пен жиілік бірліктерінің мөлшерін сақтауға қызмет ететін және уақыт шкаласын сақтау функциясын қатар орындайтын жиіліктің сутектік стандарттарынан. Сутекті реперлерді пайдалану эталондар тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді. Қазіргі кезде, 100 с бастап, бірнеше тәулікке дейінгі уақыт кезеңінде ол $5 \cdot 10^{-14}$ с аспайды;

уақыт шкаласын сақтауға арналған кванттық сағаттар тобынан. Кванттық сағаттар — жиілігі кварц резонаторымен тұрақталған және жиіліктің кванттық стандартымен басқарылатын генератордың уақытын өлшеуге арналған құрылғы;

жиіліктік өлшем бірлігін оптикалық диапазонға беруге арналған синхрондалған лазерлер мен ең жоғары жиіліктік генераторлар тобынан тұратын аппаратурадан;

өзіне тасымалданатын кванттық сағаттар мен лазерлер енетін ішкі және сыртқы салыстыру аппаратурасынан.

Эталонмен жаңғыртылған уақыт интервалының мәндер диапазоны $1 \cdot 10^{-10}$ - $1 \cdot 10^8$ с құрайды, жиілік мәнінің диапазоны $1.1 \cdot 10^{14}$ Гц тең. Уақыт бірлігі 3 айда $1 \cdot 10^{-14}$ с аспайтын өлшеу нәтижесінің орташа квадраттық ауытқуымен жаңғыртылады, бұл ретте шығарылып тасталмаған жүйелік қате $5 \cdot 10^{-14}$ с аспайды. 1 000 с бастап, 10 тәулікке дейінгі уақыт интервалына арналған эталонның жиілігінің тұрақсыздығы $5 \cdot 10^{-15}$ с аспайды.

Радиотехникалықтарды қоса алғанда, электрлік және магниттік шамаларды өлшеу саласында 32 эталон жасалған және жұмыс істейді. Олар өлшенетін шама мәндерінің үлкен диапазонын ғана емес, оларды өлшеу жағдайының кең спектрін де, ең алдымен ондаған гигагерцке жететін жиілікті де қамтиды. Негізін негізгі эталондарды неғұрлым дәл жаңғыртатын эталондар құрайды және туынды бірліктердің мөлшерлерін айқындайды. Осы мемлекеттік бастапқы эталондар *электр қозғаушы күштерінің (ЭҚК), электр кедергісінің және электр сыйымдылығының бірліктері*. Олардың ішіндегі алғашқы екеуі жақында әзірленді және сәйкесінше Джозефсонның және Холлдың кванттық нәтижесіне негізделген.

Ең ақырына дейін электр тогы күшінің бірлігі — *амперді* — тәжірибеде тоқтың қоршаған ортаға көрсететін әрекеттері бойынша анықтап келді, мысалы: тоқтың өткізгіш арқылы өтуі кезінде жылу бөлуі; тоқтың электролит арқылы өтуі кезінде электродта заттардың тұндырылатыны; тоқтың магнитке немесе тоқпен бірге өткізгішке арналған механикалық әрекеті. Соңғысы тоқ салмағымен іске асырылған ампер эталонының (1948) негізіне жатқызылған болатын.

Джозефсон нәтижесінің (МЕМСТ 8.027-89) негізіндегі электр кернеуі бірлігінің эталоны *вольттің* және Холл нәтижесінің негізіндегі электр кедергісі бірлігінің эталоны *омның* метрологиялық тәжірибеге енгізілуіне байланысты, тоқ бірлігін ұсынуға арналған құрал ретінде ампер-салмақты белгілеу, өз мәнін жоғалтты. Джозефсон нәтижесін қолдану (аппаратуралық іске асыру үшін) және Джозефсон тұрақты шамасы (кернеуі бірлігін жаңғырту үшін) тоқ бірлігін жаңғырту дәлдігін шамамен екі реттікке арттыруға мүмкіндік берді. *Ампердің жаңа эталоны* екі кешеннен тұрады. Біріншісі ампердің мөлшерін Джозефсон және Холлдың кванттық нәтижесін пайдалана отырып, вольт және ом арқылы белгілеу, ал екіншісі электрометр әдісін қолдана отырып, фарад, вольт және секунд арқылы белгілеу қағидатына негізделген.

Ампердің мемлекеттік бастапқы эталоны келесідей негізде орындалған, аппаратурадан тұрады:

Джозефсонның кванттық нәтижесінен және магнит ағынын кванттаудан (Холл нәтижесі), соның ішінде электр кернеуінің шамасынан, электр кедергісінің шамасынан, тоқтың асқын өткізуші компараторынан және реттелетін тоқ көздерінен;

тұрақты электр сыйымдылығы шамасының жинағымен бірге кіру блогын, интеграторды, жиілік өлшегішпен бірге өлшеу блогын, цифрлық вольтметрді және компараторды қоса алғанда, электрометр әдістерін пайдаланудан:

$1 \cdot 10^{-16}$ бастап, 30 А дейін диапазонындағы тұрақты электр тогының күшін өлшеу құралдарына арналған мемлекеттік бастапқы эталон және мемлекеттік тексеру сұлбасы MEMCT 8.022—91 белгіленген. Ампердің қазіргі мемлекеттік эталонында тоқ күшін жаңғыртатын мәндердің келесідей диапазондары бар: $1 \cdot 10^{-31}$ А (кванттық нәтиже делдалдығымен) және $1 \cdot 10^{-16}$ - $1 \cdot 10^{-9}$ А (электрометр әдістерін пайдалану кезінде). Ол $1 \cdot 10^{-3}$ - 1 және $10 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-4}$ А тоқ күшінің нақты мәндері кезінде $5 \cdot 10^{-8}$ А аспайтын өлшеу нәтижесінің орташа квадраттық ауытқуымен бірге күш бірлігін жаңғыртуды қамтамасыз етеді. Шығарылып тасталмаған жүйелік қателік $1 \cdot 10^{-3}$ және 1 А тұрақты тоқ күшінің нақты мәндері кезінде $2 \cdot 10^{-8}$ А аспауы қажет.

1.7. Өлшеу бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі

Өлшеу құралдарын калибрлеу метрологиялық сипаттамалардың нақты мәндерін және (немесе) мемлекеттік метрологиялық бақылау мен қадағалауға жатпайтын өлшеу құралдарын қолдану жарамдылығын анықтау және растау мақсатында орындалатын операциялардың жиынтығын құрайды.

Өлшеу құралының жарамдылығы дегеніміз нормативтік құжатта баяндалуы немесе тапсырыс берушімен анықталуы мүмкін, оның метрологиялық сипаттамасы бұрынғы белгіленген техникалық талаптарға сәйкес келуі. Өлшеу құралының жарамдылығы туралы қорытындыны калибрлеу зертханасы жасайды.

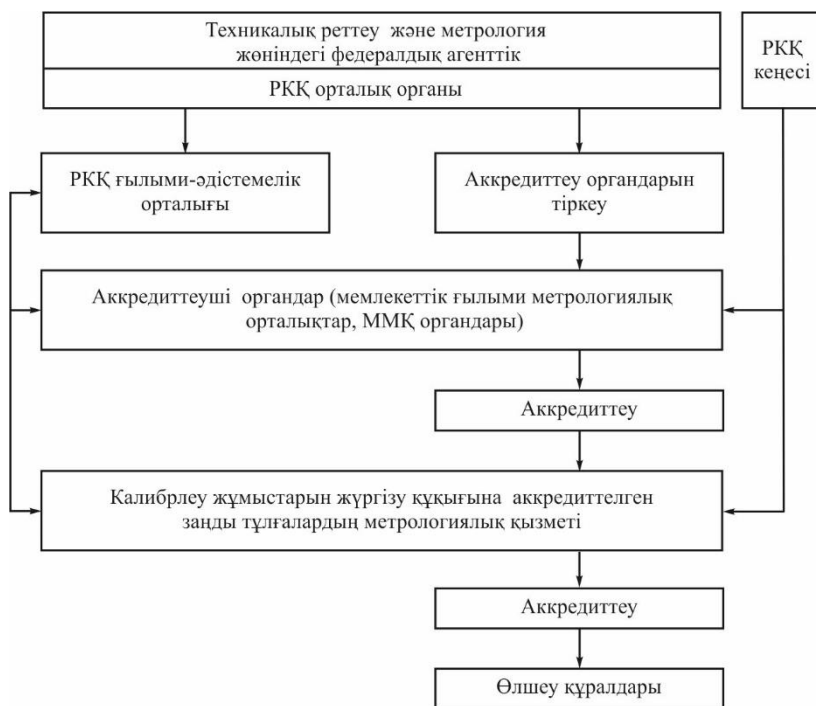
Калибрлеу біздің елімізде бұрын болған мекемелік тексеруді және өлшеу құралының метрологиялық аттестациясын алмастырды. Мемлекеттік метрологиялық қызмет (ММК) органдары жүзеге асыратын тексеруден өзгешелігі, калибрлеуді осы жұмысты білікті орындауға арналған тиісті жағдайы болуы кезінде, кез келген метрологиялық қызмет (немесе жеке тұлға) жүргізе алады. Калибрлеу — ерікті операция және мұны кәсіпорынның өзінің метрологиялық қызметі орындай алады. Бұл оның алдында айтылғандай, тексеруден тағы бір айырмашылығы, міндетті және ММК органдары тарапынан бақылауға жатады.

Экономикасы дамыған елдерде калибрлеу жұмыстары өнімнің бәсекеге қабілетін арттыру негізінде сәтті дамуда әрі кеңеюде және бұл ретте тексеруге (міндетті қызмет ретінде) өлшеу құралының шектелген номенклатурасы жатады.

Ресейде калибрлеуді енгізудің өзіндік ерекшеліктері бар. Жалпыға бірдей міндетті тексеруден бас тарту нәтижесінде Ресейдегі калибрлеу аспаптың дұрыстығына арналған бақылау процестерін мемлекет иелігінен алу өнімі болып табылады.

Ресейлік калибрлеу қызметі (РКҚ) ену еріктілігі, мемлекеттік эталонының физикалық шама бірліктерінің мөлшерін жұмыстық өлшеу құралдарына міндетті беру, кәсіпқойлық және РКҚ субъектілерінің техникалық құзыреті сияқты қағидастарына негізделеді.

Кәсіпкерлердің РКҚ енуге ынтық болуының бастысы оның өнімінің сапа көрсеткішіне деген тұтынушы сенімін арттыруға тырысуы болса керек. Калибрлеудің Ресейлік жүйесін дамыту елдегі калибрлеу ұйымдарын да қамтитын сынақ зертханаларын аккредиттеу жүйесін қалыптастырумен қоса жүреді.



1.2-сурет. Ресейлік калибрлеу қызметінің сұлбасы

Бұдан басқа, РКҚ мүше болу калибрлеу қызметінің тиісті ақпараттық жеткізіп тұруымен қамтамасыз етіледі. РКҚ меншік қаражаты есебінен өтелімдігі толық нақты қағида ретінде қарастырылады, себебі өлшеудің дәл және шынайы нәтижелеріне қажеттілік өсе түсуде. 1.2-суретте РКҚ сұлбасы ұсынылған.

Өлшеу құралын калибрлеудің құқықтық негіздері «Өлшеу бірлігін қамтамасыз ету туралы» РФ 1993 ж.27.04 № 4871-1 Заңымен айқындалады. Өлшеу құралының осы заңына сәйкес, тексертуге жатпайтындар, өндірістен немесе жөндеуден шығару кезінде, импорт бойынша әкелім кезінде, пайдалану, жалға беру және сату кезінде, калибрлеуден өткізіледі. Сондай-ақ, Заң заңды тұлғалардың мүдделі метрологиялық қызметтерінің калибрлеу жұмыстарын жүргізу құқығына аккредиттелуі мүмкін болатынын нұсқайды. Аккредиттеу тәртібін Техникалық реттеу және метрология жөніндегі федералдық агенттік белгілейді. Қолданыстағы заңнаманы іске асыру мақсатында «ГСП. Калибрлеу жұмыстарын жүргізу құқығына арналған заңды тұлғалардың метрологиялық қызметтерді аккредиттеу тәртібі» әзірленді. Бұл құжат Ұлыбританияда, АҚШ-та, ГФР-де және басқа елдерде ұлттық калибрлеу қызметтерін ұйымдастыруды талдау негізінде, сондай-ақ ПСО және МЭК басшылықтарына, EN 45001 — 45003 стандарттарына және MEMST P жүйесіне сәйкес құрылған.

1.8. Тексеру және калибрлеу әдістері, тексеру сұлбасы

Өлшеу құралдарын тексерудің және калибрлеудің төрт әдістерін қолдануға рұқсат етіледі:

- 1) эталонмен тікелей салыстыру;
- 2) компаратор көмегімен салыстыру;
- 3) шаманы тікелей өлшеу;
- 4) шаманы жанама өлшеу.

Тексерілетін өлшеу құралының тиісті разрядын эталонмен тікелей салыстыру әдісін әртүрлі өлшеу құралдары үшін электрлік және магниттік өлшеу, электр кернеуін, электр тогының жиілігін және күшін анықтау сияқты салаларда кең қолданады.

Әдіс негізіне тексерілетін және эталондық аспаптардың бір және сол физикалық шамасын бір уақытта өлшеуді жүргізу жатады. Бұл ретте, өлшеу құралының тексерілетін және эталондық көрсеткіштерінің айырмасы ретінде, эталон көрсеткішін шаманың нақты мәні үшін қабылдай отырып, қателігін айқындайды. Осы әдістің құндылығы оның қарапайымдылығымен, көрнекілігімен, автоматты тексеруді қолдану

мүмкіндігімен, күрделі құрал-жабдықтарға қажеттілігінің болмауымен тұжырымдалады. *Компаратордың көмегімен салыстыру* әдісі тексерілетін және эталондық өлшеу құралын салыстыру көмегімен, салыстыру аспабын қолдануға негізделген. Компаратор, егер де бір және сол шаманы өлшейтін аспаптар көрсеткішін салыстыру мүмкін болмаған жағдайда пайдаланады, мысалы: екі вольтметрді пайдаланғанда, оның біреуі тұрақты, ал екіншісі ауыспалы тоқты өлшеу үшін жарамды болғанда. Осындай жағдайларда тексеру сұлбасына аралықтық тармақ-компаратор енгізіледі. Келтірілген мысал үшін потенциалметр талап етіледі және де сол компаратор болады. Тәжірибеде компаратор, егер ол тексерілетін, сондай-ақ эталондық ИП сигналына бірдей жауап қайтаратын болса, кез келген өлшеу әдісіне қызмет ете алады. Осы әдістің құндылығын мамандар екі шаманың уақыт бойынша салыстыру дәйектілігінде деп есептейді.

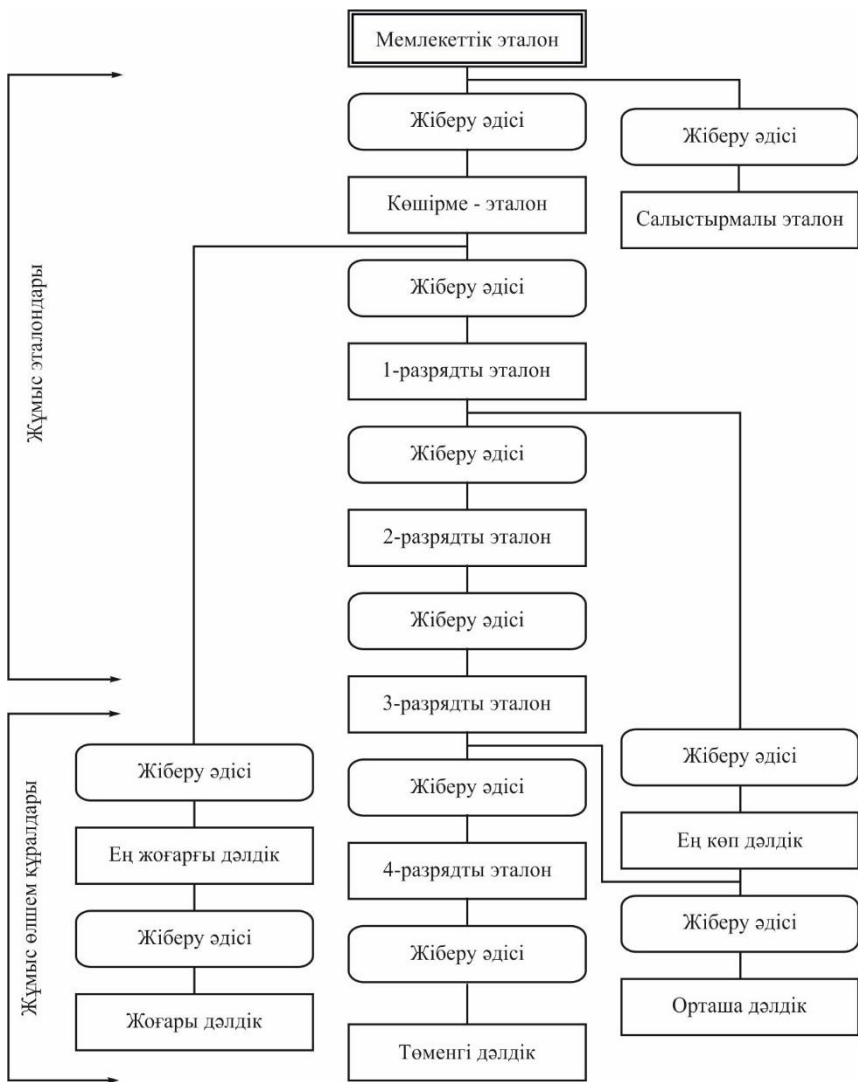
Шаманы тікелей өлшеу әдісін белгіленген өлшеу шегінде сыналатын аспапты эталондықпен салыстыру мүмкін болғанда қоланады. Бүтіндей осы әдістің жұмыс қағидаты тікелей салыстыру әдісінің жұмыс қағидатына ұқсас, бірақ тікелей өлшеу әдісімен әр диапазонның (және қосымша диапазонның, егер бұл аспапта бар болса) барлық сандық белгісіне арналған салыстыру жүргізіледі. Шаманы тікелей өлшеу әдісін, мысалы: тұрақты электр тоғының вольтметрін тексеру немесе калибрлеу үшін қолданады.

Шаманы жанама өлшеу әдісін өлшенетін шаманың нақты мәндерін тікелей өлшеулермен анықтау мүмкін болмағанда немесе егер де жанама өлшеулер тікелейге қарағанда, неғұрлым дәл көрсеткенде пайдаланады. Басында осы әдіспен ізделіп отырғанның сипаттамасын емес, ізделіп отырған нақты тәуелдікке қатысты басқа сипаттамаларды табады. Ізделіп отырған сипаттама есептік жолмен айқындалады. Мысалы: эталондық амперметрмен тұрақты тоқтың вольтметрін тексеру және калибрлеу кезінде, бір мезгілде кедергісін өлшей отырып, тоқтың күшін белгілейді. Одан кейін кернеудің есептік мәнін калибрленетін немесе тексерілетін вольтметрдің көрсеткішімен салыстырады. Жанама өлшеу әдісін әдетте автоматтандырылған тексеру және калибрлеу қондырғыларында қолданады.

Эталоннан жұмыстық өлшеу құралдарына өлшеу бірліктері мөлшерлерінің дұрыс берілуін қамтамасыз ету үшін мемлекеттік эталонның, разрядтық эталонның және жұмыстық өлшеу құралдарының метрологиялық бірлесуін белгілейтін *тексеру сызбалары* құрастырылады.

Тексеру сызбалары мемлекеттік және жергілікті болып бөлінеді. *Мемлекеттік тексеру сызбалары* елде қолданылатын барлық өлшеу құралдарының осы түріне қатысты. *Жергілікті тексеру сызбалары*

министрліктің метрологиялық органдарына арналған. Бұған бағынысты кәсіпорындардың өлшеу құралдары қатыстырылады. Барлық жергілікті тексеру сызбалары мемлекеттік тексеру сызбасымен айқындалатын, қатар бағынатын талапқа сәйкес болуы қажет (1.3-сурет). Мемлекеттік тексеру сызбаларын Техникалық реттеу және метрология жөніндегі федералдық агенттіктің ғылыми-зерттеу институттары, мемлекеттік эталон иесі әзірлейді.



1.3-сурет. Мемлекеттік тексеру қызметін ұйымдастыру құрылымы 22

Мемлекеттік тексеру сызбасының жалпы түрлерін қарастырайық.

Эталондар мен жұмыстық өлшеу құралдарының атауы әдетте, тік бұрыштарға (мемлекеттік эталон үшін тікбұрыш қатысты екі контурлық болып табылады) қатысты. Мұнда сызбаның осы сатысына арналған метрологиялық сипаттамалар көрсетілген. Сызбаның төменгі бөлігінде жұмыстық өлшеу құралдары орналасқан, оларды дәлдік дәрежесіне байланысты (яғни, өлшеу қателігі) бес санатқа бөледі: ең жоғарғы дәлдік, жоғарғы дәлдік, орташа дәлдік, төменгі дәлдік. Ең жоғарғы дәлдік әдетте мемлекеттік эталондық өлшеу құралының қателігі дәрежесіне шамалас келеді. 1-4 разряд эталондары жоғарғы, орташа және төменгі дәлдіктерді беру әдістеріне сәйкес келеді.

Тексеру сызбасының әр сатысында бірлік мөлшерін берудің тәртібі (әдісі) реттеледі. Тексеру және калибрлеу әдістерінің атауы сопақшаларда орналасқан, сондай-ақ онда тексеру және калибрлеу әдісінің рұқсат етілген қателіктері көрсетілген. Шама бірлігінің мөлшерін беру дұрыстығының негізгі көрсеткіші тексеру сызбасының жоғары тұрған және төмен тұрған сатылары арасындағы өлшеу құралдары қателігінің ара қатынасы болып табылады. Бұл қатынастың кемшіліксіз 1:10 болуы қажет, алайда тәжірибеде бұған жету мүмкін емес және минималды рұқсат етілген ара қатынасқа 1:3 есептеу қабылданған. Осы ара қатынастың шамасы неғұрлым көп болса, ИП көрсеткішінің дұрыстығына сенімділік соғұрлым аз болады.

1.9. Өлшеудің негізгі әдістері

Электррадиоөлшеу, басқа өлшеу түрлері сияқты, белгіленген қағидаттарға негізделген. Өлшеу қағидаты дегеніміз өлшеу негізделген физикалық құбылыстардың жиынтығы.

Өлшеу қағидаттары мен құралдарын пайдалану тәсілдерінің жиынтығы нақты өлшеудің негізгі сипаттамасы болып табылатын, *өлшеу әдістері* ретінде айқындалады. Өлшеу әдістері тікелей бағалау әдісі және салыстыру әдісі болып бөлінеді.

Тікелей бағалау әдісі кезінде өлшенетін шаманың сандық мәні тікелей ИП көрсеткіші бойынша (мысалы, вольтметрдің көмегімен кернеуді өлшеу) айқындалады.

Салыстыру әдісі өлшенетін шаманы жаңғыртылған мөлшер шамасымен салыстыру кезіндегі өлшеу әдісін құрайды. Бұл, мысалы: қалыпты (эталондық) элементтің ЭҚК салыстыру жолымен тұрақты ток кернеуінің деңгейін өлшеу болуы мүмкін.

Салыстыру әдістерінің келесідей түрлері бар:

нөлдік әдіс — өлшенетін шаманың әрекеті толықтай үлгілік шамамен теңеледі;

дифференциалды әдіс — бұл жағдайда өлшенетін және эталондық белгілі мәні бойынша оған жақын шама (мысалы, теңгерімсіз көпірді электр кедергісін өлшеу әдісі) арасындағы айырмашылығы өлшенеді;

алмастыру әдісі — өлшенетін шаманың әрекеті үлгілік шамамен алмастырылады (мысалы, әрекет уақыты бойынша кезекпен жүргізу көмегімен).

Тізбектелген барлық әдістердің ішінен нөлдік әдісті салыстыру физикалық шама өлшемінің ең үлкен дәлдігін қамтамасыз етеді. Нөлдік әдістерге келесілер жатады:

өтемдік әдіс — өлшенетін шама әрекеті үлгілік шамамен өтемделеді (теңеледі);

көпірлі әдіс — оны пайдаланған кезде сезімтал индикаторлық аспап (әдетте нөл-индикатор) қосылатын көпірдің өлшеу диагоналындағы токтың нөлдік мәнін жетеді.

Сондай-ақ, өлшеуді басқа белгілері бойынша да жіктеуге болады. Айталық, өлшенетін шама мен ұсыну формасын түрлендіру тәсілі бойынша өлшеу нәтижелері ұқсас (үздіксіз) және цифрлық (дискретті) болып бөлінеді.

Ұқсас өлшеулерді жүзеге асыру кезінде ИП нәтижесі салыстырмалы шкаланың көрсеткішінің, экран бойынша осциллограф сәулесінің орнын ауыстыру және т.б. болып табылатын өлшенуші шамаға үздіксіз түрлендіруді жүргізеді. Шаманың сандық мәні туралы қорытындыны ИП шкаласының белгілеріне қатысты көрсеткіштің ережесін ескере отырып, оператор (бақылаушы) жасайды. Өлшеу дәлдігі бұл ретте көрсеткіштің және шкаланың геометриялық ерекшеліктерімен шектеледі және әдеттегідей, 0,05 % аспайды.

Цифрлық өлшеулер кезінде, өлшенетін шаманы үлгілік мәндер қатарымен салыстыру аспапта автоматты түрде жүргізіледі, ал оператор өлшенген шаманың сандық мәнін цифрлық формада алады. Бұл жағдайда, барлық көрсеткіштер аспаптағы салыстыру дәлдігіне байланысты және оператордың субъективті қателері жойылады. Қазіргі кездегі цифрлық аспаптар, әдеттегідей, ұқсастыққа қарағанда, неғұрлым жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді. Оператордың рөлі жеңілдейді, себебі оның жұмысы тек сандық мәндерді дұрыс санаумен тұжырымдалады.

Уақыт бойынша өлшенетін шаманың өзгеру сипаты бойынша өлшеудің статикалық және динамикалық режимдері болады.

Статикалық өлшеу режимдері өлшеу құралының статикалық режимде жұмыс істеуі, яғни шығу сигналының оны пайдалану уақыты бойы өзгермей қалуы кезіндегі (немесе әр өлшеу нәтижесі тек бір ғана санмен белгіленуі мүмкін болатындай, тым баяу өзгереді) өлшеу режимін құрайды.

Динамикалық өлшеу режимдері — нәтижесі өлшенетін шаманың уақытқа функционалдық тәуелділігі болып саналатын өлшеу режимі, яғни бұл жағдайда өлшеу құралының шығу сигналы өлшенетін шама уақыты бойынша өзгеруіне сәйкес уақыт бойынша өзгереді. Осылайша, динамикалық өлшеуді уақытқа тәуелді болатын шама параметрлерін өлшеу үшін қолданады.

Қолданылатын өлшеу құралдарының әдістері мен қасиеттеріне сәйкес, өлшеудің бұрын қарастырылған барлық түрлері немесе бір реттік немесе көп реттік бақылаумен орындалуы мүмкін. *Өлшеу кезіндегі бақылау (өлшеуішті бақылау)* жеке-дара эксперименттік операция деп аталады, оның қорытындысы бақылау нәтижесі болып табылады. Ол әрдайым кездейсоқ сипат алады және өлшенетін шаманың бір мәнін құрайды.

1.10. Өлшеу аспаптарының жіктемесі және көрсеткіштері

Өлшеу аспаптарын әрекет ету қағидаттары бойынша жалпы түрде электрмеханикалық және электрондық деп бөлуге болады. Құрылымдық сызбасы бойынша аспаптар ұқсас және цифрлық болып бөлінеді.

Ұқсас өлшеу аспабы (ҰӨА) — бұл көрсеткіші өлшенетін шаманың үздіксіз функциямен өзгеруі болып табылатын өлшеу құралы. Ұқсас өлшеу құралдары төрт негізгі топтарға бөлінеді.

Бірінші, ең үлкен топқа параметрлер мен сигналдар сипаттамасын (мысалы: осциллографтар, вольтметрлер, жиілік өшегіштер, спектр талдағыштары және т.б.) өлшеуге арналған аспаптар енеді.

Екінші топты электр сызбаларының активті және пассивті элементтерінің параметрлері мен сипаттамаларын өлшеуге арналған аспаптар құрайды. Бұлар кедергі, сыйымдылық, индуктивті, микросхема, транзистор параметрлерін өлшеуіштер, сондай-ақ жиілік және ауыспалы сипаттамаларды шегеруге арналған аспаптар.

Үшінші топты әртүрлі амплитуда, форма және жиілік сигналдарының көздері болып табылатын өлшеу генераторлары құрайды.

Төртінші топқа түрлендіргіштер, аттенуаторлар, циркуляторлар, фаза айналдырғыштар, бағытталған тармақтағыштар сияқты өлшеу сызбасының элементтері жатады және т.б.

Цифрлық өлшеу аспаптары (ЦӨА) - көрсеткіші цифрлық формада ұсынылатын өлшеу ақпаратының автоматты өндіретін дискретті сигналдары өлшеу құралдары деп аталады.

ИП құрастырылымдық орындалуы бойынша көрсетуші және тіркеуші болып бөлінеді, олардың арасынан өздігінен жазатындарға және басып шығаратындарға ажыратады.

Көрсетуші өлшеуіш аспабы — тек оператор көрсеткішін ғана санайтын құрылығы.

Тіркеуші өлшеуіш аспабы — көрсеткіштің тіркелуін қарастыратын аспап.

Өздігінен жазатын өлшеу аспабы — көрсеткішті диаграмма формасында басып шығару, ал *басып шығарушы-цифр* түрінде қарастырылған ИП тіркеуші.

Әрекет қағидаты бойынша ИП келесідей түрлерге жіктелуі мүмкін:

тікелей әрекетті өлшеуіштер — онда бір бағыттағы ақпаратты өлшеу сигналын бір немесе бірнеше түрлендіру, яғни кері байланыс (КБ) тізбегін қолданусыз қарастырылған, мысалы: амперметрлер, вольтметрлер;

салыстыру — өлшенетін шаманы белгілі шамамен тікелей өлшеуге арналған, мысалы: электрөлшеуші потенциометр;

интегралдаушы — өлшенетін шаманы уақыт немесе басқа тәуелсіз ауыспалылық бойынша интегралдайтын құрылғы, мысалы: электр энергиясының есептегіші;

жиынтықтаушы — көрсеткіші екі немесе бірнеше шаманың жиыны оларға әртүрлі каналдар бойынша атқарымдылықпен байланысты аспаптар, мысалы: бірнеше электр генераторларының қуат жиынын өлшеуге арналған ваттметр.

Өлшеу аспаптары келесідей негізгі көрсеткіштермен сипатталады.

Өлшеу диапазоны — өлшенетін шама мәнінің аясы, бұл үшін ИП рұқсат берілген қателіктер нормаланған (өлшеу құралдары).

Көрсеткіш диапазоны — оның бастапқы және соңғы мәндерімен шектелген, яғни өлшенетін шаманың мүмкін болатын ең аз x_{min} және ең көп x_{max} мәндерімен көрсетіліп (бұл диапазон өлшеу диапазонынан кеңірек болуы мүмкін) белгіленген шкала аясы.

Өлшем шегі — өлшеу диапазонынң ең көп немесе ең аз мәні.

Жұмыс жиілігінің аясы (жиілік диапазоны) — шегінде рұқсат етілген шегінен аспайтын сигнал жиілігін өлшеу кезінде алынған жиіліктер жолағы.

Шкала бөліктерінің бағасы (МЕМСТ 16263 — 70) — өлшенетін шаманың мәні екі көрші шкала белгісіне сәйкес келетін айырымы.

Өлшенетін (S) параметрі бойынша сезімталдығы — ИП шығуына арналған сигнал өзгерісінің өлшенетін шаманы өзгеруге шақыратын қатынасы. Сезімталдығы абсолюттікке, салыстырмалыққа және шектікке бөлінеді.

Абсолюттік сезімталдықты мына формула бойынша есептеуге болады

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

мұндағы Δy — шығуға арналған сигналды өлшеу; Δx — өлшенетін шаманың өлшемі.

Салыстырмалық сезімталдық келесідей бейнемен анықталады:

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

мұндағы x — өлшенетін шама.

Шектік сезімталдық (кернеу, тоқ немесе қуат бойынша) — рұқсат берілгеннен басым қателікпен санауды алу үшін қажетті, аспаптың кіруіне берілетін, зерттелетін сигналдың (кернеудің, тоқтың немесе қуаттың) ең төменгі шамасы.

Айыру қабілеті — аспап көмегімен айыру мүмкін болатын, біртекті өлшенетін шаманың екі мәнінің ең төменгі айырмасы.

Елеу шегі (сезімталдықты) — қалыпты санау қабілеті кезінде бақылаушы осы аспап үшін анықтаған, көрсеткіштің ең төменгі өзгеруін туындатушы, өлшенетін шаманың өзгеруі.

Көрсеткіштер вариациясы — өлшенетін шаманы көп реттік баяу өзгертудің екі бағыты кезінде, өлшеу диапазонының осы нүктесіне сәйкес келетін, аспап көрсеткіштері арасындағы орташа айырмасы. Көрсеткіш деп, аспаптың есептік құрылғысы бойынша айқындалатын және осы шаманың қабылданған бірліктерімен көрсетілетін, өлшенетін шаманың мәнін атайды. Вариация бір және сол шама мәнін өлшеу кезінде аспап көрсеткішінің қаншалықты тұрақты қайталанатынын сипаттайды.

Көрсеткішті белгілеу уақыты (бағындыру уақыты) — өлшенетін шаманың өзгеру сәтінен бастап, көрсеткішті белгілеу сәтіне дейін өткен уақыт аралығы. Ұқсас аспаптар үшін көрсеткішті белгілеу сәті тербеліс амплитудасының көрсеткіші аспап қателігіне қарағанда, артық болмайтын сәтпен айқындалады.

Өлшеу аспабының қателіктері (аспаптық қателіктер) физикалық шаманың өлшеу дәлдігіне мәнді әсер етуін көрсетеді (2-тарауды қараңыз).

Бақылаулық сұрақтар

1. Негізгі және туынды физикалық шама ұғымының мәні неде?
2. Халықаралық бірліктер жүйесі дегеніміз не?
3. «Өлшеу», «өлшеу объектісі», «өлшеу әдісі және құралдары» терминдері нені сипаттайды?
4. Өлшеудің негізгі түрлері мен әдістері қандай?
5. Өртүрлі эталон түрлерінің мағынасы қандай және жұмысшы ИП эталондарына мөлшерлерді беру қалай ұйымдастырылған?
6. Бірлік эталондары: электр тоғының, уақыттың және жиіліктің күші дегеніміз не?
7. «Өлшеу құралы» ұғымының мәні нені құрайды? Оларды қалай жіктейді.
8. ИП қалай жіктеледі және қандай көрсеткіштермен сипатталады?
9. Өлшеу құралын тексерудің негізгі міндеттері қандай және Сіз өлшеу құралының ресейлік калибрлеу жүйесі туралы не білесіз?

ӨЛШЕМНІҢ МЕТРОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ

2.1. Негізгі терминдер мен анықтамалар

2001 жылдың 1 қаңтарынан бастап стандарттау және метрология бойынша Ресей Федерациясы Мемлекеттік комитетінің 17.05.2000 ж. № 139 қаулысымен «Өлшеу бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі. Метрология. Негізгі терминдер мен анықтамалар» РМА 29-99 Ұсыныстары күшіне енгізілген. Ұсыныстар бұрын әрекет еткен МС 16863 — 70 орнына әзірленген және шындығында ТМД елдерінің бәрінде қабылданған мемлекетаралық стандарт болып табылады.

Көрсетілген Ұсыныстарда өлшем қателіктері мен өлшем құралдарына қатысты негізгі терминдер мен анықтамалар заңдастырылған. Әрі қарай Ұсыныстарда жиі орын алатын қателіктер, қолданылатын терминдер мен анықтамалар келтіріледі.

Өлшем нәтижесінің қателіктері — өлшем нәтижесінің өлшем көлемінен шынайы (нағыз) мағынасынан ауытқуы. Көлемнің шынайы мағынасы белгісіз, оны тек теориялық зерттеулерде қолданады. Тәжірибеде көлемнің x_0 нағыз мағынасын пайдаланады. Өлшем қателіктері

$$\Delta x_{\text{изм}} = x_{\text{изм}} - x_{\text{д}},$$

онда $x_{\text{өлш}}$ — көлемнің өлшенген мағынасы; $x_{\text{д}}$ — көлем мағынасы, ол эксперименттік жолмен алынған, соғұрлым шынайыға жақын, қойылған міндетте оның орнында қолданылуы мүмкін.

Өлшемнің жүйелік қателіктері — бұл өлшем нәтижесінің қателіктеріне құрамдас, ол үнемі қалады немесе заңды түрде бірдей физикалық көлемдерді қайталап өлшеу кезінде өзгереді. Өлшем сипатына қарай жүйелік қателіктер күрделі заң бойынша өзгеріп отыратын тұрақты, прогрессивті және кезеңдік болып үшке бөлінеді. Тұрақтыға өз мағынасын ұзақ уақыт сақтайтын қателіктер жатады, мысалы, уақыт бойы өлшемдердің барлық қатарын орындау. Бұлар жиі кездеседі.

Үздіксіз көбейіп немесе азайып отыратын қателіктер *прогрессивті* болып табылады. Оларға, мысалы, активті бақылау құралымен бақылау кезінде бөлшекпен байланыс жасайтын, өлшеуші ұштықтың тозуы нәтижесіндегі қателіктер жатады.

Кезеңдік қателіктер дегеніміз мағынасы кезеңдік уақыт функциясы немесе ӨҚ көрсеткішінің жылжуы болып табылады.

Күрделі заң бойынша өзгертін қателіктер бірнеше жүйелік қателіктердің біріккен әрекеттері нәтижесінде пайда болады.

Өлшемнің аспапты қателіктері – бұл өлшемнің құрамдас қателіктері, ол қолданылған өлшем құралының қателігімен шартталған.

Өлшем әдісінің қателігі- өлшемнің жүйелік қателігін құрайды, ол қабылданған өлшем әдісінің жетілмегендігімен шартталған. Өлшеуге арналған тендеулерде қабылданған жеңілдету нәтижесінде, елеулі қателіктер пайда болады, олардың әрекеттерінің компенсациясына түзетулер енгізу керек. Әдіс қателігін сонымен қатар теориялық қателік деп атайды. Кейде әдіс қателігі кездейсоқ пайда болуы мүмкін.

Субъективті өлшем қателігі жүйелік өлшем қателігін құрайды, ол оператордың жеке ерекшеліктерімен шартталған. Өлшеу құралы көрсеткішінің есебін түсіруге жүйелі түрде кешігетін немесе көрсеткішті түсіру мерзімінен озатын операторлар кездеседі. Кейде субъективті қателікті жеке қателік немесе жеке айырма деп атайды.

Кездейсоқ өлшем қателігі – бір физикалық көлемге бірдей дәлдікпен өткізілген қайталап өлшем кезінде кездейсоқ (белгісі және мағынасы бойынша) өзгеріп тұратын өлшем нәтижесі қателігін құрайды.

Абсолюттік өлшем қателігі – өлшенетін көлем бірлігінде көрсетілген өлшем қателігі.

Салыстырмалы өлшем қателігі – өлшемдің абсолюттік қателігінің өлшенетін көлемнің шын немесе өлшеулі мағынасына қатысымен көрсетілген өлшем қателігі. Салыстырмалы қателікті үлестегі немесе пайыздағы %

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

онда Δx — абсолюттік өлшем қателігі; x — көлемнің шын немесе өлшенген мәні.

Өлшем қатарындағы нәтижелердің шашырауы – тең нүктелі өлшемдердің қатарындағы бір көлемнің өлшем нәтижелерінің үйлеспеуі, ол кездейсоқ қателіктердің әрекетімен шартталған.

Кездейсоқ қателіктер әрекетінің соңында өлшем қатарындағы шашырау нәтижелерінің сапалы бағасын жүйелі қателіктер әрекетіне түзету енгізгеннен кейін алады.

Өлшем қатарындағы шашырау нәтижелерінің бағасы: қарқын, орташа арифметикалық қателік (модуль бойынша), орташа квадраттық қателік немесе стандартты ауытқу (орташа квадраттық ауытқу, эксперименттік орташа квадраттық ауытқу), дәлсіздіктің сенімді шектері (сенімді шек немесе сенімді дәлсіздік).

Өлшем нәтижелерінің қарқыны физикалық көлемнің жеке өлшемі нәтижелерінің шашырауы R_n ол

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

формуласы бойынша есептелетін қатар жасайды немесе n өлшемінен таңдау жасайды.

онда x_{\max} мен x_{\min} — осы өлшем қатарындағы физикалық көлемнің ең үлкен және ең аз мағынасына тең.

Шашырау әдетте өлшем кезіндегі кездейсоқ себептерінің пайда болуына шартталған және оның ықтималдық сипаты бар.

Өлшем қатарындағы жеке өлшем нәтижелерінің орташа квадраттық қателігі олардың орташа мағынасының жанындағы бір физикалық көлемнің теңнүктелі қатарындағы жеке өлшем нәтижелерінің шашырау бағасы мына формула бойынша

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (2.1)$$

онда n — жалпы өлшем саны; x — жеке өлшемнің нәтижесі; \bar{x} — n жеке нәтижесінен өлшенетін көлемнің орташа арифметикалық мағынасы.

Тәжірибеде «орташа квадраттық ауытқу» термині кең тараған (ОКА). (2.1) формуласына сәйкес ауытқу дегеніміз олардың орташа мағынасынан өлшем қатарындағы жеке нәтижелерден ауытқу. Метрологияда бұл ауытқу өлшем қателігі деп аталды.

Өлшем нәтижесі қателігінің сенімді шектері өлшем қателігінің ең үлкен және ең аз мағынасы, ол интервалды шектейді, оның ішінде өлшем қателігінің ізделетін (шынайы)мағынасы бар.

Қателіктердің сенімді шектері нормалы заң тарату жағдайында ($\pm tS, \pm tS_x$) формуласы бойынша есептеледі. S, S_x көрсеткіштері жеке және орташа арифметикалық өлшем нәтижелеріне сәйкес орташа квадраттық қателіктер болып табылады; t — P және n өлшем бірлігінің сенімді ықтималдығына тәуелді коэффициенті,

Сенімді ықтималдық мына өрнекпен анықталады.

$$P \{ x_H < x < X_B \} = 1 - q,$$

онда x_H, x_B — интервалдың төменгі және жоғарғы шектеріне сәйкес, онда бағаланатын параметрдің шынайы мағынасы бар; q — мәнділік деңгейі.

Түзету — жүйелік қателіктерді жоюға арналған, түзетілмеген өлшем нәтижесіне енгізілген көлем мағынасы. Түзету белгісі қателік белгісіне қарама-қарсы орналасқан. Шаманың номиналды мағынасына қосылған түзетуді шама мағынасына түзету деп, ал Θ көрсеткішіне енгізілген түзетуді құрылғы көрсеткішіне түзету деп атайды.

Өлшем нәтижесінің дәлдігі өлшем сапасы сипатының бірі болып табылады және өлшем нәтижесі қателігінің нөлге жақындығын көрсетеді. Өлшем қателігі қаншалықты аз болса, соғұрлым дәлдік жоғары.

Статистикалық өлшем қателігі — статистикалық өлшем шарттарына тән өлшем нәтижесінің қателігі.

Динамикалық өлшем қателігі — динамикалық өлшем шарттарына тән өлшем нәтижесінің қателігі.

Ағаттық — осы қатардың басқа нәтижелерінен осы жағдай үшін ерекшеленетін, өлшем қатарына енетін жеке өлшем нәтижесінің қателігі. Кейде «ағаттық» терминінің орнына «өлшеудің өрескел қателігі» термині қолданылады.

2.2. Жүйелік қателіктердің пайда болу себептері және оларды жою тәсілдері

Жүйелік қателіктердің табиғаты мен шығуы әдетте нақты эксперимент ерекшелігімен шартталған, сондықтан оларды табу және жою тәжірибешінің шеберлігіне байланысты, оның өлшем өткізу шарттарын және қолданатын құралдары мен әдістерінің ерекшелігін қаншалықты меңгергеніне байланысты. Сонымен бірге жүйелік қателіктердің пайда болуының кейбір жалпы себептері бар, соған сәйкес қателіктер әдістемелік, құралдық және субъективті болып бөлінеді.

Әдістемелік қателіктер өлшем әдісінің жетілмегендігімен, қолданылатын формуланы шығару кезінде жеңілдетілген жорамалдар мен долбарларды пайдаланумен, ӨҚ өлшеу нысанына әсерімен қамтамасыз етілген.

Мысалы, температураны жылу сезгіш элементпен өлшеуде әдістемелік қателік бар, ол зерттелетін нысанның температуралық тәртібін бұзудан (жылу сезгіш элементті енгізу салдарынан) болған.

Құралдық қателіктер өлшеу құралдарын қолданудан болған қателіктерге байланысты. Олардың пайда болу себептеріне градуустаудың дәлсіздігі, құрылма жеткіліксіздігі, пайдалану үдерісінде құрылғы сипатының өзгеруі және т.б. жатады.

Өлшем қателіктері сонымен қатар өлшем құралын дұрыс орнатпау салдарынан, оларға магнит немесе электр өрісінің әсерінен, қосымша және динамикалық қателіктердің болуынан пайда болады. Қосымша қателіктерге құрылғы жұмыс жасайтын қалыпты шарттардан ауытқу себепші болады. Динамикалық қателіктер өлшенетін көлемнің жылдам өзгеруі кезінде қолданылатын техникалық құралдардың инерциялығынан пайда болады. Осы барлық қателіктер құралдық қателіктерден ерекшелейді (МС 8.009-84), өйткені олар өлшеу құралдарының өзіне, олардың жұмыс жасайтын шарттарына байланысты. Оларды жою құралдық қателіктерді жоюға қарағанда басқа тәсілдермен жасалады.

Субъективті қателіктер адамның (оператордың) құрылғы көрсеткішін дұрыс есептемегенінен болады. Бұл, мысалы, құрылғы нұсқарының көрсеткішін бақылау кезінде қарау бағытының дұрыс болмауынан болады (параллактан қателік). Цифрлы құрылғыны және өлшеудің автоматты әдісін қолдану бұндай қателіктерді жояды.

Жоғарыда көрсетілген (2.1-бөлімін қараңыз) жүйелік қателіктер тұрақты болуы немесе заңды түрде ауысуы мүмкін. Кейінгі жағдайда оларды күрделі заң бойынша үдемелі (өспелі немесе азаймалы), кезеңдік және өзгеруші етіп үшке бөледі.

Жүйелік қателіктердің себептері мен көздерін кездестіру түзету енгізе отырып оларды жою немесе шығаруға шаралар қолдануға мүмкіндік туғызады.

Кейбір жағдайларда түзеткіш көбейткіш-санды пайдаланады, оған жүйелік қателікті жоюға арналған өлшеу нәтижесін көбейтеді.

Түзету немесе түзеткіш көбейткіш техникалық құралды калибрлеу, тиісті таблицалар мен кестелері құру және пайдаланудың көмегімен анықталады. Сонымен қатар түзету мағынасын табудың есептеу тәсілдері қолданылады.

Жүйелік қателіктерді жоятын арнайы өлшеуді ұйымдастыру әдістері бар.

Мысалы, оларға ауыстыру әдісі және белгі бойынша қателікті компенсациялау әдісі жатады.

Ауыстыру әдісі дегеніміз реттелетін өлшем көмегімен алынған белгілі көлемнің өлшенетін көлеммен ауыстырылуы. Егер де ауыстыру эксперименттік орнатуда басқа өзгеріссіз және ауыстырудан кейін сол құрылғы көрсеткіші орнатылса, өлшенетін көлем белгілі көлемге тең болады, оның мағынасы реттелетін өлшем көрсеткіші бойынша есептеледі. Бұл тәсіл тұрақты жүйелік қателіктерді жоюға мүмкіндік туғызады. Өлшем қателігі ауыстыру әдісін қолданған кезде өлшем қателігімен және белгісізді ауыстыратын көлем мағынасын есептеу кезінде пайда болатын қателікпен анықталады.

Қателікті белгі бойынша компенсациялау әдісі сол немесе басқа өлшем нәтижесіне ене алатын өлшеу шарттарына байланысты жүйелік қателіктерді жоюға қолданылады (ЭЖК термо қателігінен, электр немесе магниттік өрістің тұрақты кернеулігі әсерінен және т.б.). Бұндай жағдайда өлшеуді екі рет жүргізуге болады: өлшем нәтижесіне қателік кіретіндей етіп бір рет бір белгімен, ал қайталағанда кері белгімен. Екі алынған нәтиженің орташа мағынасы өлшемнің ақырғы нәтижесі болып табылады, ол бұрын көрсетілген жүйелік қателіктен еркін.

Автоматты өлшем өткізу кезінде жүйелік қателікті түзетудің сызбалық әдісі кең қолданылады. Өңдегіштерді компенсациялық қосу, температуралық және жиілік түзетулердің әрүрлі тізбектері оларды жүзеге асырудың үлгісі болып табылады.

Кейінгі уақытта өлшеу техникасында микропроцессор жүйесі бар құралдар кең қолданылады. Кейінгілердің көмегімен жүйелік қателіктерді көптеген түрлерін жоюға немесе түзетуге болады. Әсіресе бұл құралдық қателіктерге жатады. Градустау дәлсіздігіне байланысты түзетулерді автоматты енгізу, қосымша және динамикалық қателіктерді есептеу және жою, нөлге жылжытумен шартталған қателіктерді жою - осы және басқа түзетулер өлшеу дәлдігін жоғарылатуға септігін тигізеді.

Бірақ, мамандардың барлық күш салғанына қарамастан, жүйелік қателіктердің бөлігі жойылмай қалады. Қателіктің бұл бөлігі өлшем нәтижесіне кіреді және оны бұрмалайды. Ол қолданылған техникалық құралдың метрологиялық сипаты туралы мәлімет бойынша бағалануы мүмкін. Егер осындай мәліметтер аз болса, басқа зертханалардан алынған ұқсас нәтижелері бар өлшенген мағыналардың салыстыру нәтижелерін пайдалануға болады.

2.3. Кездейсоқ қателіктерді бағалау

Сәйкес математикалық аппаратпен кездейсоқ қателіктерді сипаттау ықтималдық теория болып табылады. Кейінгіге сәйкес кездейсоқ көлем ықтималдықты тарату (немесе тарату тығыздығы) заңымен толық сипатталады. Өлшеушілерге қалыпты және біркелкі тарату тығыздығын жиі қолдануға тура келеді. Стандарттық функциялармен аппроксимацияланатын басқа тарату заңдары да мүмкін болады. Егер өлшем қателігі үздіксіз мағыналар қатарын қабылдай алса және өлшеудің үлкен саны кезінде қателіктердің пайда болуы жиілігі абсолюттік көлем бойынша тең, бірақ белгісі әр түрлі, бірдей және кіші қателіктер үлкендерге қарағанда жиі кездессе, кездейсоқ қателіктердің сипаты үшін *тарату ықтималдығының қалыпты заңын* қолдану керек, ол үшін

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

онда $y(\Delta)$ — кездейсоқ қателіктің ықтималдық тығыздығы (Δ);
 σ — кездейсоқ қателіктің орташа квадраттық мағынасы.

Өрнекке тиісті қисық (2.2) әртүрлі мағыналар үшін σ , 2.1-суретте келтірілген, онда σ үлкен мағынаға қарағанда кіші мағына кезінде аз өлшем қателігін алу ықтимал екендігі көрсетілген.

Δ_1 және Δ_2 берілген шекті мағыналар арасында өлшем нәтижесі қателігі бар екендігі ықтимал.

мына формула бойынша есептейді

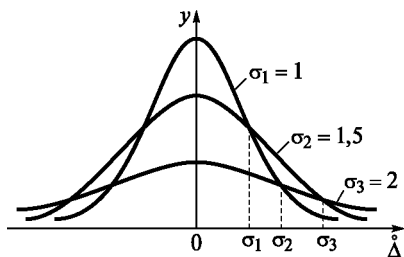
$$P(\Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2) = \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} y(\Delta) d\Delta = \int_{\Delta_1}^{\Delta_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(\Delta)^2}{2\sigma^2} \right) d\Delta. \quad (2.3)$$

Формуладағы интегралды (2.3) таблицаны пайдалана отырып шешуге болады

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

эксперименттік нәтижелерді статистикалық өңдеу бойынша өткізілген кітаптар

2.1-сурет Кездейсоқ қателіктерді таратудың қалыпты заңы



Мына ықтималдықты байқау қиын емес

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

2.1-кестеде кейбір

$[\Delta_1, \Delta_2]$, интервалдары үшін ықтималдық мағыналар берілген, Олар бірлікте берілген. 2.1-кестеде интервалдар көрсетілген

Олар төменгі және жоғарғы L_1 және L_2 тиісті болып сипатталады.

Кіші бағанда P ықтималдығы, яғни, өлшеу нәтижесінің кездейсоқ қателігі тиісті интервалдар шегіне кірмейтіндігі көрсетілген. Үшінші бағанда кездейсоқ қателіктің интервалдар шегіне шығу ықтималдығы қарастырылады.

2.1-кестеге сәйкес, $[-2/3\sigma, +2/3\sigma]$ интервалында кездейсоқ қателіктер мағынасын алу ықтималдығы және оның шегінде бірдей, осы кезде орташа бағамен өлшемнің 0,3 % бар. (сөйлем түсініксіздеу).

2.1-кесте

0 бірліктерінде берілген кейбір интервалдар үшін P ықтималдық мағыналары

Интервал	P интервалға түсу ықтималдығы	$1 - P$
$[\Delta_1, \Delta_2]$	$[\Delta_1, \Delta_2]$	
$[-2/3\sigma, 2/3\sigma]$	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

2/3о қателік мағынасы ықтимал қателік деп аталады, ал 3о *мағынасын ықтимал* қателіктің ең үлкені деп жиі санайды. Бірақ өлшем үлкен сан болған кезде 20-30 ($n > 1$) максималды қателік 3о жиі асып кетеді.

Қателіктерді сомалау. Өлшеу кезінде жүйелік және кездейсоқ қателіктердің бірнеше көзі болуы мүмкін. Осыған байланысты оның бөліктерін құрайтын белгі қателіктер мағынасы бойынша сомалық қателіктер өлшемін табу ережелері туралы мәселе тәжірибелік жағынан маңызды болып табылды. Шығарылмаған жүйелік қателіктерді сомалау кезінде олардың нақты жүзеге асырылуын кездейсоқ көлемді жүзеге асыру ретінде қарастыруға болады. Егер шығарылмаған жүйелік қателіктер құрайтын белгілі шектер 0, осы құраушылар шегін тарату тең болса, шығарылмаған жүйелік қателіктің өлшеу нәтижесінің шегі 0 болса, мына формула келтіріледі

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

онда k — коэффициент, ол сенімді ықтималдықпен қабылданған, сенімді ықтималдық кезінде 0,95, ол 1,1 тең (МЕСТ 8.207 — 76); m — шығарылмаған жүйелік қателіктер саны.

Кездейсоқ қателіктерді сомалау кезінде олардың корреляциялық байланыстарды ескеру қажет. Орташа квадраттық қателік жиынтығы σ^2 екі

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

онда σ_1 мен σ_2 — жеке құраушылардың орташа квадраттық қателіктері; ρ — корреляция коэффициенті.

Тәжірибеде ρ корреляция коэффициентінің қанағаттанарлық бағасын алу қиын болғандықтан, ең болмағанда былай санаймыз $\rho = 0$, немесе $\rho = \pm 1$. Сонда формула (2.4) былай болады:

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

немесе

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

Сонымен орташа квадраттық қателіктің корреляциялық байланыстары болмаған кезде геометриялық түрде, ал қатаң корреляциялық тәуелділік жағдайында алгебралық түрде.

Бұл қорытынды бірнеше қателік көздері жағдайы үшін де әділ.

Өрескел қателіктерді жою. **Өрескел қателіктерді (ағаттық) анықтау** жай міндет емес, ол өлшем көлемі ерекшеліктерін терең түсінуді талап етеді. Ағаттықты анықтау үшін Райт (критерий) өлшемін жиі қолданады. Осы өлшемге сәйкес, егер қандай да бір өлшемнің кездейсоқ ауытқуы орташа арифметикалық мағынадан 3σ асып кетсе, онда осы өлшемде ағаттық бар деп саналады. Райт (критерий) өлшемін осында түрде өлшемнің ең үлкен емес санын қолданған жөн. ($\sigma < p < 20$). Егер өлшем саны $20 < p < 100$ болса, онда 3σ мағынасының орнына 4σ пайдалану ұсынылады.

Өлшемнің қажетті саны. Өлшемнің қажетті саны өте маңызды мәселе, өйткені кейінгі эксперимент барысы оның шешіміне байланысты. Өлшем санының өсуімен кездейсоқ құрамдас қателікті ғана азайтуға болатынын анық түсіну қажет, яғни орташа квадраттық қателік σ және $\sigma_{\text{орт}}$ p өлшем санына байланысты. Сонымен қатар жүйелік қателік p өсуі кезінде азаймайды, сондықтан егер қалдық жүйелік қателік басым болып табылса, онда іс жүзінде өлшем санының өсуі қателіктің азаюына жол бермейді. Бұл жағдайда бір өлшеммен жиі шектеледі. Мысалы, торап кернеуін дәл емес тасымалды нұсқарлы құрылғымен өлшеу кезінде бірнеше өлшемді және өлшем нәтижелеріне статистикалық өңдеу жүргізу тиімсіз. Жүйелік қателіктер кездейсоқтан асып кететіндіктен, бір ғана өлшем жүргізу жеткілікті. Дәл өлшем кезінде кездейсоқ қателіктер негізгі болып табылуы мүмкін. Онда бірнеше дүркін өлшем жүргізу орынды болып табылады. Өлшем санын орташа квадраттық қателік $\sigma_{\text{орт}}$ максималды мүмкін болатын мағынадан $\sigma_{\text{орт-мүм}}$ асып кетпейтіндей таңдау қажет. Бірақ бірнеше өлшем есебінен азаюға $\sigma_{\text{орт}}$ кездейсоқ қателіктерді жалпы өлшемге салымы қалдық жүйелік қателіктің салымымен салыстырылмайынша қол жеткізілмейді.

2.4. Өлшем құралдарының қателіктері

Негізгі терминдер мен анықтамалар. РМА 29 — 99 «Метрология. Негізгі терминдер мен анықтамалар» Ұсыныстарында өлшем құралдарының қателіктерін білдіретін терминдер мен анықтамалар заңдастырылған (2.1-бөлімге қараңыз). Көрсетілген ұсыныстарға сәйкес жиі

қолданылатын өлшем құралдары қателіктерінің терминдері мен анықтамаларын келтіреміз.

Өлшем құралдарының қателігі – өлшем құралының көрсеткіші мен өлшенетін физикалық көлемнің шынайы (нағыз) мағынасы арасындағы айырмашылық. Өлшем үшін оның номиналды мағынасы көрсеткіш болып табылады. Физикалық көлемнің шынайы мағынасы белгісіз болғандықтан тәжірибеде оның нағыз мағынасын қолданады. «Өлшем құралының қателігі» түсінігіне келтірілген анықтама метрология бойынша отандық әдебиетте қабылданған тұжырымға қайшы келмейді. Бірақ өз мәнінде бұл анықтама «өлшем қателігі» түсінігінің анықтамасынан ерекшеленбейді, сондықтан ол дерексіз болып табылады және қосымша айқындауды талап етеді.

Өлшем құралдарының жүйелік қателігі – тұрақты немесе заңды өзгеруші көлем болып қабылданатын өлшем құралдарының құрамдас қателігі. Осы өлшем құралының жүйелік қателігі, ереже бойынша, жүйелік қателік осы типтің өлшем құралының басқа нұсқасынан ерекшеленеді, сондықтан бір типті өлшемдер тобы үшін жүйелік қателік кейде кездейсоқ ретінде қарастырылуы мүмкін.

Өлшем құралдарының кездейсоқ қателігі – кездейсоқ өзгеріп тұратын құрамдас өлшем қателігі болып табылады.

Өлшем құралдарының абсолюттік қателігі – өлшенетін физикалық көлемнің бірлігінде көрсетілетін өлшем құралдарының қателігі

Өлшем құралдарының салыстырмалы қателігі – өлшем құралдарының абсолюттік қателігінің өлшем нәтижесіне немесе өлшенетін физикалық көлемнің шынайы мағынасына қатысын білдіретін өлшем құралдарының қателігі.

Өлшем құралдарының келтірілген қателігі өлшем құралдарының абсолюттік қателігінің өлшемнің барлық диапазонда немесе диапазон бөлігінде тұрақты, көлемнің шартты түрде қабылданған мағынасына қатысын білдіретін салыстырмалы қателігін көрсетеді.

Көлемнің шартты түрде қабылданған мағынасын қалыпқа келтіруші деп атайды. Қалыпқа келтіруші деген мағына ретінде өлшемнің жоғарғы шегін жиі қабылдайды. Келтірілген қателікті әдетте пайызбен көрсетеді.

Өлшем құралдарының негізгі қателігі – қалыпты жағдайларда қолданылатын өлшем құралдарының қателігі.

Өлшем құралдарының қосымша қателігі – қандай да бір әсерлі көлемнің қалыпты мағынасынан немесе мағынаның қалыпты сала шегінен шығуынан ауытқуы салдарынан негізгі қателікке қосымша пайда болатын өлшем құралдарының құрамдас қателігі болып табылады.

Өлшем құралдарының статистикалық қателігі – физикалық көлемді өлшеу кезінде тұрақты ретінде қолданылатын өлшем құралдарының қателігі.

Өлшем құралдарының динамикалық қателігі – физикалық көлемді өлшеу үдерісінде өзгеріп тұратындарды өлшеу кезінде пайда болатын өлшем құралдарының қателігі.

Өлшем құралдарының дәлдік класы — өлшем құралдарының осы түрінің жалпылама сипаттамасы, ереже бойынша, мүмкін болатын негізгі және қосымша қателіктер шегімен көрінеді, сонымен қатар дәлдікке басқа сипаттамалармен әсер ететін олардың дәлдік деңгейін білдіреді. Өлшем құралдарының дәлдік класы бір типті өлшем қателігінің қай шекте болатынын жорамалдауға мүмкіндік береді, бірақ ол осы құралдарының әрбіреуінің көмегімен орындалатын өлшем дәлдігінің тікелей көрсеткіші болып табылмайды. Бұл берілген өлшем дәлдігіне байланысты өлшем құралын таңдау кезінде маңызды. Өлшем құралдарының дәлдік класының нақты түрін техникалық талаптар (щарттар) стандартында немесе басқа нормативтік құжаттарда орнатады.

Өлшем құралдарының дәлдік сипаттамалары өлшем қателігіне әсер ететін өлшем құралдарының метрологиялық сипаттамалар жиынтығын көрсетеді. Дәлдік сипаттамаларына өлшем құралдарының қателігі, тұрақсыздық, сезгіштік шегі, нөлдің дрейфі және басқалар жатады.

Өлшем құралдарының қалыпты метрологиялық сипаттамалары. **Техникалық реттеу мен метрология бойынша федералдық агенттігі** «Өлшем бірлігін қамтамасыз ететін мемлекеттік жүйе. Өлшем құралдарының қалыпты метрологиялық сипаттамалары» 8.009 — 89 МС бекітілген. Стандартта өлшем құралдарының бағасына және олардың метрологиялық сипаттамаларын (МС) нормалауға жаңа ыңғай беріледі. Стандарттың негізгі бағыты өлшем құралдарының, оның ішінде ұқсас электр өлшеуші құрылғылардың (ҰЭҚ) бағасын оның шынайы мағынасына жақындатуға ұмтылады.

Стандарттың түбегейлі ерекшелігі МС ҰЭҚ қажетті жағдайда өлшем құралының бір ғана данасының емес, өлшем құралының осы түрінің барлық жиынтығының ерекшеліктерін көрсетуі тиістігі болып табылады.

МС ҰЭҚ нормалау кезінде ескі МС-ты қолданудан айырмашылығы жаңа құжаттарды қолдану өлшемнің теориясы мен тәжірибесінің маңызды міндеттерін шешуге септігін тигізеді, мысалы, берілген ҰЭҚ қателіктерін алуды және ҰЭҚ жалпы қателіктерінің азайтуды, яғни ҰЭҚ ұтымды жобаларының міндеттерін шешуге көшуді қамтамасыз ететін ұқсас өлшеу өңдегіштерінің жиынтығын таңдау міндетін шешеді.

Стандартта төрт құрамдас қателіктің реттемесі қарастырылған. Олар мыналармен шартталған:

1) пайдаланудың қалыпты жағдайында өлшем құралының түрлендіруінің нақты сипаттамасы түрлендірудің номиналды сипаттамасымен ерекшеленеді. Бұл құрамдас қателік өлшем құралдарының негізгі қателігі;

2) қоршаған ортаның әсер етуші факторларының және кіру дабылының ақпараттық емес параметрлерінің өзгеруі кезінде ұқсас өлшем құралдарының сипаттамалары өзгереді. Бұл құрамдас қателік *ҰЭҚ қосымша қателігі* деп аталады;

3) *ҰЭҚ* мен түрлендіргіштердің динамикалық сипаттарына сәйкессізденеді. Бұл құрамдас қателік динамикалық қателік деп аталады. Динамикалық қателіктің көлемі ұқсас өлшем құралының ерекшелігіне де, кіру дабылдарының сипаттамасына да байланысты;

4) өлшем құралының тұтынушы күшімен. Қателік өлшем құралдарының ерекшелігіне және өлшеу дабылының көзіне, сонымен қатар осы дабылдардың сипаттамасына байланысты. Ол өзара әрекет қателігі деп аталады.

8.508 — 84 МС-на және басқа стандарттарға сәйкес ұқсас өлшем құралдары үшін мынадай метрологиялық сипаттамалар қалыпқа келтіріледі:

1) пайдаланудың қалыпты жағдайларында номиналды статистикалық сипаттама $f_{ном}(x)$;

2) өлшем құралдарының жүйелік құрамдас қателігі Δ_c

3) өлшем құралдарының кездейсоқ құрамдас қателігі Δ

4) көрсеткіштер вариациясы(B);

5) көрсеткіштер дрейфі (d);

6) кіріс ($Z_{кіру}$) және шығыс ($D_{шығ}$) толық электр торабының кедергісі;

7) өлшем құралдарының динамикалық сипаттамасы ;

8) кіріс дабылының ақпараттық емес параметрлері;

9) өлшем құралдарының жүйелік қателігіне әсер ету функциясы;

10) метрологиялық сипаттамалардың сыртқы әсер етуші факторларынан және кіру дабылының $[\psi(\xi)]$ ақпараттық емес параметрлерінен мүмкін болатын ең үлкен өзгеріс;

11) өлшем диапазоны;

12) дәлдік класы МемСТ 8.401 — 80 МС-қа сәйкес.

Негізгі қателік. Өлшем құралдарының ерекшеліктерін көрсетеді және егер қосымша қателіктер аз болса, пайдаланудың қалыпты және жұмыс жағдайларын қалпына келтіреді. Дербес құрылғы ретінде қолданылатын ұқсас өлшем құралдары үшін, егер әсер етуші фактордың мағыналары барлық жұмыс саласының өлшем құралдарының қателігі негізгі қателіктердің жартысынан азын құрайтын болса, әсер етуші факторлар мағынасының көрсетілген саласына арналған тек негізгі қателік қалыпқа келтірілуі мүмкін. Егер өлшем құралдарының қателігінің ең үлкен өзгерісі әсер етуші факторлардың барлық жұмыс саласында негізгі қателіктің 20 %-н көбін құрайтын болса, басқа өлшем құралдарымен ақпараттық байланысқа арналған ұқсас өлшем құралдары үшін негізгі қателік пайдаланудың қалыпты жағдайлар үшін қалыпқа келтіріледі. Былайша айтқанда, негізгі қателік өлшем құралдарын қолданудың жұмыс шарттары үшін нормаланады, олар стандарттарда немесе нақты өлшем құралдарының техникалық шарттарында көрсетілген.

Жалпы жағдайда негізгі қателіктер сипаттамалары осы типтің өлшем құралының барлық ерекшеліктерін көрсетуі тиіс. Өлшем құралдары қателігі үлгісінің соңына түссе, нақты өлшем құралдарының әрбіреуі үшін оны анықтауға болады.

Негізгі қателік үлгісі ретінде $\Delta_{oc}(t)$ түр үлгісін қабылдауға болады.

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

мұнда $\Delta_{oc,c}(t)$ — өлшем құралдарының негізгі жүйелік қателігі; $\Delta_{oc,r}$ — стационарлық (эргодикалық) ортаға келтірілген кездейсоқ үдеріс қателігі; Δ_{oc} — гистерезис түрінің құбылыстарын ескеретін негізгі кездейсоқ көлем.

Жалпы жағдайда бұл стационарлық емес, ол жай өзгереді, тәжірибеде $\Delta_{oc}(t)$ көлемін тұрақты немесе заңды түрде өзгеруші деп санайды. Өйткені $\overset{0}{\Delta_{oc}}(t)$

$\overset{0}{\Delta_{oc}}(t)$ жиіліктің кең спектрі бар,

$$\overset{0}{\Delta_{oc}}(t) = \overset{0}{\Delta_{oc,vч}}(t) + \overset{0}{\Delta_{oc,нч}}(t), \quad \text{жорамалдау ыңғайлы}$$

онда $\overset{0}{\Delta_{oc,vч}}(t)$, $\overset{0}{\Delta_{oc,нч}}(t)$ — өлшем құралдарының жоғары жиілікті және төмен жиілікті құрамдас қателіктері сай. Үдерістің көрші мағыналары

$\overset{0}{\Delta_{oc,vч}}(t)$ корреляцияланбаған, ал үдерістің көрші мағыналары $\overset{0}{\Delta_{oc,нч}}(t)$ корреляцияланған.

Кейбір жағдайларда өлшем құралдарын қолдануға автокорреляциялық функцияларды білу талап етіледі (8.508 — 84 МемСт). Корреляцияланбаған құрамдастар $\Delta(t)$ СКО $\sigma_{|\Delta_{oc}|}^0$ тапсырмасымен нормаланады. Осы типтің өлшем құралдарының кездейсоқ құрамдас қателігі сипаттамасының шашылымын ескермейді, ал жоғарыдан бағаны алу үшін мүмкін болатын мағынаның шегін қалпына келтіреді $\sigma_{|\Delta_{oc}|}^0$ СКО, яғни өлшем құралдарының

жүйелік қателігінің осы түрінің шашылуы жоғары, сондықтан стандарттарда математикалық күту мағынасы $M[\Delta_c] \approx \bar{\Delta}_c$ және осы қателіктің орташа квадраттық ауытқу $\sigma[\Delta_c]$ қалыпқа келтіріледі.

Қателіктердің мағынасы ҰЭҚ шкаласының бойында өзгеруі мүмкін, сондықтан нүктелер санын анықтау міндеті пайда болады, онда өлшем құралының белгілі қателігімен олардың мағыналарын бағалау үшін өлшем құралдарының қателігін табу қажет. 8.508 — 84 МемСт-та ҰЭҚ көрсеткіштердің мәнді вариациясының диапазон өзгерісі 0, 25, 50, 75, 100 % тән болса, нүктелерді 5, 25, 50, 75, 95 % тән ретінде таңдайды, вариация болмайды.

Қосымша қателік. Қосымша қателік сыртқы факторлар мен дабылдың ақпараттық емес параметрлері өзгерістерінің ҰЭҚ жұмысына әсер етуін көрсетеді. Сыртқы факторлардың мүмкін болатын мағыналарының, ҰЭҚ жұмысына әсер ететін барлық диапазоны шартты аймақтарға бөлінеді, олардың біреуін ҰЭҚ қалыпты жұмыс жағдайы ретінде қабылдайды (МемСт 12997 — 76, 22261 — 76 и 23222 — 78).

Осы аймаққа әр фактордың тиісті шектерге ауытқуы кезінде осы фактордың өлшем бірлігінің алдын ала анықталған санына $A\zeta$ қосымша қателік $\Delta_d(x, \xi)$ немесе метрологиялық сипаттамалардың (мысалы, жиілік сипаттамасы) өзгеруі туралы ескертіледі. Егер барлық жұмыс саласында әсер етуші факторлар мағынасының өзгеру қателігі үлкен болмаса, әсер етуші факторлар мағынасы көрсетілген сала үшін тек негізгі қателік қалпына келтіріле алады. Әсер етуші факторлар мағынасының жұмыс саласы МемСт 12997 — 76 и 22261 — 76 немесе өлшем құралының нақты түрінің техникалық шарттарында көрсетілген. Қателік $\Delta_d(x, \xi)$ ҰЭҚ негізгі қателігі сияқты сандық сипаттамалармен нормалануы тиіс.

Қосымша қателіктің $\Delta_{dk}(x, \xi)$ қандай да бір әсер етуші фактор ξ -арқылы өзгертін, мүмкін болатын үлкен мағынаны диапазондағы өлшенетін көлемнің мүмкін болатын мағыналарда қателіктің максималды мағынасын есептеу жолымен анықтайды.

Динамикалық қателік. ҰЭЖ динамикалық қателіктер олардың сипаттамаларының ерекшелерден (идеальный) айырмашылығынан пайда болады, сондықтан қателіктерді есептеу кезінде, ҰЭЖ идеалды сипаттамасы белгілі деп санаймыз. Бұл жағдайда динамикалық қателік болмайды. Динамикалық қателіктердің мағынасы кіріс дабылы мен әсер етуші факторлардың ерекшеліктеріне байланысты болады.

Динамикалық қателіктерді анықтау үшін кіріс және шығыс дабылдарының арасындағы байланысты сипаттайтын, уақыт бойынша өзгеріп тұратын ҰЭЖ динамикалық сипаттамаларының бірін білу қажет. Бұндай сипаттамаларға толық және толық емес ҰЭЖ динамикалық сипаттамалары жатады.

Толық динамикалық сипаттама құрылғының шығыс дабылының немесе өңдеушінің уақыт бойынша ақпараттық немесе ақпараттық емес параметрлердің кіріс дабылының немесе әсер етуші көлемнің кез келген өзгеруі кезіндегі өзгерісін анықтайды. Бұндай сипаттамаларға мыналар жатады:

дифференциалды теңдеу $F[x(t), y(t), y^{(1)}(t), y^{(i)}(t)] = 0$, онда $x(t)$, $y(t)$ — өлшем құралдарының кіріс және шығыс дабылдарына сәйкес, ал жоғарғы индекстер (1) мен (i) уақыт бойынша дифференциациялау операциясын білдіреді;

импульстік (таразылық) сипаттама $h(t)$;

өтпелі сипаттама $g(t)$;

ауыстыратын функция $K(S)$;

амплитудалық- и фазажілік сипаттама жиынтығы $K(\omega)$ және $\varphi(\omega)$.

Толық емес динамикалық сипаттама ҰЭЖ параметрі немесе динамикалық сипаттаманың толық функционалы. Мысалы, электрондық- сәулелі осциллограф (ЭСО) ауыстыратын сипаттаманың параметрлеріне өсу уақыты, шығарылу, ұшының әркелкілігі, көрсетуші құрылғылардың көрсеткіштерін орнату уақыты, өлшеуші түрлендіргіш арқылы өткізілген жиілік жолақтары, және тағы басқа сипаттамалар жатады, оларды білу талап етілген дәлдікпен өлшеуді орындауға септігін тигізеді.

ҰЭЖ және ұқсас өлшеу түрлендіргіштердің анықталған тобының динамикалық сипаттамаларының нақты жиынтығын таңдау 8.256 — 77 МемСт, сонымен қатар нақты ҰЭЖ техникалық шарттарында көрсетілген. Мысалы стандарттарға сәйкес қалыпты жағдайда көрсетуші құрылғылар үшін көрсетуді орнатудың уақытын қалыпқа келтіру қажет. Құрылғылардың динамикалық ерекшеліктері туралы басқа да мәліметтерді көрсетуге рұқсат етілген, мысалы, көлемнің тыныштандыру дәрежесін, ауыспалы үдеріс сипатын және т.б.

Бақылау сұрақтары

1. Өлшемнің кездейсоқ, жүйелік, абсолюттік және салыстырмалы қателіктерді қалай түсінуге болады ?
2. Өлшеу нәтижелерінің орташа квадраттық қателік дегеніміз не?
3. Әдістемелік, құралдық және субъективтік қателіктердің қандай себептері?
4. Әртүрлі қателіктерді сомалау қалай жүргізіледі?
5. Өлшем құралдары қателіктерінің негізгі түрлері қандай?
6. Өлшем құралдарының қандай метрологиялық сипаттамалары стандарттарда реттеледі?
7. ӨҚ негізгі, қосымша және динамикалық қателіктері немен анықталады?

ЭЛЕКТРМЕХАНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫҢ МЕХАНИЗМДЕРІ МЕН ӨЛШЕУ ТІЗБЕКТЕРІ

3.1. Өлшеу механизмдері туралы жалпы мәліметтер

Өлшеу механизмінің (ӨМ) өлшенетін электр көлеміне байланысты механикалық күштердің әсер ететін жылжымалы бөлігі бар. Өлшеу механизмінің әрекет ету қағидасы электрмагниттік энергияның механикалық, қабылданған механизмнің жылжымалы бөлігіне түрленуіне негізделген.

Механизмнің жылжымалы бөлігіне әсер ететін осы күштердің механикалық күштері және айналдыру кезеңі *K_{айн}* токпен, кернеуден, магниттелген немесе электрмен заряд алған денелерден құрылған магниттік және электр өрісінің өзара әрекет ету нәтижесінде пайда болады.

Жұмыс қағидасы бойынша өлшем механизмдерін мындай түрлерге жіктейді:

Магниттік электрлік (оларда айналу кезеңі тұрақты магнит пен контурдың (жиектеменің) магниттік өрісінің токпен өзара әрекет ету жолымен жасалады,; жиектеме де магнит те жылжымалы бөлік болады)

Ферродинамикалық (механизмдерде айналу кезеңі электрмагниттен, және токтың жылжымалы контурынан жасалған магниттік өрістің өзара әрекеті нәтижесінде пайда болады);

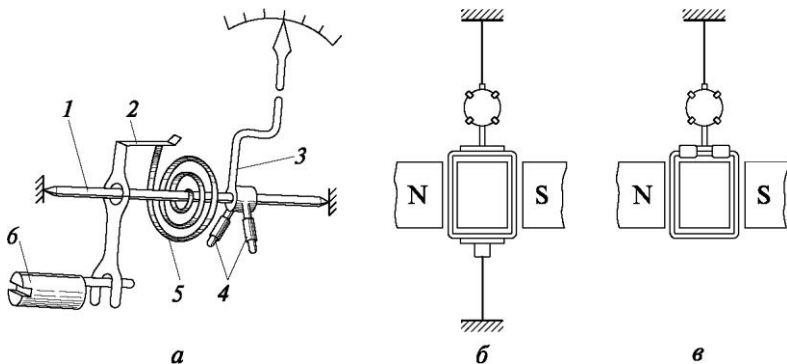
Электрдинамикалық (механизмдерде айналу кезеңі екі контурдың (жиектеменің) токпен әрекеті жолымен жасалады, оның бірі жылжымалы);

электрмагниттік (ондағы айналу кезеңі магниттік өрістің жылжымайтын шарғысының механизмнің жылжымалы бөлігі болып табылатын ферромагниттік денесіне әсер ету арқасында жасалады);

электрстатистикалық (механизмдерде айналу кезеңі екі немесе бірнеше заряд алған денелердің өзара әрекеті жолымен пайда болады, оның бірі механизмнің жылжымайтын бөлігі болып табылады);

индукциялық (онда механизмнің жылжымалы бөлігі болып табылатын дикте токтарды индукциялайтын ауыспалы магниттік өрісті жасайтын ауыспалы тоғы бар жылжымайтын контурлар қолданылады).

Өлшеу механизмінің жұмысы үшін өлшенетін көлемнің әр мағынасына және айналу кезеңіне жылжымалы бөлік бұрылысының бір бұрышы сәйкес келуі қажет.



3.1-сурет. Қарсы әрекет ететін кезең жасау тәсілдері:

a — бұрамалы серіппе көмегімен; *б* — кергі көмегімен; *в* — аспалар көмегімен; 1 — ось измерительной системы; 2 — нұсқарды нөлге қоюға арналған тетік; 3 — нұсқар; 4 — теңгеруші қарсы салмақ; 5 — қарсы әрекет кезеңін жасайтын бұрамалы серіппе; 6 — тетікті бұруға арналған эксцентрик 3

Ол үшін өлшеу механизмінде айналмалы кезеңге қарама-қарсы және ауытқу бұрышының функциясы болып табылатын *қарсы әрекет етуші кезең* $M_{пр}$ жасау қарастырылған.

Айналып тұратын және қарсы әрекет ететін кезеңдерді теңдестіру кезінде орнатылған ауытқу орны болады.

Қарсы әрекет ететін кезеңдер әдетте бұрамалы серіппенің (3.1-сурет, а), кергі (3.1-сурет, б) немесе аспалардың (3.1-сурет, в) көмегімен механикалық күштер арқылы жасалады.

Серіппелердің, кергілердің немесе аспалардың бұралуымен жасалған қарсы әрекет ететін кезең $M_{кар}$ бұрылыстың жылжымалы бөлігінің бұралу бұрышына шамалас:

$$M_{пр} = Wa,$$

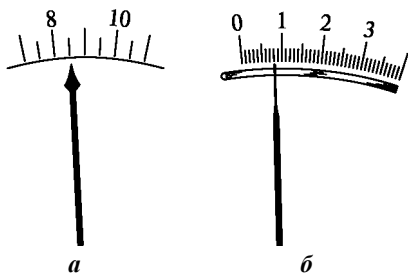
онда W — салыстырмалы қарсы әрекет етуші кезең, орындалған серіппе материалының созылмалы қасиетіне және таспаның (ұзындығы, ені және қалыңдығы) геометриялық мөлшеріне байланысты. Серіппелерді, кергілерді және аспаларды жасау үшін әдетте материал ретінде қола қолданады.

Өлшеу механизмінде негізінен *санау құрылғысының* үш түрі қолданылады.

- 1) Найза тәріздес ұшты кәдімгі шкала мен нұсқар (3.2-сурет, а);
- 2) Пышақ тәріздес ұшты айнадай шкала мен нұсқар, (3.2-сурет, б);
- 3) Айнаның көмегімен сәулелі санау (3.3-сурет).

3.3-суретте ішкі сәулелі санау құрылғысы бар құрал көрсетілген.

4 шамнан түсетін жарық сәулесі b линза , b диафрагма, 3 және 9 айналар және 2 линза арқылы 1 жылжымалы бөліктің айнасына бағытталған,



3.2-сурет. Өлшеу механизмдерінің санау құрылғысы:
 а — найза тәріздес ұшты кәдімгі шкала мен нұсқар;
 б — пышақ тәріздес ұшты айнадай шкала мен нұсқар

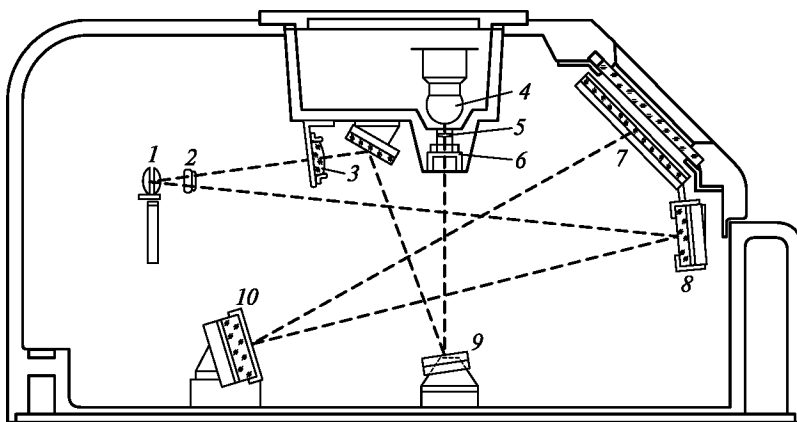
одан бейнеленіп, 8 және 10 айналар арқылы 7 шкалаға түседі. Шкалада шам жіптері ортасында қара сызығы бар дөңгелек жарық дағы түріндегі бейне шығады. Бірнеше рет қайталанған кескін айнаның шкалаға дейінгі арақашықтығын ұзартуға және шкала бойынша жарық дағының анағұрлым көп жылжуына септігін тигізеді.

Механизмнің жылжымалы бөлігі серпінді элементпен біріктірілген масса, яғни, тербелмелі жүйе болып табылады.

Тербелмелі жылжымалы жүйені тыныштандыру үшін тыныштандырушылар (демпферы) қарастырылған. Өлшеу механизмдерінде әуе және магниттік индукциялық тыныштандырушылар қолданылады.

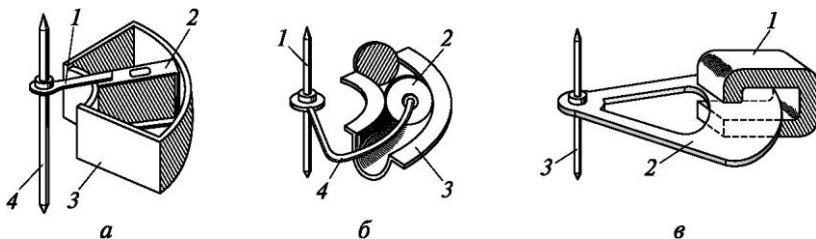
Әуе тыныштандырушылары әдетте қанатты (3.4-сурет, а) және поршенді (3.4-сурет, б) тыныштандырушылар түрінде орындалады. Әуе тыныштандырушылары алюминий пластинка 2, камерада жылжып отырады 3 және аяқтарға орнатылған 1, жылжымалы бөліктің осінде.

Қанат пен камера арасындағы саңылаулар аз (0,3-0,5 мм), сондықтан жылжымалы бөліктің камерасындағы ауа қарсылығы



3.3-сурет. Ішкі жарық санауы бар құрал :

1 — жылжымалы бөліктің айнасы; 2 и 5 — линзалар; 3 и 9 — айналар; 4 — шам;
 6 — диафрагма; 7 — шкала; 8 және 10 — айна



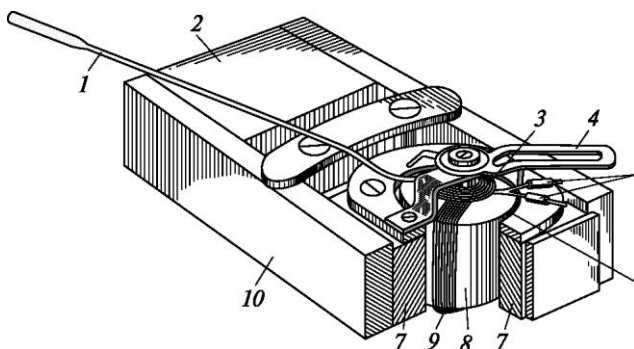
3.4-сурет. Тыныштандырушылардың түрлері:

a — әуелгі қанат: 1 — аяқ; 2 — алюминий пластинка; 3 — камера; 4 — жылжымалы бөлік осі; *б* — әелі поршенді: 1 — жылжымалы бөлік осі; 2 — алюминий пластинка; 3 — камера; 4 — аяқ; *в* — магниттік индукциялық; 1 — тұрақты магнит; 2 — алюминий пластинка; 3 — жылжымалы бөлік осі

Магниттік индукциялық тыныштандырушы показан 3.4-суретте көрсетілген. Тыныштандыру кезеңі тұрақты магнит 1 пен токтардың өзара әрекеттесу өрісіні күшімен жасалады, олар алюминий пластинкада 2 индукцияланады, тұрақты магнит 1 саңылауында жылжиды .

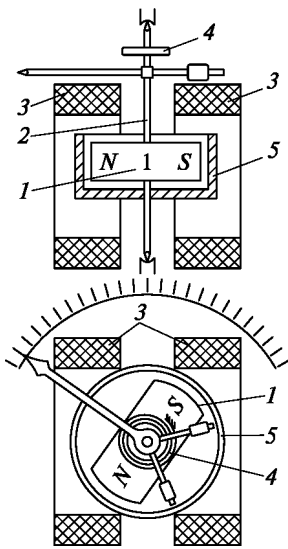
3.2. Магниттік электрлік өлшеу механизмдері

Жылжымалы катушкасы (жиектемесі) бар магниттік электрлік өлшеу механизмі 3.5-суретте көрсетілген. Ондағы жылжымалы бөлік жиектеме 9, ол кертне бекітілген және



3.5-сурет. Жылжымалы катушалы магниттік электрлік механизм

1 — нұсқар; 2 — тұрақты магнит; 3 — серіппелі ток жолы; 4 — нұсқарды нөлдегі түзеткіші; 5 — теңгеретін жүк; 6 — әуе саңылауы; 7 — полюстік ұштық; 8 — білік; 9 — жылжымалы катушка (рамка); 10 — магнит өткізгіш.



3.6-сурет. Жылжымалы магнитті магниттік электрлік өлшеу механизмі: 1 — магнит; 2 — ось; 3 — катушкалар; 4 — қарсы әрекет ететін серіппе; 5 — цилиндр (тыныштандырушы)

әуе саңылауында 6 орналасқан, магнит өткізгіштен 10 жасалған, полюстік ұштығы 7 және жұмсақ құрыштан жасалған білігі 8 бар. Магниттік өріс тұрақты магниттен 2 жасалады. Магниттік өріс күш сызықтары полюстік ұштық пен білікке тұйықталып әуе саңылауына 6 радиалды бағытта өтеді, осылайша саңылауда тең мөлшерлі радиалды бағытталған өріс жасайды.

Өлшенетін ток жиектемеге 9 серіппелі тоқжолы арқылы 3, ол бір уақытта қарсы әрекет етуші кезең жасау үшін қызмет етеді.

Жиектеменің осіне шкаланың үстінде жылжып тұратын нұсқар 1 бекітілген. Жылжымалы бөліктерді теңдестіру үшін жүктер 5 қызмет етеді. Нөлдік жағдайға келтірілген нұсқарды орнатуға арналған 4 цифрімен түзеткіш белгіленген.

Сонымен қатар жылжымалы магниті бар магниттік электрлік өлшеу механизмдері таратылды (3.6-сурет).

Магнит 1 оське 2 бекітілген. Катушка 3 бойынша өтетін ток магниттік өріс жасайды және жылжымалы магнит осы магниттік өрістің өн бойына орнауға ұмтылады. Қарсы әрекет ететін кезең серіппемен 4 жасалады. Құралдағы тыныштандырушы жылжымайтын мыс (тыныштандырушы) 5 көмегімен болады, онда магниттің қозғалуы кезінде магнит өрісімен өзара әрекет етуші тоқтар индукцияланады.

Магниттік электрлік өлшеу механизмінің әрекеті қағидасын 3.7-суретте ұсынылған сызбалар түсіндіреді.

Күш сызықтары жиектеменің 1 жұмыстағы бұрылыс кезінде тік жақтарға перпендикуляр болғандықтан, Био-Савар заңының негізінде саңылаудағы өрістің теңмөлшерлігін ескере отырып, былай жазуға болады

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

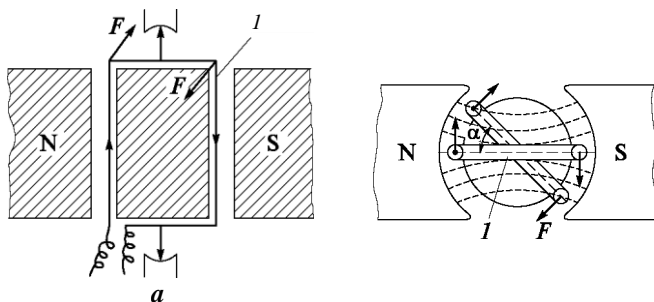
онда B — саңылаудағы индукция; I — жиектемедегі ток күші; w — жиектеменің айналымдар саны;

l — жиектеменің тік жағының ұзындығы.

Күштер жұбы F айналым кезеңін жасайды

$$M_{вр} = Fa, \quad (3.2)$$

онда a — жиектеменің еніне тең жұптың иығы.



3.7-сурет. Магниттік электрлік өлшеу механизмінің әрекет қағидасы:

a — кесіктегі механизм сызбасы; *б* — үстінен қарағандағы механизмнің түрі; *l* — токпен жылжымалы жиектеме.

Өрнекке (3.2.) мағынаны F қоя отырып, формуладан аламыз

$$M_{a\ddot{u}n} = BIwa = BIws,$$

онда s — жиектеме ауданы, $s = la$.

Серіппемен жасалған қарсы әрекет етуші кезең

$$M_{np} = Wa,$$

онда W — серіппенің серпілмелі қасиеттерімен анықталған салыстырмалы қарсы әрекет ететін кезең; a — жылжымалы жүйенің бұрылыс бұрышы.

Орнатылған ауытқу айналу мен қарсы әрекет етудің теңесу кезеңінде болады:

$$M_{a\ddot{u}n} = M_{np}. \quad (3.3)$$

Екі кезең үшін де өрнектерді теңдестіре отырып, мынаны аламыз

$$BIwS = Wa,$$

$$\text{одан } a = \frac{BIws}{W}, \text{ немесе } a = S_1 I.$$

Көлем, $S = \frac{\alpha}{I} = \frac{Bws}{W}$, ауытқу бұрышы, өлшем тоғының бірлігіне сәйкес, *тоқтың сезімталдығы* деп аталады.

Магниттік электрлік өлшеу механизмінің ток сезімталдығы тұрақты (тоққа да, ауытқу тоғына да тәуелді емес) көлем болып табылатындықтан, ауытқу бұрышы a өлшенетін тоққа I сызықты байланыста және магниттік электрлік өлшеу механизмінің шкаласы тең мөлшерлі.

Тоқ I бағытының, күш бағытының F (3.7-суретке қарыңыз) және айналу кезеңінің өзгеруі кезінде олар кері қарай өзгереді, сондықтан магниттік электрлік механизм тұрақты тоқты өлшеу үшін ғана жарамды.

Ортаңғыны немесе әрекет етуші тұрақты тоқ мағынасын өлшеу үшін магниттік электрлік механизмді түзетуші құрылғыны үйлестіруімен қолдануға болады.

Магниттік электрлік өлшеу механизміндегі тыныштандыру магниттік индуктивтік түрге жатады. Осы мақсат үшін арнайы құрылғы талап етілмейді, өйткені тұрақты магнит өрісіндегі жиектеменің қозғалысы кезінде жиектеменің айналымдарында, сонымен қатар оның металл қаңқасында тоқтар индукцияланады, олардың өзара әрекеттесу нәтижесінде магнит өрісімен тыныштандырушы кезең жасалады.

Магниттік электрлік өлшеу механизмнің мынадай қасиеттері бар:

- 1) Тек тұрақты тоқ өлшеу үшін пайдаланылады;
- 2) Барлық шкала бойынша (шкаланың теңмөлшерлігі) сезімталдықтың тұрақтылығы бар;
- 3) Тоқты жиектемесі бар өлшеу механизмімен тікелей өлшеу, ол тіректерде кернмен бекітілген, жоғары шекпен шектелген, ампер үлесінен аспайды, ол үлкен тоқ кезінде тоқ өткізгіштердің жанып кетуі қауіптілігі туатынына және төменгі шекпен, миллиампер үлесінің тәртібінен аспайтынына байланысты, өйткені аз тоқ кезінде айналмалы кезеңнің мағынасы тіректегі үйкеліс кезеңімен салыстырмалы болады. Өлшеу шегінің жоғарылауы қосымша түрлендіргіштерді талап етеді, ал осы шектің төмендеуі жиектеменің кергіге немесе аспаға бекітуіне көшуді қажет етеді;
- 4) Өз жұмысы үшін энергияны аз тұтынатынымен сипатталады, ал бұл қуатсыз тізбектерде өлшеу үшін маңызды шарт болып табылады.

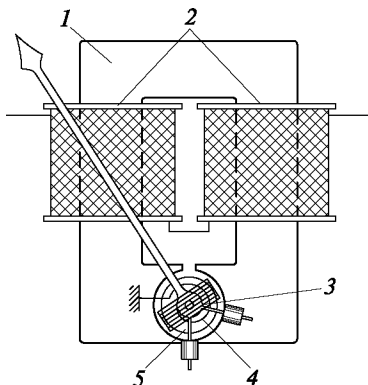
3.3. Ферродинамикалық өлшеу механизмдері

Ферродинамикалық өлшеу механизмдерінің құрылғысы 3.8-суретте көрсетілген. Бұл механизм магниттіку электрлік өлшеу механизмінен ерекше, ондағы магнит ағымы тұрақты магнитпен емес, электр магнитімен жасалады. Бұғаудан 1 және біліктен 5 құрылатын электрлік магниттің магниттік тізбесі гистерезис пен құйын тоқтардағы аз шығыны бар жұмсақ табақты құрыштан немесе сығымдалған ферромагниттік ұнтақтан орындалған.

Бұғауға киілген катушкадағы тоқ әуе саңылауында бір мөлшерлі радиалды өріске әкеледі, онда жылжымалы катушка (жиектеме) 3 орналасқан.

3.8-сурет. Ферродинамикалық өлшеу механизмі:

1 — бұғау; 2 — катушкалар; 3 — жылжымалы катушка (жиектеме); 4 — тоқ өткізгіштер (серіппелер); 5 — білік



Қарсы әрекет етуші кезең жиектемеге тоқ өткізуге бір уақытта қызмет ететін серіппемен 4 жасалады.

Ферродинамикалық өлшеу механизмі ауыспалы тоқты өлшеуге қолданылады.

Тоқтың жиектемедегі және ағымдағы шапшаң мағынасы кезінде айналмалы шапшаң мағына үшін өрнекті мына мағынада жазуға болады

$$M_{врt} = B_t s w i_p,$$

онда B_t и i_p — саңылауда және токта магниттік индукцияның шапшаң мағынасына сәйкес; s и w — жиектемедегі айналымдар ауданы мен саны.

Пайымдайтын болсақ $B_t = B_{max} \sin \omega t$, B_{max} — саңылаудағы максималды индукция; ω — ауытқу бұрышы, онда $i_p = I_{pmax} \sin(\omega t - \psi)$, I_{pmax} — жиектемедегі максималды ток; ψ — жиектемедегі ток пен арасындағы фаза бойынша жылжу.

Механизмнің жылжымалы бөлігі өзінің инерциялығынан айналмалы кезеңнің шапшаң өзгеруінің артынан ілесе алмайды және оның ауытқуы кезеі T бойы айналмалы кезеңнің орташа мағынасына тепе-тең болады:

$$\begin{aligned} M_{вр.ср} &= \frac{1}{T} s w \int_0^T B_{max} \sin \omega t I_{pmax} \sin(\omega t - \psi) dt = \\ &= \frac{1}{T} B_{pmax} I_{pmax} s w \int_0^T \sin \omega t \sin(\omega t - \psi) dt = \frac{1}{T} \frac{T}{2} B_{max} I_{pmax} s w \cos \psi. \end{aligned}$$

Әрекет етуші мағына көше отырып, мынаны аламыз

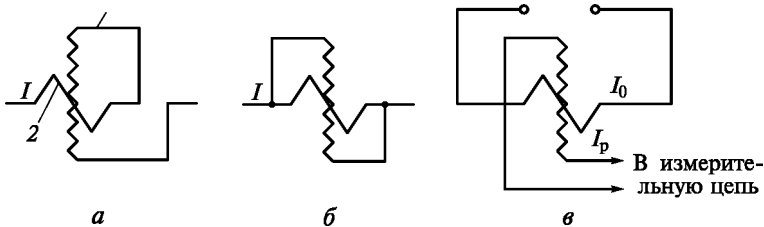
$$M_{вр.ср} = \frac{s w B \sqrt{2} I_p \sqrt{2}}{2} \cos \psi = B s w I_p \cos \psi.$$

Серіппемен жасалған қарсы әрекет етуші кезең

орт.айн

$$M_{пр} = W a,$$

онда W — серіппенің қарсы әрекет етуші салыстырмалы кезеңі; a — жылжымалы бөліктің ауытқу бұрышы.



3.9-сурет. Ферродинамикалық өлшеу механизмiнiң катушкалардың бiрiккен жерлерiнiң сызбасы:

a — ретiмен; *b* — параллель; *v* — тәуелсiз; 1 — жиектеме; 2 — козу катушкасы

Орнатылған ауытқудың айналмалы және қарсы әрекет етушi кезеңнiң теңесуi кезiнде орны болады.

$$BswI_p \cos \psi = Wa,$$

одан

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

Өйткенi индукция саңылауда жылжымайтын катушкада тоққа, яғни $B = k_1 I_1$, то

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

бұнда тоқ күшi жылжымайтын катушкаларда; I_p — тоқ күшi жиектемеде.

Өлшеу механизми катушкаларының мiндетiне байланысты козу 2 мен жиектеме 1 өзара ретiмен (3.9-сурет, *a*), параллель (3.9-сурет, *b*) қосылысуы немесе өлшеу тiзбегiнiң әртүрлi учаскелерiне қосылуы мүмкiн (мысалы, ваттметр жағдайында).

Егер козу катушкалары өлшеу тiзбектерiне байланысты қуат алса және оған тек өлшеу механизминiң жиектемесi (3.9-сурет, *v*) қосылса, онда формула (3.4) әдiл. Бұл жағдайда ($a = f(I_p)$) өлшеу механизминiң шкаласы теңмөлшерлi болады.

Катушкаларды ретiмен бiрiктiру кезiнде (3.9, *a* суретке қараңыз) $= I_p = I$, онда I — өлшiнетiн тоқ пен $\cos \psi = 1$, сондықтан

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

Катушкаларды параллель бiрiктiру кезiнде (3.9, *b* суретке қараңыз) катушкадағы тоқтар өлшенетiн тоққа тең $I_1 = k_3 I$, онда

$$\alpha = \frac{k_1 k_2 k_3 s w}{W} I^2 \cos \psi = \frac{k s w}{W} \cos \psi I^2, \quad (3.6)$$

k_1, k_2, k_3 — коэффициенттер тепе-теңдігі.

(3.5) мен (3.6) формулалар шкала теңмөлшерлі еместігін көрсетеді. Ферродинамикалық механизмнің мынадай қасиеттері бар:

1) Жылжымалы жүйенің ауытқу бұрышы катушкалар бойынша жүретін ауыспалы тоқтың әрекет етуші мағынасын тепе-тең;

2) шкала теңмөлшерлі немесе теңмөлшерлі емесе болуы мүмкін;

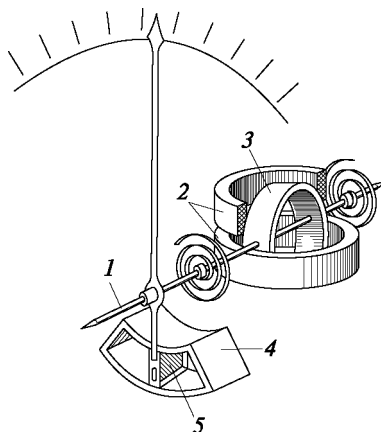
3) тоқты тікелей өлшеу тәуелсіз қозу және жиектемелерді кернеуге бекіту кезінде магниттік электрлік құрылығысы сияқты ампер үлесінен аспайтын жоғарғы шекпен, төменгі шек – миллиампер үлесінің тәртібімен шектелген. Қозу және жиектеме катушкаларын параллель біріктірген кезде жоғарғы шек 5-10 А жетеді. Өлшеу шегінің жоғарылауы қосымша түрлендірушілерді талап етеді;

4) тәуелсіз қозу кезінде қуатты тұтыну магниттік электрлік қуатты тұтынуға ұқсас; жиектеме мен қозу катушкаларын ретімен немесе параллель біріктіру кезінде қуатты тұтыну өседі.

3.4. Электрдинамикалық өлшеу механизмдері

Электрдинамикалық өлшеу механизмдері екі катушка бойынша тиісінше жүретін екі ток өрісінің өзара әрекетіне негізделген:

жылжымайтын 2 және жылжымалы 3 (3.10-сурет). Жылжымайтын катушканы екі бөлімнен орындайды, олардың арасынан өтпелі ось 1 жүреді, оған жылжымалы катушка бекітілген. Қарсы әрекет етуші кезең серіппемен жасалады, ол сонымен қатар жылжымалы катушкаға ток өткізу үшін қызмет етеді.



3.10-сурет. Электродинамикалық өлшеу механизмі: 1 — ось; 2 — жылжымайтын катушка; 3 — жылжымалы катушка (жиектеме); 4 — тыныштандыру камерасы;

Әдетте электрдинамикалық механизмдерінде әуе тыныштандырушылары қолданылады, өйткені магниттік индукциялық тыныштандырушыларды қолдану кезінде катушкалардың салыстырмалы әлсіз өрісі магнит тыныштандырушысының өріс таратуымен бұрмалануы мүмкін (3.10-сурет). 4 цифрімен тыныштандырушы камерасы, ал 5 цифрімен оның қанаты белгіленген. Бұл механизмде жылжымалы катушка теңмөлшерлі емес өрісте орналасқан, сондықтан жылжымалы катушкаға әсер ететін айналмалы кезең катушкалардың өзара орналасуына байланысты.

Бұл жағдайда айналмалы кезеңнің өрнегін жалпы түрде кез келген электрмеханикалық құрылғының жылжымалы кезеңі электрмагниттік энергия құрылғысы үлкен болу үшін орналастыруға ұмтытылуынан алуға болады. Сонымен бірге айналмалы кезең электрмагниттік энергияның A_e а жылжымалы бөлігінің бұрыштық жылжуы кезіндегі өзгеру жылдамдығымен анықталады:

$$M_{\text{вп}} = \frac{dA_e}{d\alpha}.$$

Тоғы бар екі катушқадан тұратын электрмагниттік механизм L_1 мен L_2 мына түрде ұсынылуы мүмкін

$$A = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M_{12} I_1 I_2,$$

онда L_1 мен L_2 — жылжымайтын және жылжымалы катушкалар индуктивтігі.

Өйткені L_1 мен L_2 катушкаларының индуктивтігі бұрылыс кезінде жиектемелері өзгермейді, олардың туындылары бұрыш бойынша a нөлге тең. Онда

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

Сондықтан айналмалы кезең I_1 мен I_2 тоқтарына ғана байланысты емес, сонымен қатар катушкалардың өзара орналасуына, яғни жылжымалы катушкалардың ауытқу бұрышына байланысты.

L_1 мен L_2 тоқтары бағыттарының бір уақытта өзгеруі кезінде айналмалы кезең бағыты өзгермейді, сондықтан электрдинамикалық өлшеу механизмі тұрақты тоқта да ауыспалы тоқта да қолданыла алады. Бірақ ауыспалы тоқтағы өлшеу кезінде кейінгі өрнек I_1 мен I_2 тоқтарының шапшаң мағынасы үшін ғана әділ болады.

Ферродинамикалық құрылғылар үшін келтірілген пікірлерді басшылыққа ала отырып, айналмалы кезеңнің мағынасы уақытына орташаны аламыз (ол жылжымалы бөліктің ауытқу бұрышын анықтайды):

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

онда ψ — I_1 мен I_2 арасындағы фаза бойынша жылжу Серіппелермен жасалған қарсы әрекет етуші кезең мынадай болады:

$$M_{\text{қар}} = W\alpha,$$

онда W — серіппенің салыстырмалы қарсы әрекет етуші кезеңі. Орнатылған ауытқу теңестіру кезінде болады

$$M_{\text{айн}} = M_{\text{қар}}$$

Немесе

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

одан

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

Егер жылжымайтын және жылжымалы катушкалар ретімен немесе параллель, онда

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

онда I — тоқтың өлшеу мағынасы; k_1, k_2 — тепе-теңдік коэффициенттер.

Электрдинамикалық өлшеу механизмі шкаласының квадраттық сипаты бар. Бірақ катушкалардың дұрыс геометриялық өлшемдерін таңдау және олардың бастапқы өзара орналасуы кезінде айналмалы кезең іс жүзінде шкаланың маңызды учаскесіндегі бұрылыс бұрышына байланысты болмайтындай ауытқу бұрышына тәуелділігіне қол жеткізуге болады. Катушкаларды өлшеу тізбегінің әртүрлі учаскелеріне қосу кезінде өлшеу механизмінің шкаласы іс жүзінде тең мөлшерлі сипат алады.

Электрдинамикалық өлшеу механизмдерінің мынадай қасиеттері бар:

1) тұрақты токта да ауыспалы токта да өлшеу үшін қолданылады. Ауыспалы токта бұл механизмдер әрекет етуші мағынаны өлшейді;

2) шкала сипаты теңмөлшерлі емес; электрдинамикалық өлшеу механизмін ваттметрде қолданғанда шкала іс жүзінде теңмөлшерлі болады;

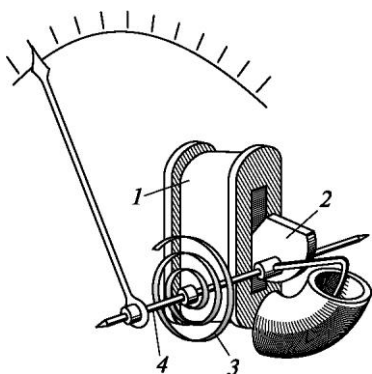
3) Токты тікелей өлшеу әдетте 5А (10 А сирек), құрайтын жоғарғы шекпен және 30-60 мА құрайтын төменгі шекпен аяқталады.

Өлшеу шегінің жоғарылауы қосымша түрлендіргіштерді пайдалануды талап етеді;

4) қуатты тұтыну біршама үлкен. Мысалы, өлшеу шегінің 5 А кезінде қуатты тұтыну 5 Вт жетеді, ол магниттік электрлік өлшеу механизмінің қосымша түрлендірушісінен (шунт) сол өлшеу шегінде шамамен 20 есе артық.

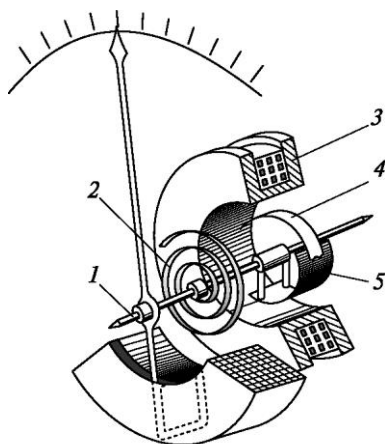
3.5. Электрмагниттік өлшеу механизмдері

Электрмагниттік өлшеу механизмдерінің кеңінен таралған түрлерінің әрекет ету және құрылыс қағидасы 3.11-суретте (тегіс катушкамен) және 3.12-суретте (дөңгелек катушкамен) көрсетілген. Тегіс катушқасы бар механизмде өлшетін ток (3.1-сурет), жылжымайтын катушка 1 бойынша ағып, оған магниттік өріс тесігін жасайды, соның әсерімен 4 оське бірқилы отырғызылған ферромагниттік білік 2 осы магниттік өрісті күшейту үшін орналасуға ұмтылады. Басқаша айтқанда, білік 2 катушканың тесігіне тартылады. Осте біліктің бірқилы бекітілуінің арқасында катушканың тесігіне тартыла отырып, нұсқар бекітілген оське бұрылады. Қарсы әрекет ететін кезең серіппемен 3 жасалады. Өлшенетін ток арқылы жасалған жылжымайтын катушка 3 бойынша жүретін өрістегі дөңгелек катушқасы бар механизмде (3.12-сурет) екі ферромагниттік білік орналасады.



3.11-сурет. Тегіс катушқасы бар электрмагниттік өлшеу:

1 — жылжымайтын катушка; 2 — ферромагниттік білік; 3 — қарсы әрекет етуші серіппе; 4 — ось



3.12-сурет. Дөңгелек катушқасы бар электрмагниттік өлшеу:

1 — ось; 2 — қарсы әрекет етуші серіппе; 3 — жылжымайтын катушка; 4 — жылжымайтын білік; 5 — жылжымалы білік

Білік 4 катушканың ішінде жылжымайтындай бекітілген, ал жылжитын білік 5 осьпен 1 бекітілген. Екі білік те катушканың өрісі әсерімен магниттеледі, нәтижесінде жылжымалы білік 5 жылжымайтын біліктен алыстайды, осылайша ось 1 нұсқармен және тыныштандырушы қанатымен бірге бұрылады. Қарсы әрекет етуші кезең серіппемен 2 жасалады.

Бұл механизмдерде әуе тыныштандырушысы жиі қолданылады, өйткені магниттік индукциялық тыныштандырушыны пайдалану кезінде катушканың әлсіз меншікті өрісіне қатысты магниттің тарату өрісімен бұрмалану болуы мүмкін.

Білікті жылжыту кезінде катушканың магниттік өрісінің күш сызықтарының конфигурациясы өзгереді, сондықтан айналмалы кезең катушкаға (тегіс катушканы пайдалану кезінде) немесе жылжымайтын білікке (дөңгелек катушканы қолдану кезінде) қатысты жылжымалы біліктің орналасуына байланысты.

Айналмалы кезеңге өлшеу механизмінің жылжымалы бөлігінің ауытқу бұрышы әсер етеді.

Ауытқу бұрышының катушка бойынша жүретін өлшенетін токқа I байланыстылығын алу үшін айналмалы кезең үшін жалпы өрнекті пайдаланамыз:

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

Бұнда тоғы бар бір катушканың электромагниттік энергиясын A_e мынадай формуламен көрсетуге болады:

$$A_e = \frac{1}{2} LI^2,$$

бұнда L — катушка индуктивтігі

Онда

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

Ток бағытының керіге ауысуы кезінде білік қайта магниттеледі және катушканың тесігіне тартылады, яғни, айналмалы кезеңнің бағыты өзгеріссіз сақталады. Электромагниттік өлшеу механизмдері тұрақты токта да ауыпалы токта да қолданылады. Ауыспалы токтағы өлшеу кезінде (3.7) тек айналмалы кезеңнің шапшаң мағынасы мен ток үшін әділ болады. Ауытқу бұрышы орташа ретінде айналмалы кезең мағынасы кезеңінде T анықталады:

$$M_{\text{вп}} = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} \frac{1}{T} \int i^2 dt = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha},$$

бұнда I^2 тоқ мағынасының әрекет етуші квадраты, $\frac{1}{T} \int i^2 dt$.

Серіппемен жасалған қарсы әрекет етуші кезең,

$$M_{\text{кар}} = W\alpha,$$

бұнда W — салыстырмалы қарсы әрекет етуші кезең.

Жылжымалы бөліктің орнатылған ауытқуы айналмалы және қарсы әрекет етуші кезеңдердің теңесуі кезінде пайда болады.

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

одан

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

Сондықтан электрмагниттік өлшеу механизмінің шкаласының сипаты теңмөлшерлі емес. Білік формасының таңдау жолымен аз тоқ кезінде осы көбейткіш айналмалы кезеңді ұлғайтуы, ал көп тоқ кезінде азайтуы үшін dL/da өзгертуге болады. Сонда оның маңызды учаскесінде теңмөлшерліге жақын шкала алуға болады.

Бірақ шкаланың басында бөлу әдетте сығылған.

Электрмагниттік өлшеу механизмдері мынадай қасиеттермен сипатталады:

1) Тұрақты токта да ауыспалы токта да қолданылады. Ауыспалы токта бұл механизмдер әрекет етуші мағынаны өлшейді;

2) Шкала сипаттамасы теңмөлшерлі емес, оның басында бөлу қатты сығылған, бірақ кейінгі (шамамен) шкаланың үштен екі бөлігін теңмөлшерліге жақын етіп жасауға болады.

3) Токты тікелей өлшеу шамамен 100 А дейін мүмкін болады. Өлшеу шегін әрі қарай көбейту қосымша түрлендірушілерді пайдалауды талап етеді;

4) Қуатты тұтыну біршама жоғары. Мысалы, өлшеу шегі 5А тең кезде қуатты тұтыну 2-5 Вт жетеді.

3.6. Электрстатикалық өлшеу механизмдері

Электрстатикалық механизмдер екі немесе бірнеше зарядты денелердің өзара іс-қимылына негізделген. Осы денелердің бірі қозғалмалы орындайды және оның орнын ауыстыру зарядталған денеден пайда болған, электр өрісі энергиясының өзгерісін туындатады.

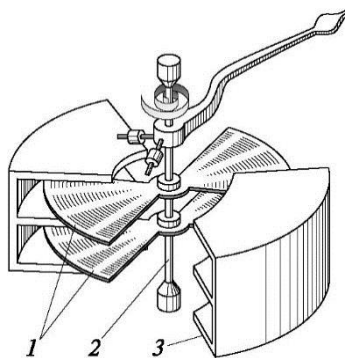
3.13-сурет. Электрстатикалық өлшеу механизмі:

- 1 — қозғалмалы алюминийлі пластиналар;
2 — осі; 3 — жылжымайтын камералар

Зарядталған денелердің осындай жүйесіндегі электр өрісінің энергиясы келесі теңдеумен белгіленеді:

$$A_e = \frac{1}{2} CU^2,$$

мұндағы C — зарядталған денелер жүйесінің сыйымдылығы; U — денелерге қосылатын кернеу (бұл жағдайда өлшенетін)



3.13-суретте электрстатикалық өлшеу механизмінің ең көп таралған түрінің құрылғысы көрсетілген. Электрстатикалық өлшеу механизмінің бұл түрінде сыйымдылық конденсатор жүйесін құрушы электродтардың (пластин) жұмыс шегінің өзгеруі нәтижесінде өзгереді. Механизм 2 оське (немесе аспаға) бекітілген 3 қозғалмалы камерадан және 1 жылжымалы алюминийлі пластинадан тұрады. Өлшенетін кернеу жүйе сыйымдылығы ең көп болатындай орналасуға тырысатын, яғни жылжымалы пластиналар камера ішінде жылжитын, қозғалмалы камераларға және жылжымалы пластинаға шығарылады.

Қарсы іс-әрекет ететін сәтте аспа немесе иірілмелі серіппе көмегімен жасалады. Бағындырғыштар ретінде жеңіл, сондай-ақ магнитиндукциялық бағындырғыштарды да қолданады.

Айналдыру кезін келесідей формуламен өрнектеуге болады:

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

Өрнек тұрақты, сондай-ақ ауыспалы кернеу үшін де әділ, әрі $m U$ — өлшенетін ауыспалы кернеудің қолданыстағы мәні. Қарсы әрекет ету кезі

$$M_{np} = Wa,$$

мұндағы W — салыстырмалы қарсы әрекет ететін кезі

Белгіленген ауытқу a екі кездің теңелуі кезінде орын алады:

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

қайдан

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

Электрстатикалық өлшеу механизмдер тұрақты, сонымен бірге ауыспалы кернеуді өлшеу үшін де қолданылуы мүмкін. Ауыспалы токта бұл механизмдер қолданыстағы кернеу мәнін көрсетеді.

Шкала сипаты, осы өрнектен көргеніміздей (3.8), ауытқымалы болып табылады. Өлшенетін кернеудің ауытқу бұрышының квадраттық тәуелділігін едәуір дәрежеде тиісті тең пластина пішінін таңдауына жақындатуға болады.

Электрстатикалық өлшеу механизмдерінің келесідей қасиеттері болады:

1) қолданыстағы ауыспалы кернеудің мәнін өлшей отырып, тұрақты, сонымен бірге ауыспалы токта да қолданылады;

2) шкала сипаты ауытқымалы болып табылады және электродтар формасына мықтап бағынышты болады. Электродтардың өзгермелі жұмыс шегімен бірге құрастырылым іс жүзінде тең шкаламен орындалуы мүмкін;

3) көп камералы өлшеу механизмдері үшін, өлшенетін кернеудің төменгі шегі (3.13-суретті қараңыз) 20 В дейін азаюы мүмкін. Электрстатикалық өлшеу механизмдерінің өлшеу шегін ұлғайту қосымша түрлендіргіштердің көмегімен мүмкін болады;

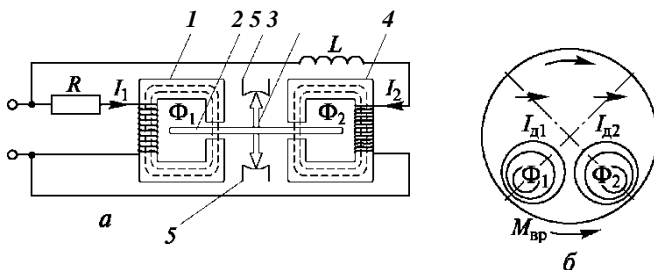
4) іс жүзінде қуатты тұтынбайды, себебі электродтар арасындағы ток өте аз. Бұл жағдай әсіресе аз қуатты тізбектер кезінде мәнді артықшылық болып табылады.

3.7. Индукциялық өлшеу механизмдері

3.7. Индукциялық өлшеу механизмдері ауыспалы магнит өрістері мен тоқтардың қозғалмалы бөлігінде (әдетте алюминийлі дискіде) осы өрістермен өтіп, индукцияланатын өзара іс-қимылына негізделген. Осылайша, механизмдердің әрекет ету қағидатының өзінен шығатыны, олардың тек ауыспалы токқа ғана жұмыс істей алуында.

Ауытқу бұрышының шарғыдағы токқа тәуелдігіне 3.14-суретте бейнеленген өлшеу механизмінің мысалын келтіруге болады.

3.14, а суретте I_1 және I_2 ауыспалы тоқтармен түзілген Φ_1 және Φ_2 ауыспалы ағындар, 2. алюминийлі дискіні түйреп өтеді. Осы ағындар полюсінің іздері диск хордасының бойына орналасады. Алюминийлі дискіден басқа, индукциялық өлшеу механизмдері 1 және 4 электрмагнитті, айналдыру дискісінің 3 осін және 5 оның тірегін қосады. 1 электрмагнит орамына R қосымша резистор, ал 4



3.14-сурет. Индукциялық механизм құрылығының қағидаты: *a* — механизм сызбасы; *б* — дискідегі тоқтар мен магнит ағындарының сызбасы; 1, 4 — электрмагниттер; 2 — алюминийлі диск; 3 — дискіні айналдыру осі; 5 — ось тірегі

3.14, б суретте дискідегі Φ_x және Φ_2 тоқтары мен магнит ағындарының сызбасы; I_{d1} және I_{d2} — Φ_1 және Φ_2 ағындарымен түзілген дискідегі тоқтар; $M_{вр}$ — айналдыру кезі көрсетілген.

Ауыспалы ағындар мен тоқтың өзара іс-қимылының F күші мәнінің орташа кезеңін мынадай формуламен өрнектеуге болады

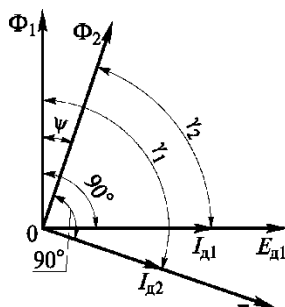
$$F_{ср} = \Phi I \cos \gamma, \quad (3.9)$$

мұндағы γ — Φ ағыны мен I тоқ арасындағы фаза бойынша жылжуы

3.15-суретте осы ағындармен дискіде индукцияланатын Φ_1 және Φ_2 ағындарының және тоқтарының векторлық диаграммасы келтірілген.

I_1 тоғымен түзілетін Φ_1 ағыны E_{d1} фазасы бойынша сәйкес келетін, дискіде I_{d1} тоғын түзетін, дискідегі E_{d1} электр қозғаушы күшін индукциялайды. I_2 тоғымен түзілетін Φ_2 ағыны міндетті түрде Φ_1 ағынына қатысты фаза бойынша жылжуы қажет. I_1 тоқ тізбегіне R белсенді кедергісі, ал I_2 тоқ тізбегіне — L индуктивтілігінің қосылуына байланысты, ол Φ_1 — бұрышынан артта қалды делік (3.14, а суретіне қараңыз).

Φ_2 ағыны дискіде I_{d2} тоғын түзетін I_{d2} электр қозғаушы күшін индукциялайды. Дискідегі екі ағын және тоқтардың екі жүйесі төрт F күшін түзуі қажет болатын, алайда Φ_x ағынының I_{d1} тоғымен өзара іс-қимылы, Φ_2 ағынының I_{d2} тоқтарымен өзара іс-қимылы сияқты, (3.9) формулаға сәйкес, күш түзбейді, себебі олардың арасындағы фаза бойынша жылжуы 90° және $\cos \gamma = 0$ тең болады.



3.15-сурет. Индукциялық өлшеу механизмінің векторлық диаграммасы

Демек, айналдыру кезін түзетін екі күш қалады:

$$F_{cp1} = \Phi_1 I_{d2} \cos \gamma_1; \quad M_{вр1} = k_1 \Phi_1 I_{d2} \cos \gamma_1;$$

$$F_{cp2} = \Phi_2 I_{d1} \cos \gamma_2; \quad M_{вр2} = k_2 \Phi_2 I_{d1} \cos \gamma_2.$$

$$\gamma_1 = \frac{\pi}{2} + \psi \text{ и } \cos \gamma_1 = -\sin \psi, \quad \text{а } \gamma_2 = \frac{\pi}{2} - \psi \text{ и } \cos \gamma_2 = \sin \psi.$$

$$M_{вр1} = -k_1 \Phi_1 I_{d2} \sin \psi;$$

$$M_{вр2} = k_2 \Phi_2 I_{d1} \sin \psi.$$

Осы өрнектерден көріп отырғанымыздай, дискіде әрекет ететін $M_{вр1}$ және $M_{вр2}$ кездерінің әртүрлі белгілері болады. Алайда, әртүрлі нақты белгілердің арқасында екі кезде де оны бір жағына айналдыра отырып дискіге әрекет жасайтын болады. $M_{вр1}$ және $M_{вр2}$ кездеріндегі әртүрлі белгілер тек бір тоқ контурының онымен бірге өзара әрекет ететін өріс бойынша тартылатыны, ал екінші контур онымен бірге өзара әрекет ететін өрістен итеріп шығаратыны жайлы куәландырады.

I_{d1} тоқ контуры Φ_2 ағына тартылды делік, сонда $M_{вр}$ айналдыру кезі дискіні сілтегішпен 3.14, б суретте көрсетілген бағытта айналдыратын болады. Сонда I_{d2} тоқ контуры сол бағытта айналдыру кезін түзетін Φ_1 ағынынан итеріп шығарылатын болады. Осылайша, дискіде әрекет ететін жиынтық кезін мынадай формуламен өрнектеуге болады

$$M_{вр} = -k_1 \Phi_1 I_{d2} \sin \psi + k_2 \Phi_2 I_{d1} \sin \psi. \quad (3.10)$$

Егер Φ_1 және Φ_2 ағындары синусоидалық өзгертін болса, онда дискіде осы ағындармен индукцияланатын ЭДС қолданыстағы мәні келесідей формулалар бойынша анықталады:

$$E_{d1} = 4k_f f \Phi_{1\max} = k_3 f \Phi_1; \quad E_{d2} = 4k_f f \Phi_{2\max} = k_4 f \Phi_2,$$

мұндағы $k/$ — кысық форма коэффициенті; f — жиілік; $\Phi_{1\max}$ және $\Phi_{2\max}$ — ағындардың ең жоғарғы мәндері.

Егер дискідегі тоқ кедергісін тек белсенді деп қабылддасақ, оны онда былай жазуға болады

$$I_{d1} = k_5 f \Phi_1; \quad I_{d2} = k_6 f \Phi_2.$$

Онда (3.10) өрнегі оған I_{d1} және I_{d2} және тұрақты коэффициенттері үшін өрнектерді алмастырып қойғаннан кейін, мына түрде болады

$$M_{вр} = M_{вр1} + M_{вр2} = k f \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi.$$

Егер Φ_1 және Φ_2 ағындары олардың тоғына тепе-тең түзілетін болса, онда

$$M_{вр} = kfI_1I_2\sin\psi.$$

Индукциялық өлшеу механизмдерінің келесідей қасиеттері болады:

- 1) тек ауыспалы токпен ғана жұмыс істей алады;
- 2) тек қана электр энергиясын өлшеу үшін, яғни ауыспалы ток есептеуіштерінде қолданады.

3.8. Логометрлік өлшеу механизмдері

Логометрлер деп екі токтың немесе кернеудің қатынасын өлшейтін аспаптарды айтады.

Логометрдің өлшеу механизмдері, егер ондағы қарсы әрекет ететін кезде механикалық (серіппемен немесе кергімен) емес, айналдыру кезі сияқты жолмен жасалатын болса ғана кез келген бұрын сипатталған өлшеу механизмдеріне қызмет ете алады. Осылайша, логометрде бір-біріне қарсы бағытталған, екі бірдей түзілетін моменттің орны болуы қажет. Логометрлерді өлшеу механизмдері құрастырылымдылық қатынаста екі қозғалмалы (немесе жылжымайтын) шарғының болуымен және серіппенің болмауымен сипатталады.

Егер логометрді өлшеу механизміндегі шарғылар механизмнің қозғалмалы бөлігі болып табылса, онда тоқты шарғыға жеткізу жұқа (3-5 мкм) мұқият жасытылған күміс немес алтын ленталардан орындалған, «моментсіз» деп аталатын тоқжолдары арқылы жүзеге асырылады.

M_1 және M_2 арқылы логометрді өлшеу механизмінде түзілетін моменттерді белгілейік. Сонда жалпы жағдайда былай жазуға болады:

$$M_1 = k_1 I_1^n f_1(\alpha); M_2 = k_2 I_2^n f_2(\alpha),$$

мұндағы I_1 және I_2 — тиісті шарғылардағы тоқтар; $n = 1$ немесе $n = 2$ өлшеу механизмі әрекетінің қағидатына байланысты; α — ауытқу бұрышы.

Себебі моменттер бір-біріне қарама- қарсы бағытталса, онда белгіленген ауытқу мынадай кезде басталады

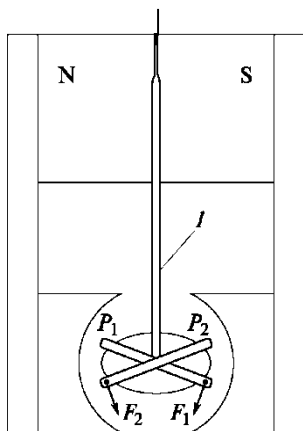
$$M_1 - M_2, \text{ немесе } k_1 I_1^n f_1(\alpha) = k_2 I_2^n f_2(\alpha),$$

бұдан

$$\left(\frac{I_1}{I_2} \right)^n = k \frac{f_2(\alpha)}{f_1(\alpha)},$$

егер шарт қамтамасыз етілсе

$$f_1(\alpha) \neq f_2(\alpha). \tag{3.11}$$



3.16-сурет. Магнитэлектрлік логометр:

1 — ось

(3.11) шарты қозғалмалы бөлік қалпының екі моментпен әртүрлі байланысу талабын білдіреді.

Ең көп таралғаны магнитэлектрлік логометрлер

(3.16-сурет). Олардың қозғалмалы бөлігі 1 оське мықтап бекітілген, P_1 және P_2 екі кәсектен тұрады. Ауа саңылауындағы өріс бірдей болмайды, себебі өзегі және полюстік ұштары центрлестік емес.

Сондықтан F_1 және F_2 күштер, сондай-ақ осы күштермен түзілетін M_1 және M_2 моменттер қозғалмалы бөліктің бұрылысы кезінде, бірдей өзгермейді. Кәсекте ток болмаған кезде, қозғалмалы бөлігі кез келген қалыпта бола алады, ал сілтегіш шкаланың кез келг бөлігінде болады.

3.9. Өлшеу тізбектері

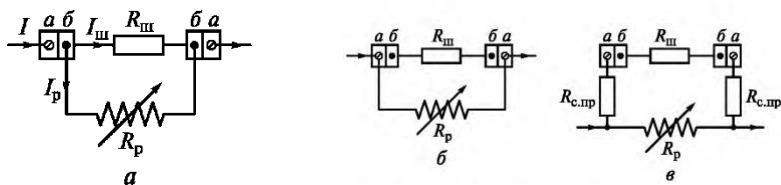
Электр шамаларын электрге түрлендіруді әдетте жоғарғы кернеу, жоғарғы жиілік және т.б. тізбектегі кез келген токты өлшеу үшін қолданады.

Түрлендіргіштер не болмаса өзіндік құрастырылымдар ретінде, не болмаса өлшеу механизмімен салыстырылып орындалуы мүмкін. Мұндай түрлендіргіштерді пайдалану аспаптардың пайдаланушылық сипаттарын кеңейтеді.

Электр өлшеу техникасында пайдаланатын электр шамаларын электр түрлендіргіштерге: тұйықтағыштар, қосымша резисторлар, қосымша конденсаторлар, кернеу бөлгіштері (резистордағы және сыйымдылықтық), өлшеуші, айырушы және үйлестіруші трансформаторлар, түзеткіштер жатады.

Түрлендіргіштерді қарастыру кезінде түрлендіргіштердің бүтіндей аспаптың қасиетіне әсерін бағалауға көмектесе алатын параметрлеріне, әсіресе өлшеу нәтижесінің дәлдігіне және өлшеу диапазонына көңіл аударған жөн.

Тұйықтағыштар. Оларды өлшеу механизмін тоқ бойынша өлшеу шектерін кеңейту үшін қолданады және өлшеу механизмі қатарлас қосылатын резистор құрайды. (3.17-сурет, а).



3.17-сурет. Тұйықтағышты қосу сызбасының үлгісі :
a — дұрыс; *б, в* — дұрыс емес; *а — а* — тоқ қысқыштары; *б — б* — әлеуетті қысқыштар

3.17-суретте белгіленгендерге сәйкес былай жазуға болады

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

Мұндағы I_p — кәсектегі өлшенетін ток; $I_{ш}$ — тұйықтағыш арқылы өтетін, өлшенетін ток; $R_{ш}$ — тұйықтағыш кедергісі; R_p — өлшеу механизмі кәсектерінің кедергісі.

Бұдан

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

мұндағы I — өлшенетін ток.

Әдетте L_T тұйықтағыш кедергісі Y_K , өлшеу механизмі кәсегінің кедергісіне қарағанда, едәуір аз, сондықтан I өлшенетін токтың көп бөлігі тұйықтағыш арқылы өтеді:

$$R_{ш} = I_p R_p / I.$$

$I_p R_p = I_T R_T$ мәні, яғни өлшенетін токтың атаулы мәні кезінде тұйықтағыштағы кернеудің азаюы стандартталған болып табылады және 45, 75, 100 немесе 150 мВ құрайды. Кернеудің азаюы және өлшенетін токтың атаулы мәні үнемі тұйықтағышта көрсетіледі.

Тұйықтағыштар жеке және калибрленген болып бөлінеді. *Жеке тұйықтағыштар* өздері онымен градусталатын өлшеу механизмдері үшін ғана жарамды. Бұл жағдайда тұйықтағышты берілген кернеудің азаюына дәл шақтау талап етілмейді. *Калибрленген тұйықтағыштар* жоғарғы дәлдікпен берілген кернеудің азаюына шақталады және атаулы ауытқу кезінде осындай кернеу азаюы болатын, кез келген өлшеу механизмімен жұмыс үшін жарамды.

Әр тұйықтағыш екі қысқыш жұбымен жабдықталады (3.17, *a* суретін қараңыз). Қысқыштардың бірінші жұбы (*a — а*) өлшенетін ток тізбегіне тұйықтағышты қосу үшін қызмет етеді және *тоқ қысқыштары* деп аталады. Қысқыштардың екінші жұбы

(б— б) өлшеу мехнизмінің тұйықтағышына қосылады және *әлеуетті қысқыштар* деп аталады.

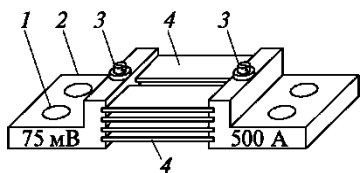
3.17, б және в суретінде тұйықтағыштың дұрыс қосылмау үлгісі келтірілген, себебі өлшеу механизмін осылай қосу кезінде байланыстағы (3.17, б суретті қараңыз) кернеудің азаюын және $R_{снр}$ жалғағыш сымдардағы (3.17, в суретті қараңыз) кернеудің $I_{ш}R_{ш}$ азаю шамасына қарағанда артығырақ өлшейді.

Тұйықтағыштар өлшеудің аз шектеріне қарағанда әдетте аспаптың корпусының ішінде монтаждалады, ал үлкен тоқтарға – өлшеу механизмiнен жеке, мысалы 500 А арналған тұйықтағыш (3.18-сурет). Тұйықтағыштың кедергісі 4 манганин сымынан, қызыл мыстан шығатын ұштарына 2 күміс дәнекерден жапсырылған лентадан немесе пластинадан орындалады.

Ішкі тұйықтағыш аспап корпусының ішіндегі қысқыштармен бірге қалыпқа бекітіледі. Жеке тұйықтағыш өлшеу механизмiне калибрлеу сымдарымен қосылады. Бұл сымдар 3 әлеуетті қысқыштарға қосылады. Тұйықтағышты өлшеу механизмiне кездейсоқ сымдармен қосу кәсек тізбегі кедергісінің өзгеруіне әкеліп соғуы мүмкін. Сәйкесінше, тұйықтағыш пен кәсек арасындағы өлшенетін тоқты қайта бөлу аспаптың қателігін ұлғайтуы мүмкін. Тұйықтағышты өлшенетін тізбекке қосу 1 саңылау арқылы өтетін бұрандаманың көмегімен жекелеген тұйықтағыштарда жүргізіледі.

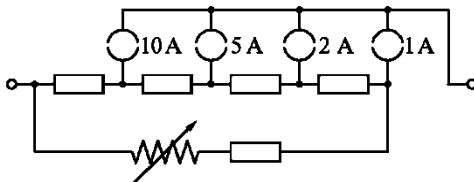
Тасымалды (зертханалық) аспаптар көп шекті калибрленген тұйықтағышпен жиі жабдықталады. Осындай тұйықтағыш сызбасының үлгісі 3.19-суретте ұсынылған. Өлшеу шегін ауыстыру тиісті ұяға орналасатын штепсельмен жүзеге асыралады.

Іс жүзінде тұйықтағыштың көмегімен өлшеу шектерін кеңейту тек тұрақты тоқ кезінде ғана мүмкін, себебі ауыспалы тоқта тұйықтағыш пен өлшеу мехнизмі арасындағы өлшенетін тоқты қайта бөлу оның тұрақты тоққа кедерегілерімен ғана емес, сонымен бірге жиілікке қатысты реактивті (индуктивті) кедергілермен де белгіленетін болады.

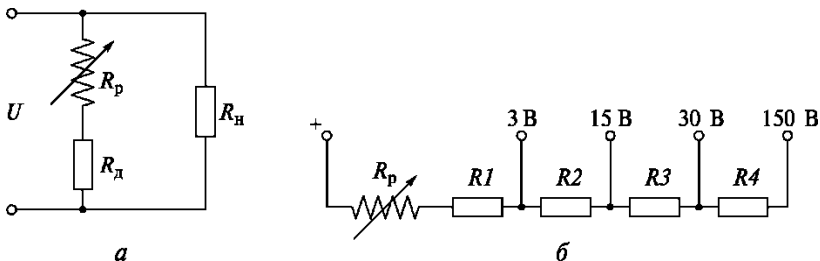


3.18-сурет. Тұйықтағыш 500 А:

1 — өлшенетін цепті тұйықтағышқа қосу үшін саңылау; 2 — шығатын ұштары; 3 — әлеуетті қысқыштар; 4 — тұйықтағыштың кедергісі



3.19-сурет. Көп шекті тұйықтағыштың сызбасы



3.20-сурет. Қосымша резисторды қосу сызбасы:
 а — R_H жүктемесіне қатарлас; б — көп шекті вольтметр үшін

Қосымша резисторлар. Барлық өлшеу механизмдері (электрстатикалықтан басқасы) өзінің әрекет ету қағидаты бойынша кәсектегі не болмаса шарғыдағы I тоқтың (немесе токтардың) а ауытқу бұрышына тәуелдігімен сипатталады, яғни барлық механизмдер, мәні бойынша, амперметрлер деп аталады. Алайда, өлшеу механизмдерінің кез келгенін кернеуін өлшеу қажет болатын сол тізбек учаскесіне оны қатарласа қосып, U кернеуін өлшеу үшін де пайдалануға болады. 3.20, а суретте қосымша резисторды L_H жүктемесіне қатарлас қосу сызбасы ұсынылған.

Егер тоқты өлшеу механизмінің атаулы мәнін I_H арқылы, ал өлшенетін кернеудің атаулы мәнін U_H арқылы белгілесе, онда вольтметрдің барлық тізбегінің кедергісі былай болады:

$$R_V = U_H / I_H \quad (3.12)$$

Алайда, өлшеу механизміндегі R_p кәсегінің кедергісі, әдетте қажетті R_V мәніне қарағанда, едәуір аз болады. Осының салдарынан R_p кезекпен бірге манганин сымымен оралған осындай R^{\wedge} мәнінің қосымша кедергісі қосылады, онда мына теңдеу куәландырылады (3.12):

$$R_p + R_d = U_H / I_H$$

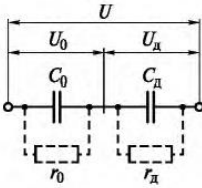
бұдан

$$R_d = \frac{U_H}{I_H} - R_p.$$

3.20, б суретте бірнеше резисторлардан тұратын, қосымша кедергімен бірге көп шекті вольтметрдің (3, 15, 30 және 150 В арналған) сызбасы ұсынылды. R1-R4 сызда — қосымша резисторлар.

Көбінесе қосымша резисторлар аспап корпусының ішіне орналасады. Көп шекті қосымша резисторлар кейде аспаптан жеке де, яғни меншікті корпусымен шығарылады.

3.21-сурет. Қосымша конденсаторды қосу сызбасы



Қосымша конденсаторлар. Бұларды ауыспалы токқа арналған электрстатикалық өлшеу механизмінің өлшем шегін кеңейту үшін қолданады (3.21-сурет).

Егер өлшеу механизмінің оқшаулау кедергісін r_0 және қосымша конденсатор r_d шексіз деп қабылдасақ, онда сыйымдылықты C_0 өлшеу механизмінің қысқышындағы кернеу U_0 мына түрде жазылады

$$U_0 = \frac{1/\omega C_0}{1/\omega C_0 + 1/\omega C_d} U = \frac{C_d}{C_0 + C_d} U$$

мұндағы U — өлшенетін кернеудің жиілігі; C_d — қосымша конденсатордың сыйымдылығы; U_0 — қосымша конденсатордағы кернеу.

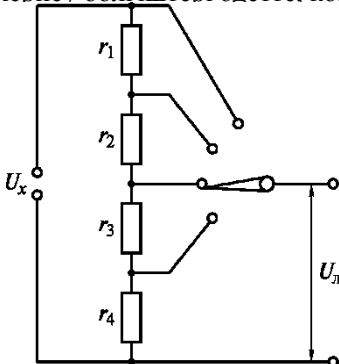
Осылайша

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

онда

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

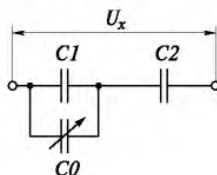
Резистордағы кернеу бөлгіштері. Осындай бөлгіштердің көмегімен кернеу өлшенетін кернеуді белгіленгенге азайтуды, бөлгіштің шығуында өлшеу механизмінің кернеуін өлшеу шегіне сәйкес келетін (немесе аз) мәнді, әдетте 10 еседен бір санды алу үшін жүзеге асырады. Кернеу бөлгіштері әдетте, көп шектілермен орындалады.



3.22-суретте үлгі ретінде U_x өлшенетін кернеуді азайту үшін жоғарғы омық резисторлардағы кернеу бөлгіштері (КБ) қосу сызбасы ұсынылған.

3.22-сурет. Кернеу бөлгішін қосу сызбасы

3.23-сурет. Кернеудің сыйымдылық бөлгішінің сызбасы



$n = U_x / U_n$ аудару көбейткіші деп аталады. Мұндағы U_n — ИП берілетін кернеу.

3.22-суретте r_1, r_2, r_3 және r_4 — КБ кедергілері .

Кернеудің сыйымдылықтық бөлгіштері. Олар кезекпен қосылған конденсаторлар қатарынан және ауыспалы тоқтағы электрстатикалық өлшеу механизміндегі өлшем шектерін кеңейтуге, сонымен бірге жоғары жиіліктегі кернеуді өлшеуге арналған.

3.23-суретте электрстатикалық өлшеу механизмімен салыстырыла қолданылатын сыйымдылық КБ сызбасы ұсынылған. Мұндағы өлшенетін кернеу U_x бөлгішті құрайтын $C1$ және $C2$ конденсаторларына қосылған. $C0$ өлшеуіш механизмі $C2$ қатарласа қосылады, айта кетсек $C2 \gg C0$. Себебі өлшеуіш механизміндегі окшаулау кедергісі тым үлкен, онда

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

сонда

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

Өлшеуіш трансформаторлары. Өлшеуіш трансформаторларын:

1) ауыспалы тоққа арналған жұмыс кезінде өлшеуіш механизмдері мен аспаптарының өлшеу шектерін (тоқ және кернеу бойынша) кеңейту үшін;

2) жоғары кернеу тізбегіндегі өлшеу жүргізу жағдайында — әсіресе міндетті түрде аспаптарға қызмет көрсету қауіпсіздігі көзқарасынан алғанда, өлшеу аппаратурасын жоғарғы кернеуден электрлік окшаулау үшін қолданады. Өлшеуіш трансформаторлары тағайындалуына байланысты, тоқ трансформаторлары және кернеу трансформаторлары ретінде орындалады.

Өлшеуіш трансформаторлары, күштік сияқты бастапқы және қайталама екі орамамен бірге, табақша электртехникалық болаттан (немесе арнайы қорытпадан) шығатын тұйық өзекшені құрайды.

3.24-суретте тоқтың өлшеуіш трансформаторларын және ауыспалы ток тізбегіндегі кернеуді қосу сызбасы көрсетілген. Сызбадағы $X—A$ — желіге қосылған кернеу трансформаторының орама қысқышы; $x—a$ — вольтметрге қосылған кернеу трансформаторының орама қысқышы; $L_1—L_2$ — өлшеу тізбегіне қосылған ток трансформаторының қысқышы; $I_1—I_2$ — амперметрге қосылған ток трансформаторының қысқышы; Z — өлшенетін тізбектегі жүктеме; i_n — өлшенетін кернеу; I_n — өлшенетін ток.

МЕМСТ сәйкес барлық ток трансформаторларына арналған қайталама тоқтың атаулы мәні 5 А тең, ал барлық кернеу трансформаторларына арналған қайталама кернеудің атаулы мәні 100 В құрайды. Бұл ендіше ток өлшеуіш трансформаторлармен жұмыс істейтін амперметрлер тек 5А ғана орындалады. Алайда бұл амперметрлер $K_{ном}$ трансформацияның атаулы коэффициентін ескере отырып, I_1 бастапқы тізбекте өлшенетін тоқтың мәніне градустандыра алады.

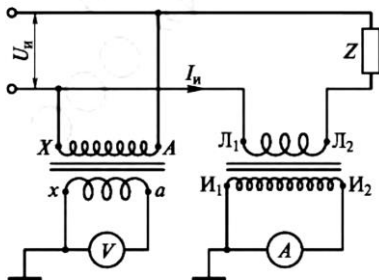
$$K_{ном} = I_{ном} / I_{2ном}$$

Осылайша, мысалы атаулы мәні 1 000 А тең ауыспалы тоқты өлшеу үшін, $K_{ном} = 1\ 000/5 = 200$ тең болатын трансформацияның атаулы коэффициентті ток трансформаторы қолданылады және амперметрдің барлық цифрлық белгілері $K_{ном} = 200$ 5 А көбейтіледі, ал аспап шкаласына «Ток трансформаторымен — 1 000/5» белгілемесі қойылады.

Трансформацияның атаулы коэффициентінің кернеуі өлшеу трансформаторы үшін ұқсас

$$K_{Uном} = U_{1ном} / U_{2ном}$$

Ток өлшеуіш трансформаторларының құрастырылымы тым әртүрлі. Үлгі ретінде 3.25-суретте ток трансформаторы құрылысының сызбасы көрсетілген. Бұл трансформатор бірінші орамамен



3.24-сурет. Тоқты өлшеу трансформаторын және ауыспалы ток тізбегіндегі кернеуді қосу сызбасы

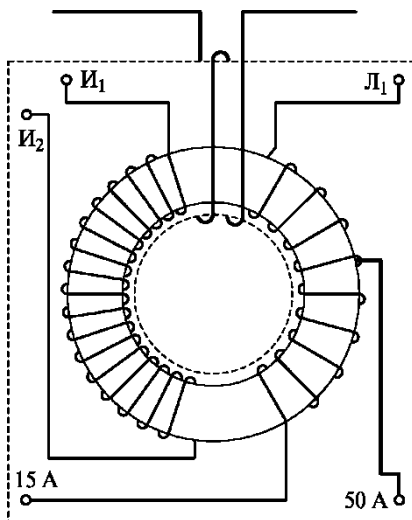
3.25-сурет. Ток трансформаторының құрылымы

(L_1 қысқышы және 15 А және 50А белгіленген қысқыштар) және қайталама орамамен (I_1 және I_2 қысқыштары) бөлімделген, пермаллойдан орындалған, сақиналы біліктен тұрады.

Басқа үлгі токты тізбекті үзусіз өлшеуге мүмкіндік беретін, жалғағыш білікпен бірге ток трансформаторы болып табылады.

Трансформатордың бастапқы орамасы өлшенетін ток өтетін сымның өзін болып табылады. Амперметр (5 А арналған) трансформатордың корпусына орнатылған. Трансформатордың қайталама орамасы бөлімделген, бұл бірнеше өлшеу шектерінің болуына мүмкіндік береді. Мұндай трансформатордың транс қателік қатары 2 %.

100-600 А токтар кезіндегі бастапқы ораманың орамдары



Кернеуді өлшеу трансформаторларындағы қайталама ток әдетте, 20-30 мА аспайтын, ток тұтынысының вольтметрмен (немесе ватметрдің, есептегіштің және т.б. қатарлас орамаларымен) анықталады. Осыған байланысты, кернеу трансформаторы бос жүріс режиміне жақын жағдайда жұмыс істейді.

Қайталама орамаға қосылатын аспаптар қуатының (вольт-амперде) рұқсат етілген мәні үнемі трансформатор қалқаншасында белгіленеді. Сондықтан, бірнеше аспапты кернеу трансформаторына қосар алдында, қатарлас қосылған аспаптар қуаты барын тексеру қажет.

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

Осы трансформаторға арналған рұқсат етілген қуатқа қарағанда, артық. U_2 деп формулада өлшенетін кернеуді айтады; R_2 — қайталама орамаға қосылған кедергі жиынтығы; I_2 — кернеу трансформаторының қайталама орамасына қосылған барлық аспаптар тоғының жиынтығы.

Айырушы трансформаторларды ауыспалы токтың қуат көзінен шығатын токтың кемуін аспаптың өлшеу тізбегінің элементтері арқылы жою үшін қолданады.

Осы тоқ кемулері өлшенетін тоқпен салыстырмалы көрсетілуі мүмкін. Сондықтан өлшеуіш тізбегін мұндай жағдайларда қуат көзінен шығатын өлшеуіш тізбегін оқшаулайтын, айырушы трансформатор арқылы қуат кезіне қосады. Әсіресе, айырушы трансформаторларды аспапты күш желісінен қуаттау кезінде қолдану қажет, себебі мұндай желілер, әдеттегідей немесе жерсіндірілген, немесе жерге қатысты нашар оқшауланған болады.

Ауыспалы тоқты өлшеу кезінде тек жерге арналған нашар оқшауланған тоқтың кемуін ғана емес, өлшеу тізбегінің жекелеген элементтері мен бүтіндей аспап арасындағы сыйымдылықтық байланысы арқылы өтетін тоқтың кемуін ескеру қажет. Әсіресе, мұндай сыйымдылық бөлетін трансформаторлар орамасы арасында болады.

Орамалар арасындағы гальвандық және сыйымдылық байланыстар аз болу үшін, айырушы трансформаторлардағы орамалар бір-бірінен мұқият оқшауланады және металл экранмен бөлінеді.

Айырушы трансформаторлардың трансформация коэффициенті көбінесе бірлікке тең. Тек осындай трансформатор үйлестіруші трансформатордың функциясын орындаған жағдайда ғана, оның трансформация коэффициенті бірліктен үздік таңдалады.

Үйлестіруші трансформаторлар аспаптың бір тармағынан басқасына қуатты аз шығынмен беруді, яғни пайдалы әрекеттің аз ғана коэффициентімен қамтамасыз етеді.

Электртехниканың теориялық негіздерінде күшпен алынатын ең үлкен қуаттың күш кедергісі мен қуат көздерінің ішкі кедергісі тең болған кезде, орын алатыны дәлелденген. Күрделі құрылымдық, яғни өлшенетін шама мен есептік құрылғы арасындағы әртүрлі түрлендіргіштердің үлкен санды аспаптарда, бұл ережені кез келген екі көрші түрлендіргіштер арасындағы байланысқа қолданады, себебі аспаптың эквивалентті сызбасы үнемі бір түрлендіргіш қуат көзін, ал одан кейінгі түрлендіргіш –күшті бейнелетіндей бейнемен бейнелеуге болады.

Алайда, жекелеген түрлендіргіштердің параметрлерін олардың кедергілері бірдей болатындай етіп таңдау әрі есептеу мүмкін бола бермейді. Мұндай жағдайларда да үйлестіруші трансформаторларды қолданады. Егер де, мысалы, қуатты беру төменгі омдыққа жоғарғы омдық түрлендіргіштен түсетін болса, онда олардың арасындағы кедергі бойынша бастапқы орамасы жоғарғы омдық түрлендіргішпен, ал қайталама орамасы (орамдардың аз санымен) – төменгі омдық түрлендіргішпен үйлестіретін түсіруші трансформаторды қосу керек. Үйлестіруші трансформаторларды пайдалану кезінде қуаттың кемуін әдетте, тек трансформатордың өзінің пайдалы әрекеті коэффициентімен анықтайды. Үйлестіруші ретінде қолданылатын шағын трансформаторлардың әдетте, пайдалы әрекетінің коэффициенті

70-75 %. шегінде болады. Алайда, үйлестіруші трансформаторсыз қуаттың кемуі тым көп болар еді.

Бақылау сұрақтары

1. Өлшеу механизмдерінде айналдырушы, қарсы іс-қимыл жасаушы және демфирлеуші моменттер қандай бейнемен жасалады?
2. Өлшеу механизмдері мен аспаптарда аспалар мен есептеуші құрылғыларының қандай түрлері қолданылады?
3. Магнитэлектрлік механизмнің әрекет ету қағидаты неден тұрады?
4. Сызба сызыңыз және ферромагниттік механизмнің жұмыс қағидатын түсіндіріңіз?
5. Электрдинамикалық өлшеу механизмі қалай жұмыс істейді?
6. Сызба сызыңыз және электрмагниттік және электрстатикалық механизмдерінің жұмысын түсіндіріңіз ?
7. Индукциялық өлшеу мехнизмдерінің жұмыс ерекшеліктері қандай?
8. Логометрлердің жұмыс қағидаты неге негізделген? Олардың ерекшеліктері қандай?
9. Тұйықтағыштарды не үшін тағайындайды? Тұйықтағыштардың дұрыс және қате қосылу сызбасын сызыңыз.
10. Қосу сызбасын сызыңыз және қосымша резисторлар, қосымша конденсаторлар және кернеу бөлгіштерінің тағайындалуын түсіндіріңіз.
11. Тоқты және кернеуді өлшеу трансформаторларының айырмашылығы қандай? Оларды қосу сызбасын сызыңыз.
12. Айырушы және үйлестіруші трансформаторлар дегеніміз не?

ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІ

4.1. Электрлік өлшеу әдістерін жіктеу

Кез келген электр шамасының түрін өлшеу дәлдікті талап етеді әрі әртүрлі әдістермен жүзеге асырылуы мүмкін.

Электрлік өлшеу тәжірибесінде негізінен екі әдісті: тікелей бағалау әдісін және тепе-тең әрі әркелкі режимде салыстыру әдісін қолданады.

Тікелей бағалау әдісі шкаласы өлшенетін шама бірліктерімен градусталған аспап көрсеткіші бойынша өлшеу нәтижесін тікелей алуға мүмкіндік береді. Бұл ретте, стандартты өлшем өлшеу бірлігін заттық жаңғырту ретінде өлшеудің өзіне тікелей қатыспайды. Алайда, тікелей бағалау әдісі бойынша жұмыс істейтін аспаптарды градустау кезінде, стандартты өлшемдерді пайдаланды.

Осылайша, тікелей бағалау әдісі стандартты өлшемдерді тек жанама пайдалануды ғана топшылайды, сондықтан осы әдістерге қатысты өлшеу дәлдігі зор болмайды.

Салыстыру әдісі өлшеу процесінде өлшенетін шама стандартты өлшеммен, немесе сол физикалық шамамен, немесе басқа шама өлшемімен жанама салыстырылуымен тұжырымдалады.

Көбінесе өлшенетін шама мен өлшем арасындағы немесе өлшенетін шама мен өлшеммен туындайтын нәтиже арасындағы айырмашылығы нөлге теңелетін, *тепе-тең режимдегі* салыстыру әдісін пайдаланады. Бұл жағдайда салыстыру әдісін әдетте, *нөлдік әдіс* деп атайды. Нөлдік әдістің бір үлгідегі мысалы салмақты таразыда өлшеу болып табылады. Электр өлшеміндегі нөлдік әдіс үлгісі тепе-теңдік туралы нақты бір тізбек бөлігінде тоқтың немесе кернеудің болмауы бойынша жорамалдаудағы тепе-тең төсемелі және өтелмелі әдістер болып табылады. Себебі тоқтың немесе кернеудің болмауы өте сезімтал нөлдік аспаптардың көмегімен үлкен дәлдікпен белгіленуі мүмкін, ондағы салыстыру әдісі тепе-тең режимде тікелей бағалау әдісіне қарағанда, өлшеудің едәуір артық дәлдігін қамтамасыз етеді.

Әркелкі режимде салыстыру әдісі тікелей бағалау әдісімен өлшенетін шама мен көрінеу белгілі шама (өлшем) арасындағы айырмашылықты өлшеу нәтижесін алуға саяды.

Егер бұл айырмашылық өлшенетін шамаға қарағанда неғұрлым аз болса, онда өлшеу нәтижесі шаманы тікелей өлшеу дәлдігіне қарағанда артық дәлдікпен алынуы мүмкін. Айталық, егер өлшенетін шама X (A — белгілі шама) айырмашылығы

$$a = X - A$$

10 есе аз болса, онда a өлшеудегі қателік X өлшеудің 10 есе аз қателігін туындатады. Осылайша, әркелкі режимдегі өлшеу дәлдігін салыстыру әдісіне қатысты, тікелей бағалау және нөлдік әдіс арасындағы аралықтық қалпын алады. Әркелкі режимдегі салыстыру әдісін *дифференциалды әдіс* деп атайды.

4.2. Электрлік өлшеу аспаптарының негізгі құрылымдық сызбасы

Кез келген электрлік ИП өлшенетін шаманың өлшемдік құрылғысы көрсеткішінде біртіндеп түрлендіру өтетін түрлендіргіштер тізбектері ретінде қарастырылуы мүмкін.

Сондықтан *аспап* деп біртұтас бүтіндікке құрастырылып біріктірілгенінен немесе бірнеше жекелеген блоктар түрінде орындалуынан тыс, осы түрлендіргіштердің бүкіл жиынтығын түсіну қажет.

Қазіргі кездегі электрлік ИП құрылымдық сызбалары өте алуан түрлі және кейде күрделі болып табылады. Оларды екі белгілері бойынша бөлуге болады:

1) Өлшенетін шама тектері бойынша (электрлік немесе электрлік емес);

2) 4.1, a , δ суреттерінде келтірілген жіктемеге сәйкес пайдаланатын өлшеу әдісі бойынша;

Электрлік шаманы өлшеуге арналған электрлік аспаптардың құрылымдық сызбалары. Электрлік шаманы өлшеуге арналған электрлік аспаптың қарапайым құрылымдық сызбасы 4.1, a суретте бейнеленген сызба болып табылады. Бұл аспап тек өлшеу механизмінің (ӨМ) өлшемдік құрылғысы көрсеткішіндегі X_3 өлшенетін электрлік шама түрлендіргішінен тұрады.

Өлшеу механизмінің X_3 функциясы болып табылатын a бұрылу бұрышы көбінесе қозғалмалы бөліктің осіне бекітілген және шкала үстіне орналастырылған сілтегіш қалпы бойынша есептеледі. Өлшеу механизмінің шкаласы әдетте өлшенетін электрлік шама бірліктерімен тікелей градустандырылады.

Алайда, көптеген жағдайларда өлшеу механизмінің мүмкіндігі өлшеудің барлық талаптарын, мысалы талап етілетін қуаттың өлшеу шегіне, персоналды жоғарғы кернеу тізбегінен қорғауға және т.б. қатыстыларын қанағаттандыра алмайды. Бұл жағдайда өлшенетін электрлік шама X_3 алдын ала $\Pi_{3\alpha}$ түрлендіргішінде (4.1, б суретті қараңыз) өлшеу механизмінің параметрлеріне сәйкес келетін, U_3 электр шамасына түрленуге ұшырайды.

Электрлік шаманы осылай электрлікке түрлендірушілерге өлшеу трансформаторлары, тұйықтағыштар, кернеу бөлгіштері және ауыспалы тоқты тұрақтыға түрлендіретін қосымша резисторлар жатады (3-тарауды қараңыз). Құрылымдық сызба аспаптары (4.1, а, б суреттерін қараңыз) тек тікелей бағалау әдісі бойынша жұмыс істейді және *тікелей бағалау аспаптары* деп аталады.

Әркелі режимдегі салыстыру әдісі бойынша жұмыс істейтін аспаптың құрылымдық сызбасы 4.1, в суретте ұсынылған. *Өлшенетін электрлік шама X_3* немесе онымен туындайтын нәтиже әдетте *өлшеу тізбегі* ΘT деп аталатын түрлендіргіш және $I_{всп}$ көмекші қуат көзінен алынатын арқылы бірыңғай $X_{3к}$ тұрақты мәнінің X_3 шамасымен бірқатар тізбек бөлігінде компенсацияланады.

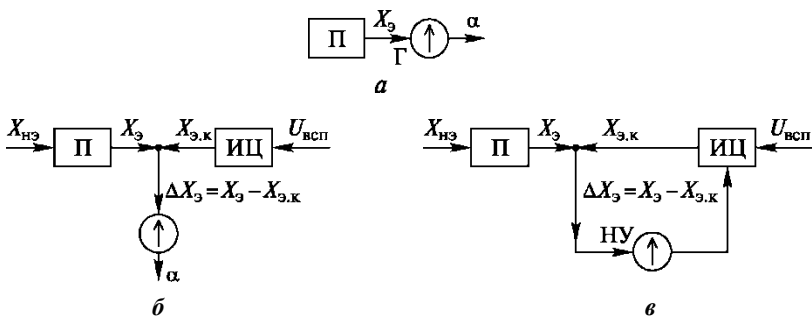
Егер $X_{3к}$ шамасы өлшенетін X_3 шамасын толық компенсацияламаса, онда $\Delta X_3 = X_3 - X_{3к}$ айырмасы Γ , тікелей бағалаудан ИП түседі және осы аспап бойынша есеп ΔX_3 функциясы болады.

Тікелей бағалауды өлшеуіш аспап оны күрделі құрылымдық аспаптардың шығуында пайдаланатын жағдайды бұдан әрі *өлшеуіш* деп атайтын боламыз.

Егер аспап тепе-тең режимде салыстыру әдісі бойынша, яғни нөлдік әдіс бойынша жұмыс істейтін болса, онда оның құрылымдық сызбасын 4.1, г суретіне сәйкес бейнелеуге болады. Бұл жағдайда $X_{3к}$ шамасы



4.1-сурет. Электрлік шаманы өлшеуге арналған аспаптардың құрылымдық сызбасы: а — тек өлшеу механизмімен; б — электрлік шаманы электрлікке түрлендіру; в — әркелкі режимде салыстыру әдісі бойынша; г — тепе-тең режимде салыстыру әдісі бойынша; д — автоматты теңестіру



4.2-сурет. Бейэлектрлік шаманы өлшеуге арналған аспаптардың құрылымдық сызбасы: *a* — бейэлектрлік шаманы электрлікке түрлендіру және өлшеу мехнизмімен бірге; *б* — бейэлектрлік шаманы электрлікке түрлендіру және әркелкі режимде салыстыру; *в* — бейэлектрлік шаманы электрлікке түрлендіру және тепе-тең режимде салыстыру

өлшенетін шамаға $X_э$ теңелген сәтке дейін өзгереді, бұл туралы тоқтың және нөлдік нұсқағыштың НН көрсеткішінің болмауы куәландыратын болады.

Егер тепе-теңдік жоқ болса, онда $\Delta X_э = X_э - X_э.к$ айырмасы нөлдік нұсқағыш көрсеткіші бойынша табылатын болады. Сонда өлшеу тізбегінің сол немесе өзге параметрлерін өзгертуді тепе-теңдік басталғанға шейін, яғни $X_э = X_э.к.$ тең болғаннан кейін жүргізеді.

Өлшенетін шаманың бірліктерімен градусталатын өлшемдік құрылғы бұл аспаптарда параметрі тепе-тең болғанға дейін реттелетін, өлшеу тізбегінің сол бөлігі болып табылады. Бұл сызбадағы теңдестіру қолмен $i_{көм}$ өзгерту жолымен жүргізіледі.

4.1, *д* суретте көрсетілген сызба бойынша жұмыс істейтін аспапта теңдестіру автоматты түрде жүргізіледі. Теңдестіру болмаған кезде туындайтын $\Delta X_э = X_э - X_э.к.$ сигналдарының айырмасы, оның шығуына өлшеу тізбегінің бөлігі болып табылатын, потенциометрдің қозғалтқышымен механикалық байланысты, кепілді қозғалтқыш КҚ қосылған, U_c күшейткішке түседі. Қозғалтқыш потенциометр қозғалтқышын теңелу басталғанға дейінгі, яғни $X_э = X_э.к.$ тең бағытта ауыстырады. Бұл ретте, $\Delta X_э$ нөлге тең болады және кепілді қозғалтқыш тоқтайды.

Бір мезгілде кепілді қозғалтқыш сілтегішті шкала бойынша ауыстырады. Осылайша, өлшенетін шаманың әр мәні потенциометр қозғалтқыш пен шкаладағы сілтегіштің нақты қалпына сәйкес келеді. Салыстыру аспаптарының негізгі өлшеу тізбектері өтелмелі және төселмелі тізбектер болып табылады.

Бейэлектрлік шамаларды өлшеуге арналған электрлік аспаптардың құрылымдық сызбалары. Бұл сызбалар бұрын қарастырылған сызбаларға ұқсас, олар тек өлшенетін бейэлектрлік шаманы электрлікке түрлендіргіштің болуымен ерекшеленеді.

4.1, б суретте бейнеленген құрылымдық сызба бейэлектрлік шаманы өлшеу кезінде 4.2-суретте ұсынылған сызбаға айналады, ондағы Г өлшеуіш P_{Σ} түрлендіргіш пен ΘM өлшеу механизмін біріктіреді.

4.1, в суреттегі сызба 4.2, б суреттегі сызбаға, ал 4.1, г суреттегі сызба 4.2, в суреттегі сызбаға айналады.

4.3. Көпірлік сызбалар

Көпірлік сызбаларды (R, C, M, L, f) электр тізбектеріндегі параметрлерді және R, C, M, L, f параметрлеріне түрлендіретін, әртүрлі бейэлектрлік шамаларды өлшеуге арналған аспаптарда кең қолданады.

Тұрақты тоқта жұмыс істейтін қарапайым көпірлік сызба үлгісіне арналған көпірлік сызбалардың негізгі қасиеттерін қарастырайық. (4.3-сурет). R_1 - R_4 резисторлары *көпір иіні* деп аталатынды құрайды. Оның біреуі, мысалы R_1 өлшенетін кедергі ($R_1 = R_x$) болып табылады. Көпірдің ab диагоналына кедергісі R_r тең Г(гальванометр) өлшеуіші қосылады. U кернеуімен қуат көзі екінші диагональға, яғни c және d нүктелеріне қосылады.

Көпірдің тепе-теңдік шарты, тоқтың гальва нометр I_r нөлге теңелуі тепе-теңдік болып табылады.

$$R_1 R_4 = R_2 R_3,$$

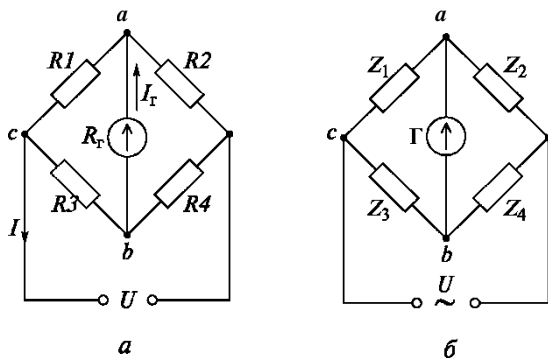
бұдан өлшенетін кедергі шығады $R_x = R_1 = R_2(R_3/R_4)$.

Көпірлік сызбалар әркелкі режимде де, сондай-ақ тепе-тең режимде де жұмыс істейді.

Әркелкі режимде көпір R_x өзгерген кезде кедергінің бастапқы мәні кезіне $R_1 = R_{x0}$ теңеледі, яғни $R_x \neq R_{x0}$ кезінде көпір тепе-теңдіктен шығады да өлшеуіште I_r тоғы пайда болады. Өлшеуіш шкаласы тікелей R_x бірліктерімен градустанады. Бұл ретте I_r ток тек көпір иінінің кедергісінің қатынасына ғана емес, оның қуаттау кернеуінің U немесе I тоқтың мәндеріне де байланысты, сондықтан U қуаттау кернеуінің тербелісі кезінде қосымша қателік туындайды.

Тепе-тең режимдегі жұмыс кезінде көпір кез келген қалған иіндерінің кедергісін өзгерту жолымен R_x кез келген мәні кезінде теңеледі. Қазіргі кезде теңелу процесі теңсіздіктің туындауын бақылайтын құрылғымен жүзеге асырылатын автоматты көпірлерді кең қолданады.

Көбінесе ауыспалы тоқтағы көпірлік тізбектерді қолданады.



4.3 –сурет. Көпірлік сызбалар:
 а — тұрақты ток; б — ауыспалы ток

4.3, б суретте ауыспалы токтың көпірлік тізбегі ұсынылған, мұндағы $a-d$ — көпір нүктесі; $a-b$ — көпір диагонали; Γ — өлшеуіш (гальванометр).

Көпірдің барлық төрт інінде белсенді де, сондай-ақ реактивті де кедергі болды делік. Бұл жағдайда көпірдің теңелу шарты мынадай теңдікпен берілетін болады

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

мұндағы Z_1, Z_2, Z_3 және Z_4 — көпір інінің толық кедергі кешендері

4.4. Тікелей бағалау әдісі бойынша жұмыс істейтін өлшеу аспаптарының дәлдігін бағалау

Тікелей бағалау, абсолюттік әдісі бойынша немесе өлшеудің салыстырмалы қателікпен жұмыс істейтін ИП дәлдігін бағалау мүмкін емес. Мысалы, 100 бөліктік шкаламен бірге 100 А амперметрдегі тірек осіндегі үйкелістің салдарынан қателік бір бөлікке, яғни 1А туындады делік. Себебі үйкелістің қателігі кездейсоқ қателіктерге жағайды және оны шамасы мен белгісі қозғалмалы бөліктің ауытқуына байланысты болмайды, сонда осы аспаппен 90 А тең токты өлшеу кезінде өлшеудің салыстырмалы қателігі, %, мынаны құрайды.

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

Егер осы аспаппен 20 А тең токты өлшесе, онда салыстырмалы қателік, %, мынаны құрайды.

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

Осылайша, осы аспапқа арналған өлшеудің салыстырмалы қателігі қозғалмалы бөліктің ауытқуына байланысты әртүрлі мәні болуы мүмкін. Осыған байланысты, аспаптың сапасын (дәлдігін) X_a аспабының өлшеу шегіне ΔX аспаптың абсолюттік қателігіне қатынасы деп түсінілетін *келтірілген қателік* γ_n деп аталатынмен бағалайды:

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

Қарастырылған үлгіде аспаптың келтірілген қателігі 100 А құрайды, %,

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

Осыдан тікелей бағалаудың кез келген аспабы соңғы үшінші (төртіншісі болса, тіпті жақсы) шкаланың көрсеткішін есептеу кезінде ғана пайдалану туралы маңызды қорытынды жасау қажет.

Сонымен, шкаланың басындағы жұмыс жағдайында тіпті ең жақсы аспаптың салыстырмалы өлшеу қателігі жоғары болуы мүмкін.

Аспаптың сапасын бағалау, оны әртүрлі жағдайларда пайдалану көзқарасынан алғанда аспаптың қателігі бұдан әрі қарастырылатын екі санатқа бөлінеді.

Аспапты әзірлеудегі және құрастырылымының жетілдірілмеуімен белгіленген негізгі қателік аспапты градуостау кезінде орын алған, яғни қалыпты жұмыс жағдайы деп аталатын кезде келтірілген қателік ретінде айқындалады. Қалыпты жұмыс жағдайы деп әдетте, қоршаған ортаның 20°C температурасын (немесе аспап шкаласында көрсетілген температура); 50 Гц жиілігін (немесе аспап шкаласында белгіленген жиілік); шкалада нақты белгімен белгіленген аспаптың қалыпты жағдайын; сыртқы магниттік және электрлік өрістердің және т.б. болмауын айтады.

Аспаптың негізгі қателігінің жиынын құрайтын қателіктер, өзіндік табиғаты бойынша кездейсоқ болып табылады. Басты негізгі қателікті құрайтындарға үйкелістен болатын қателік жатады.

Рұқсат етілген негізгі (келтірілген) қателіктеріне байланысты, аспаптар келесідей сыныптарға бөлінеді: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Әр аспап сыныбы шамасы сынып нөміріне тең болатын, рұқсат етілген мейлінше жоғарғы негізгі қателікті сипаттайды. Аспап сыныбы шкала шеңберінде тиісті цифрмен белгіленеді (2.4-бөлімшені қараңыз).

Қалыпты жағдайдан жаңылумен туындағын қосымша қателіктер, яғни аспаптарды градуостау кезінде орын алған жағдайға, сондай-ақ құрастырылымды жетілдіру және аспаптарды орындау параметрлеріне байланысты болады.

Қосымша қателіктер өз табиғаты бойынша, әдеттегідей, жүйелі болып табылады. Олар да стандартпен нормаланады. Айталық, рұқсат етілген қосымша қателік (келтірілген) әр 10°C қоршаған орта температурасының тербелісінен сынып нөмірінің шамасы бойынша аспауы қажет.

Сыртқы магнит өрісінің әсері келесідей бейнемен нормаланады: 400 A/m қуаттың сыртқы өрісінің әрекеті қорғану санатына байланысты, яғни сыртқы өріс әсерінен қорғанудың құрастырылымдық өлшемдерінен $\pm(0,5-5,0) \%$ аспайтын аспап көрсеткішінің өзгеруін туындатпауы қажет.

$\pm 10 \%$ от 50 Гц жиілік тербелісінен немесе шкалада көрсетілген жиіліктен шығатын қосымша қателік тиісті сынып нөмірі шамасынан аспауы қажет.

4.5. Салыстыру әдісі бойынша жұмыс істейтін өлшеу аспаптарының дәлдігін бағалау

Тепе-тең режимде (нөлдік аспаптар) салыстыру әдісі бойынша жұмыс істейтін ИП дәлдігі туралы мәселені қарастырайық.

ЭҚК және кернеудің кемуін өтемдік әдіспен өлшеу дәлдігі:

жұмыс тізбегінің кедергісін олардың атаулы мәніне шақтау дәлдігімен;

жұмыс тоғын орнату дәлдігімен;

гальванометрдің сезгіштігімен;

тепе-теңдікті реттеудің бірқалыптылығымен, яғни есептеу дәлдігімен (есептелетін белгілер санымен) анықталады.

Жұмыс тізбегінің кедергісін олардың атаулы мәніне шақтау $\pm 0,01 \%$ аспайтын қателікпен орындалуы мүмкін.

Жұмыс тоғының дәлдігін белгілеу жұмыс тізбегі мен гальванометрдің сезгіштігі арасындағы қалыпты элемент қателігімен, кедергіні шақтау қателігімен айқындалады. Егер қалыпты элементті 1 мкА аспайтын тоқтан асырмаса және бөлмелік температура кезінде сақтаса, онда олармен дамытылатын ЭҚК қателігі $\pm 0,01 \%$ аспайтын болады.

Гальванометрдің сезгіштігі жоғары болған сайын, ол тепе-теңдіктің болмауын тез табатын болады және E_x өлшеу дәл жүзеге асатын болады. Гальванометрдің сезгіштігі $0,01 \%$ артық қателікті туындатпауы қажет. Бұл үшін ең төмен ауытқу кезінде гальванометрдегі кернеудің көзбен байқауға болатын кемуі өлшенетін кернеуге қарағанда төрт есе ($10\,000$ есе) аз болуы қажет.

Өтемдік әдіспен әртүрлі шаманы өлшеу дәлдігін $\pm(0,02-0,05)$ % аспайтын қателікпен сипаттауға болады.

Көпірлі тізбекті тепе-тең режимде пайдаланатын аспаптар қалған үш көпір иінінің кедергісін шақтау дәлдігімен, нөлдік сілтегіш сезгіштігімен және есептеу дәлдігімен айқындалатын R_x өлшеу қателігімен сипатталады. Өтемдік тізбектерге сәйкес, бұрын келтірілген пікірлерді қайталай отырып, тепе-тең көпірмен өлшеу қателігі $\pm (0,01- 0,02)$ % дейін төмендеуі мүмкін деген қорытындыға келуге болады.

Әрқелкі режимде жұмыс істейтін көпірлі тізбекті пайдалану кезінде, R_x өлшеу қателігі негізінде өлшеуіш қателігімен айқындалады. Бұл жағдай іс жүзінде $(0,2-0,5)\%$ қарағанда аз қателіктегі әрқелкі көпір дәлдігін шектейді. Алайда, кейбір жағдайларда әрқелкі режимдегі көпірлі тізбектерді пайдалану бейэлектрлік шаманы электрлікке түрлендіргіштердің қосымша қателігін азайтуға мүмкіндік береді. Осындай жағдайларда салыстыру аспаптарын әрқелкі режимде қолдану тікелей бағалау аспабын пайдалануға қарағанда, неғұрлым пайдалырақ.

Бақылау сұрақтары

1. Тікелей бағалау әдісін салыстыру әдісінен қалай айыруға болады? Қай әдіс дәлірек және неліктен?

2. Электр шамасын өлшеуге арналған аспаптардың құрылымдық сызбасын салыңыз және түсіндіріңіз.

3. Электр шамасын өлшеуге арналған аспаптардың құрылымдық сызбасын қалай айыруға болады?

4. Тікелей бағалаудың ИП дәлдігі қандай көрсеткіштермен бағаланады?

5. Аспаптың негізгі және қосымша қателігі дегеніміз не және олар қандай факторлармен айқындалады?

6. Салыстыру әдісі бойынша жұмыс істейтін аспаптардың дәлдігі қалай бағаланады?

ТОҚТАР МЕН КЕРНЕУЛЕРДІ ӨЛШЕУ

5.1. Амперметрлер мен вольтметрлердің бірлігі және айырмашылығы

Кез келген ӨҚ оны пайдалану кезінде өлшеу нысанының параметрлері мен жұмыс тәртібін өзгертпеуге тиіс. Бұл кез келген ӨҚ ұсынылатын негізгі талап, сондықтан, амперметрдің кедергісі мүмкіндігінше аз болуы тиіс, өйткені тізбектегі ток амперметрді қосқанша (5.1-сурет, а).

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

ал қосқаннан кейін

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

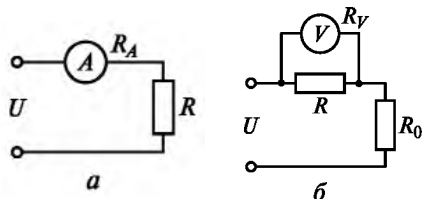
онда U — кернеу тізбегі; R — тізбектер кедергісі; R_A — амперметр кедергісі.

Тек $R_A \ll R$ кезінде $I_x = I_x$ болады.

Вольтметрде, керісінше, мүмкіндігінше үлкен кедергі болуы тиіс. Шынында, кернеудің R кедергіге түсуін кедергі R_A арқылы вольтметр көмегімен өлшеу қажет пайымдаймыз. (5.1-сурет, б). Вольтметрді қосқанша кедергінің R -ге түсуі

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

онда I — тізбектегі ток; U — ток көзінің кернеуі; R_0 — R кедергісіз барлық тізбектің кедергісі.



5.1-сурет. Электр тізбегіне қосу:
а — амперметрді; б —
вольтметрді

Вольметрді қосқаннан кейін мынаны аламыз

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

Егер $R_V \gg R$, онда $U = U_x$.

Сонымен қатар өлшеу механизмі амперметр мен вольметр ретінде пайдаланылуы мүмкін. Өлшеу механизмінің жылжымалы бөлігінің ауытқуы өлшеу механизмі арқылы өтетін токтың тікелей функциясы болып табылады: $a = f(I_V)$.

Өлшеу механизмін қосу кезіндегі ток вольметр ретінде

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

онда U_x — өлшем кернеуі; R_V — өлшеу механизмінің кедергі тізбектері.

Егер $R_V = \text{const}$, онда

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

Осылайша, амперметр мен вольметр арасында түбегейлі немесе құрылымдық айырмашылық жоқ. Олардың айырмашылығы олардың кедергісіне қойылатын талаптардан тұрады, ол өлшеу механизмінің параметрлерінде және құрылғының өлшеу тізбектерінің құрылымында. (сөйлемнің жалғасы?)

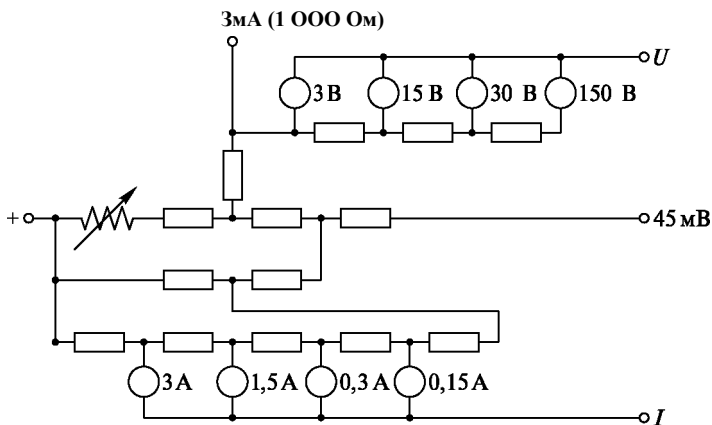
5.2. Тұрақты токтар мен кернеулерді өлшеу

Көп жағдайларда тұрақты токтар мен кернеулерді өлшеу магнитэлектрлік құрылдардың көмегімен жүзеге асырылады.

Магнитэлектрлік амперметрлер тұйық пен милливольтметрдің үйлесуі, ал вольметрлер қосымша кедергісі бар миллиамперметр болып табылады.

Магнитэлектрлік құралдар тура бағалардың ең нақты құралдарына жатады. Олар 0,1; 0,2; 0,5 класты зертханалық құралдар ретінде, сонымен қатар 1,0 және 1,5 класты қалқанды құралдар ретінде шығарылады.

Магнитэлектрлік зерханалық құралдар, ереже бойынша, жан-жақты және көп шекті болып шығарылады. 5.2-суретте өлшеу тізбегінің құрамдас вольметр — амперметр сызбасы келтірілген. Құралды «+» және «I» қысқыштарға қосу кезінде ол 0,15; 0,3; 1,5; 3 А ішкі тұйықты амперметр ретінде жұмыс жасайды.



5.2-сурет. Өлшеу тізбегінің құрамдас вольтметр — амперметр сызбасы

«+» және «0» қысқыштарына қосу кезінде құрал 3; 15; 30; 150 В қосымша кедергісі бар вольтметр болып табылады. «+» и «45 мВ» қысқыштарына номиналды ток кезіндегі кедергінің 45 мВ түсуіне шамаланған жеке (сыртқы) тұйықтарды қосуға болады. «+» и «3 мА» (1 000 Ом) қысқыштарына номиналды ток вольтметрі 3 мА шамаланған жеке (сыртқы) қосымша резисторларды қосуға болады. Өлшеу тізбектерінің қалған резисторлары құралдың температуралық қателігінің компенсациясы үшін қажет.

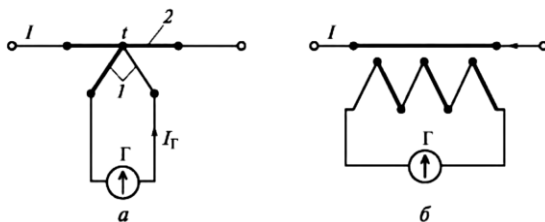
5.3. Ауыспалы тоқтар мен кернеулердің әрекет етуші мағыналарын өлшеу

Электрмагниттік, электрдинамикалық, ферродинамикалық және электрстатистикалық өлшеу механизмдері ауыспалы ток пен кернеудің әрекет етуші мағыналарын өлшеуге қолданылатыны және осы механизмдермен тікелей өлшенетін тоқтар мен кернеулердің жоғарғы шектері көрсетілгендігі туралы бұрын атап айтылған.

Атап айтылған ток бойынша өлшеу механизмдерінің өлшеу шектерін кеңейту тоқтың өлшеу трансформаторлары көмегімен жүзеге асырылады, өйткені бұл механизмдер кедергісінің түсуі магнитэлектрлікке қарағанда бірнеше есе көп, сондықтан тұйықтар ауыр және қымбат болар еді.

Кернеу бойынша өлшемнің шектерін кеңейтуге қосымша кедергілер көмегімен де, кернеудің өлшеу трансформаторларын пайдалану жолымен де қол жеткізуге болады.

Кейінгісі, негізінде, құралдың жоғары кернеу торабынан айыру қажеттігі кезінде қолданылады.



5.3-сурет. Термоэлектрлік құралдар тізбегінің сызбасы:
a — жеке термобу; *б* — батареясы бар термобу; 1 — термобу; 2 — тоқ өтетін терморезистор,

Электрстатикалық өлшеу механизмдерінің өлшем шектерін кеңейту қосымша конденсаторлар көмегімен жүргізіледі.

Электрмагниттік құралдар негізінен 1,5 класты қалқан құралдар ретінде, сонымен қатар 0,5 класты көп шекті зертханалық құралдар ретінде қолданылады. Электрдинамикалық амперметрлер мен вольтметрлер ауыспалы тоқтағы ең нақты құралдар болып табылады.

Олар тек 0,1; 0,2; 0,5 класты зертханалық құралдар ретінде шығарылады.

Электрмагниттік, электрдинамикалық және ферродинамикалық құралдар әдетте не өндірістік жиілікті ауыспалы тоқта, не ауыспалы тоқта бөліктенеді (және тексеріледі). Жоғары жиілікте өлшеу кезінде бұл құралдарда маңызды қателік болады, ол негізінен катушкалардың индуктивтігіне септігін тигізеді. Көрсетілген құралдар жоғары жиіліктегі жұмыс үшін қолданыла алмайды.

Тәжірибеде электрстатикалық вольтметрлер кез келген жиілікте, аз жиілікті қоспағанда (30-40 Гц дейін) қолданылуы мүмкін, өйткені аз жиілікте өлшеу механизмінің және қосымша конденсатордың толық кедергісі Z сыйымдылық кедергісін тұйықтайтын айыру кедергісіне байланысты.

Ауыспалы тоқтар мен кернеулердің әрекет етуші мағыналарын өлшеу үшін сонымен қатар термоэлектрлік құралдар пайланылуы мүмкін. Термоэлектрлік құралдар тізбектерінің сызбалары 5.3-суретте ұсынылған. Термоэлектрлік құралдар өлшенетін ауыспалы ток I өтетін сым (терморезистор) қызуын t өлшеуге қызмет ететін термобумен 1 үйлесетін магнитэлектрлік өлшеу механизм G (5.3, *a* – суретін қар.— жеке термобумен)

Магнитэлектрлік өлшеу механизмінің *a* ауытқу бұрышы термоЭЖК тепе-тең:

$$\alpha = S_i I_{\Gamma} = S_i \frac{E_{\Gamma}}{R_{\Gamma} + R_r} = k E_{\Gamma},$$

онда S_i — тоқтың гальванометрге сезімталдығы; I_{Γ} — гальванометрдің ток термобуы; E_m — термоЭҚК; R_r — өлшеу механизмінің кедергісі; R — термобу кедергісі; k — тепе-теңдік коэффициенті.

ТермоЭҚК термобудың еркін шектері температурасының тұрақтылығы кезінде термобудың жұмыс шегінің температуралық функциясы болып табылады:

$$E_m = f_1(t).$$

Температура t өлшеу тоғымен I бөлінетін, өз кезегінде ток квадратына тепе-тең болатын жылу функциясы болады:

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

сондықтан, a ауытқу бұрышы — $f(I^2)$, яғни ауыспалы тоқтың I әрекет етуші мағынасының функциясы болып табылады.

Шкаланың сипаттамасы дәлме-дәл квадраттық болмайды, өйткені терморезистордың температурасы t сымның жылулық тепе-теңдігімен, яғни, көп факторға байланысты болатын шығарылатын жылу шығынымен анықталады.

Егер өлшенетін ток аз болса, онда термоЭҚК мағынасы да аз болады. Бұл жағдайда бірнеше термобудан батареяны қолдануға болады (5.3-сурет, б).

Бірақ термобу жұмыс шектерінің терморезистормен тікелей байланысы мүмкін емес, өйткені термобулар қысқа тұйықталған болушы еді. Осыған байланысты термобудың жұмыс шегі әдетте шыны тамшылары терморезисторларынан оқшауланады.

Терморезисторды қыздырғыш деп, ал қыздырғыштың термобумен үйлесуін-термотүрлендіргіш жиі атайды. Терморезистор (қыздырғыш) әдетте константаннан немесе платина мен родийдің қорытпасынан орындалады. Термобу ретінде хромель-копель термобуы жиі қолданылады.

Терморезисторлар индуктивтігі өте болмашы, сондықтан термоэлектрлік құралдар жоғары жиілікті токтарды өлшеу үшін негізгі қолданыс алды (мегагерц — МГц).

5.4. Ауыспалы тоқтың орташа және амплитудалық мағыналарын өлшеу

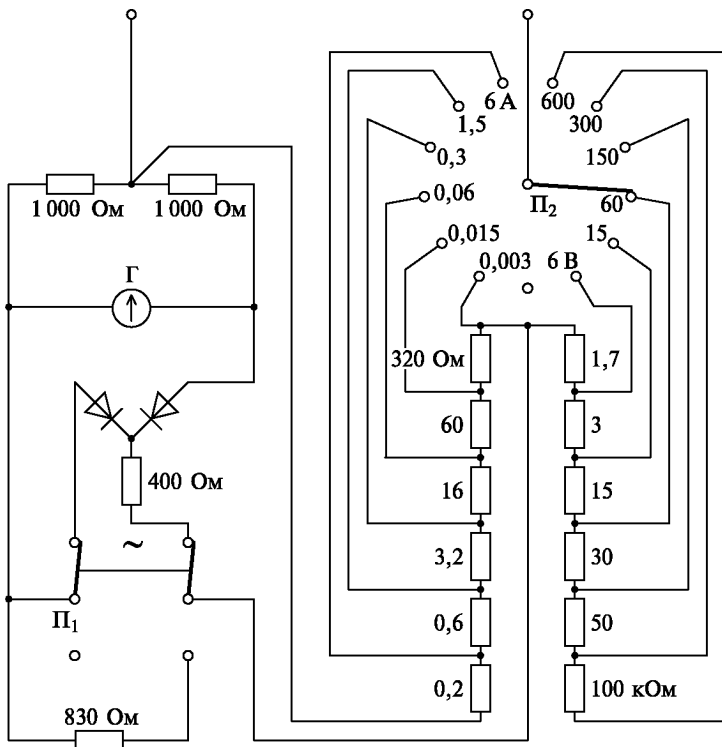
Ауыспалы тоқтың орташа және амплитудалық мағыналарын өлшеу магнитэлектрлік өлшеу механизмінің жартылай өткізгішпен және вакуумды диодтармен, сонымен қатар вакуумды триодпен үйлесімін пайдалану жолымен жүзеге асырылуы мүмкін.

Жартылай өткізгішті диодты құралдар *түзеткіш* деп аталады. Олар ауыспалы тоқтың орташа мағынасын өлшейді. Вакуумды диодты мен триодты құралдар *шамдық* болып табылады. Бірақ сол және басқа құралдар ауыспалы тоқтың әрекет етуші мағыналарында бөліктендіріледі, сондықтан түзеткіш құралдардың шкаласындағы цифрлық белгілер 1,11-ге (синусоид үшін қисық формасының коэффициенті) көбейтілген, ал шамдық құралдар шкаласында - $\sqrt{2}$ -ге (синусоид үшін амплитуданың әрекет етуші мағынаға қатысы) бөлінген.

Түзеткіш құралдар әдетте тұрақты және ауыспалы токтың жан-жақты көп шекті құралдары ретінде орындалады.

5.4-суретте көп шекті түзеткіш құрал тізбектерінің сызбасы көрсетілген.

Сызбада ток аударғыш Π_x өлшеу механизмін түзеткішпен (ауыспалы ток) жұмысқа немесе түзеткішсіз (тұрақты ток) жұмысқа ауыстыруға қызмет етеді.



5.4-сурет. Көп шекті түзеткіш құрал тізбегінің сызбасы:
 Π және Π_2 — ток аударғыш

Ток аударғыш P_2 өлшеу шектерін ток бойынша да, кернеу бойынша да өзгертуге септігін тигізеді. Құралдың ток бойынша өлшеудің алты шегі (0,003; 0,015; 0,06; 0,3; 1,5; 6 А) және кернеу бойынша бірнеше шегі (6; 15; 60; 150; 300; 600 В) бар.

Түзеткіш құралдар ауыспалы тоқ пен кернеудің тек 3-5 мың Гц жиілігіне дейін өлшеу үшін пайдаланылуы мүмкін, өйткені ең жоғарғы жиілік кезінде олардың кері кедергісін тұйықтайтын түзеткіштің сыйымдылық кедергісінде көріне бастайды.

Түзеткіш құралдар тек 1,5, класты құралдардың талаптарын қанағаттандырады. Олар магнитэлектрлік құралдар (3 мВт/В и 75 мВт/А) қанша қуат тұтынса, сонша қуат тұтынады.

6. Шағын тоқтар мен кернеулерді өлшеу. Нөлдік көрсеткіштер.

Шағын тоқтар мен кернеулерді өлшеу қажеттігі электрлік өлшеу тәжірибесінде өте жиі кездеседі. Сонымен бірге екі жағдайды айыруға болады. Бірінші жағдайда тоқты немесе кернеуді сандық өлшеу қажет.

Онда құрал шкаласы ток немесе кернеу бірлігінде ток немесе кернеуге айналатын сол электрлік емес көлемде бөліктендіріледі. Ұқсас құралдардың басты талабы – олардың дәлдігі.

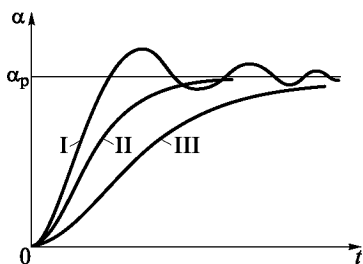
Екінші жағдайда құралдың міндетіне тек тізбектің сол немесе учаскесінде тоқтың болу (дәлірек – оның болмауы) фактісін анықтау енеді, оның нөлдік (тепе-теңдік) тәртіптемеде салыстыру әдісі бойынша өлшеу кезінде орны бар. Ұқсас құралдар *нөлдік көрсеткіштер* деп аталады.

Оларға қойылатын басты талап жоғары сезімталдық болып табылады.

Нөлдік көрсеткіштер дәлдігі іс жүзінде ешқандай рөл атқармайды. Сезімталдықтың жоғарылау шегі нөлдік көрсеткіштердің ауытқуын туғызатын кедергілермен қойылады. Бұл кедергілерге қуат көзі мен қондырғылардың жеке бөліктерін айырудың жетілмегендігімен шартталған тоқтың азаюы, механикалық сілкіністер, ЭҚК және өлшеу тізбектеріндегі катушкалар мен сымдарында ішкі магниттік өрістермен индукцияланатын тоқтар және т.б. жатады.

Нөлдік көрсеткіштер ретінде тұрақты және ауыспалы тоқтың әртүрлі гальванометрлерін, сонымен қатар магнитэлектрлік өлшеу механизмі бар шамдық және фотоэлектрлік күшейткіштерді пайдаланады.

Магнитэлектрлік гальванометр аспадағы жылжымалы жиектеме (немесе магнит) бекітпесі және айналы есебі бар кәдімгі магнитэлектрлік өлшеу механизмі. Гальванометрдің жоғары сезімталдығына негізінен серіппенің қарсы әрекет етуші кезеңінің салыстыруы бойынша аспаның қарсы әрекет етуші кезеңінің күрт төмендеуі есебінен жетуге болады.



5.5-сурет. Гальванометрдің жылжымалы бөлігінің орнатылатын ауытқуға ар қисық қозғалысы:
 I — қисық термемелі қозғалыс;
 II — қисық қауіпті қозғалыс;
 III — қисық аperiодты қозғалыс.

Бірақ сонша аз қарсы әрекет етуші кезеңде тыныштандырушы кезең үлкен рөл атқара бастайды.

Егер жиектеме орамасын алюминий қаңқаға ораса, әдетте бұл кернедегі магнитэлектрлік құралдарында жасалады, онда жиектеме қозғалысы кезінде қаңқада индукцияланатын токтың өзара әрекетімен жасалған тыныштандыру кезеңі тұрақты магнит өрісімен айналмалы немесе қарсы әрекет етуші кезеңге қарағанда едәуір көп. Сондықтан гальванометрдің жиектемесін қаңқасыз орындайды.

5.5-суретте гальванометрдің жылжымалы бөлігінің тепе-теңдік ар. күйіне (яғни, орнатылған ауытқуға) қисық қозғалысы көрсетілген. I қисық кедергі $L_{\text{вн}}$ үлкен болғанда, орын алады. Құралдың бұл жұмыс тәртібі тербелмелі немесе кезеңдік (аяғына дейін тыныштандырылмаған) болып табылады. II қисық жылжымалы бөлігі қозғалысының қауіпті тәртібіне сәйкес келеді, ол кезеңдік және аperiодты тәртіп арасындағы шектес болып табылады.

III қисық аperiодты (қайта тыныштандырылған) деп аталатын қозғалысты көрсетеді, ол аз $L_{\text{вн}}$ мағынасына тән.

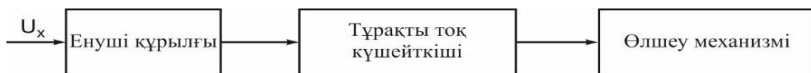
Бір гальванметрде токқа және кернеуге жоғары сезімталдықты іс жүзінде үйлестіру мүмкін емес.

Токқа сезімтал гальванметрлерде әдетте айналымдардың мәнді санын таңдайды, ол жиектеме кедергісі мен тасқын іліністері у санының көбеюіне, демек, қауіпті кедергінің көбеюіне тікелей әкеледі.

Кернеуге сезімтал гальванметрлерде жиектеменің аз кедергісі және аз қауіпті кедергісі бар.

7. Электрондық және цифрлық вольтметрлер

Электрондық ұқсас вольтметрлер. Электрондық вольтметрлерде электрондық түрлендіргіш пен өлшеу механизмі құрастырмалы түрде біріктірілген. Электрондық түрлендіргіш шамдық және жартылай



5.6-сурет. Тұрақты токтың электрондық вольметрiнiң құрылмалы сызбасы.

өткізгіштік болуы мүмкін. Өлшеу механизмі әдетте магнитэлектрлік болып алынады. Электрондық ұқсас вольметрлер кернеу мен жиілікті кең диапазонда өлшеуге септігін тигізеді. Тұрақты токтың электрондық вольметрлері 5.6-суретте ұсынылған сызбада орындалады. Өлшенетін кернеу U_x резисторда көп шекті жоғары омды бөлгіш болып есептелетін енуші құрылғыға беріледі.

Кернеу бөлгіштен тұрақты ток күшейткішіне және әрі қарай өлшеу механизміне түседі. Тұрақты токтың бөлгіші мен күшейткіші әлсізденеді немесе өлшеу механизмінің қалыпты жұмысына қажетті мағынаға дейін күшейеді.

Бір уақытта күшейткіш құралдың енуші тізбегінің жоғары кедергісі мен өлшеу механизмі катушкасының төменгі кедергісінің келістірілуін қамтамасыз етеді. Электрондық вольметрдің енуші кедергісі әдетте бірнеше ондық мега-омды құрайды. Бұл өлшеу нысанынан елеусіз қуат тұтынатын жоғары омды өлшеуге септігін тигізеді.

Тұрақты токтың өлшеу кедергісінің диапазоны – ондық милливольттан бірнеше киловольтқа дейін. Аз кернеуді өлшеу үшін тұрақты токтан ауыспалыға түрленетін микровольметрлерді пайдаланады. Бұндай құралдарда өлшеу дабылының күшеюі ауыспалы токта жүргізіледі, ол күшейту коэффициентінің үлкен мағынасына және сезімталдық шегін бірнеше микровольтқа дейін төмендетуге қол жеткізуге септігін тигізеді. Тұрақты ток электрондық микровольметрiнiң жұмыс диапазоны 10^{-8} бастап 1 В дейін.

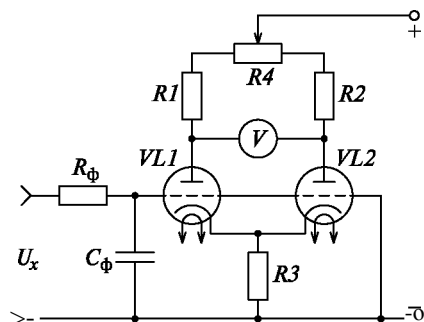
Тұрақты ток электрондық микровольтметрi 5.7-суретте ұсынылған екі құрылымдық сызба бойынша орындалады. 5.7, а суретте сызбада өлшенетін ауыспалы кернеу детектор көмегімен тұрақтыға түрленеді, сосын тұрақты ток күшейткішпен күшейеді және өлшеу механизміне әсер етеді. 5.7, б суреттегі сызбада ауыспалы токта күшейту жүргізіледі (бұл үшін ауыспалы токтың күшейткіші қызметін атқарады), және тек содан кейін ғана алдын ала детектормен күшейтілген дабыл түзетіледі және өлшеу механизмінің нұсқары ауытқиды. 5.7-суреттегі сызбалар бірін-бірі толықтырады. олардың әрқайсысының өз артықшылықтары мен кемшіліктері бар. 5.7, а суреттегі сызба бойынша кең жиілікті диапазоны бар вольметрлер құрылуы мүмкін (10 Гц-1 000 МГц), бірақ әдетте бірнеше ондық үлесті вольттан аз кернеуді өлшеуге қабілетсіз детектор тек едәуір үлкен кернеулерді түзетеді.



5.7-сурет. Тұрақты токтың электрондық вольтметрiнiң құрылымдық сызбасы: *а* — жиiлiк диапазоны бар вольтметрге арналған сызба; *б* — сезiмталдығы жоғары вольтметрлерге арналған сызба.

5.7, б суреттегi сызба сезiмтал вольтметрлердi құруға септiгiн тигiзедi, олардың төменгi өлшеу шегi тек микровольт бiрлiктерiн құрайды. Бiрақ бұл құралдардың диапазоны аз, өйткенi ауыспалы тоғы күшейткiшiнiң жиiлiк диапазонын едәуiр үлкендету қиын.

5.7-суретте келтiрiлген құрылымдық сызбада әр электрондық вольтметр құрамына тұрақты немесе ауыспалы токтың күшейткiшi енедi. Мүмкiн болатын тұрақты ток күшейткiшiнiң сызбасының бiрi 5.8-суретте ұсынылған (қарапайым түрде). Өлшенетiн кернеу U_x триод $VL1$ торына резистор R_ϕ арқылы берiледi, ол конденсатормен C_ϕ бiрге шам торында пульсацияны азайтатын сүзгiш жасайды. Қысқа тұйықталу кiрiсi кезiнде, яғни, кернеудiң U_x болмауы кезiнде екi $VL1$ және $VL2$ шамдары торларының шамасы тең және өлшеу механизмiнiң вольтметрiн V нөлге орнату ауыспалы резистор $R4$ көмегiмен орындалуы мүмкiн. Кернеудiң U_x пайда болуы шамның $VL1$ iшкi кедергiсiнiң өзгеруiне әкеледi. Осының нәтижесiнде сызба теңгерiмi өзгередi, анодтар шамасы тең болмайды және өлшеу механизмiнiң тiзбегi арқылы ток жүредi.



5.8-сурет. Электрондық вольтметрге арналған тұрақты ток күшейткiшiнiң сызбасы.

Бұл тоқтың бағыты мен мағынасы өлшенетін кернеудің U_x белгісі мен мағынасына байланысты. Осылайша, өлшеу механизмінің шкаласы тұрақты тоқ вольтында бөліктендіріледі.

Электрондық вольтметрлердің бірқатар құнды сапалары бар. Олардың үлкен ену кедергісі бар, сондықтан өлшеу жүргізілетін тізбектен аз қуат тұтынады. Олардың жұмыс жиілігінің диапазоны нөлден 100 мегагерцке дейін созылуы мүмкін. Өлшенетін кернеу мағыналары бірнеше вольттан киловольтқа дейін интервалда жатады. Электрондық вольтметрлердің жағымсыз сипаттамасына қуат көздің қажеттігі, электрондық элементтердің (резисторлардың, шамдардың, жартылай өткізгіш диодтардың және триодтардың және т.б.) тұрақтылығының жетіспеушілігімен шартталған жоғары емес дәлдік жатады.

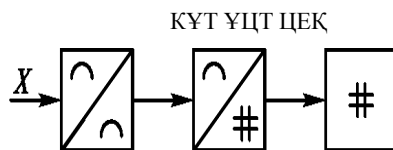
Цифрлық өлшеу құралдары. Өлшеу үдерісінде үздіксіз өлшенетін көлемнің дискреттікке автоматты түрде түрленуін кейін цифрлық есептік құрылғыға өлшеу нәтижесін индикациялау немесе цифр басып шығарушы құрылғының көмегімен оның тіркелуін жүзеге асыратын құралдар *цифрлық өлшеу құралдары* деп аталады.

ЦОҚ функционалды сызбасы 5.9-суретте ұсынылған. Ұқсас көлем алдымен ұқсас кіріс түрлендіру (ҰКТ) арқылы кейінгі түрленуге ыңғайлы түрге түрленеді, сосын ұқсас цифрлық түрлендірушінің (ҰЦТ) көмегімен оның дискреттеуі мен кодтауы жүргізіледі.

Соңында цифрлық есептік құрылғы (ЦЕК) өлшенетін көлем туралы кодталған ақпаратты оператордың санауына ыңғайлы цифрлық есепке айналдырады.

Кейінгі жылдары цифрлық құралдар, әсіресе зертханалық вольтметрлер, амперметрлер, омметрлер, жиілікметрлер және фазометрлер ретінде кең таралды.

Ұқсас құралдармен салыстыру бойынша цифрлық құралдардың мынадай артықшылықтары бар: жоғары дәлдік, кең жұмыс диапазоны, жоғары тезрекеттік, өлшем нәтижелерін оператордың санауына ыңғайлы формада алу, цифрлық түрлендіру және өлшеу апаратын ЭЕМ енгізу мүмкіндігі, жүйелік қателіктерді азайту үшін автоматты түрде түзетулер, автоматтық калибрлеуді, өлшеу үдерісін автоматтандыруды енгізу.



5.9-сурет. ЦОҚ функционалды сызбасы

Цифрлық құралдардың кемшіліктері күрделілік, салыстырмалы жоғары құндылық және ұқсас құралдарға қарағанда дәйектілік болып табылады. Бірақ интегралдық сызбалар техникасының дамуы маңызды түрде көрсетілген кемшіліктерді жоюға септігін тигізеді. Кез келген цифрлық құралдың негізі ретінде ҰЦТ болады, ол ақпаратты дискреттеуді, кванттауды және кодтауды жүзеге асырады.

Дискреттеу дегеніміз уақыттың анықталған дискреттік кезеңінде өлшенетін көлемнің есебін алу үдерісі. Үздіксіз көлем $X(t)$ уақыттың t_k кейбір кезеңдерінен алынған есептеу реті $X(t_k)$. Әдетте уақыт аралығы екі ретті есептеу $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ арасында бірдей тандалынады. бұндай жағдайда дискреттеу қадамы Δt тұрақты деп айтады.

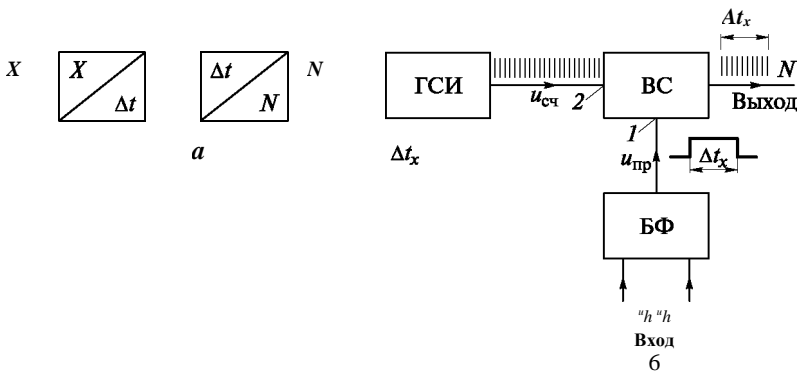
Кванттау көлемнің үздік мағыналарының $X(t)$ оның дискреттік мағынасының X_n соңғы жинағымен ауысуы болып табылады. Осы мағыналардың әрбіреуі бір-бірінен кванттау интервалынан (қадам) қалып қойған, орнатылған кванттау деңгейінің біріне сәйкес келеді. Кейбір ережелерге сәйкес, көлемнің үздіксіз мағыналары, кванттау деңгейінің мағыналарымен ауысады. Мысалы, көлемнің үздіксіз мағыналарының орнына жақын деңгейлердің мағыналары қоса жазылады.

Кодтау дегеніміз көлемнің сандық мағынасын цифр немесе дабылдың белгілі ретімен, яғни кодпен ұсыну үдерісі.

Цифрлық кодты цифрлық есептеу құрылғысына әсер ететін және ЦОҚ көрсеткіштерін қалыптастырушы кернеуге түрлендіру үшін дешифратор деп аталатын құрылғы қолданылады. Дискреттеу және кванттау үдерістері ЦОҚ қателіктерінің негізді көздері болып табылады. Үздіксіз көлемді уақыттың анықталған дискреттік кезеңдерінде саналған мағыналар қатарымен ауыстыру есептеу аралығындағы осы көлемнің беталысы туралы ақпаратты жоғалтуға әкеледі. Бірақ кванттау деңгейінің саны ЦОҚ қателіктерінің себебі болып табылады.

Ұқсас-цифрлық түрлендіргіштер өлшеу түрлендіргіштері болып табылады, олардың мақсаты – өлшенетін ұқсас көлемнің цифрлық код түрі бар дискреттік көлемге автоматты түрде түрлену. Құрастыру әдісіне сәйкес, барлық ҰЦТ үш топқа бөлінеді:

- 1) уақыт-импульстік түрлендіргішпен;
- 2) жиілік-импульстік түрлендіргішпен;
- 3) дәреже бойынша теңдестірумен.



5.10-сурет. Құрылымдық сызбалар:
 а — уақыт-импульстік түрлендіргіші бар ҰЦТ; б — «уақытты интервал-код» түрлендіргіші; 1, 2 — уақытша селектор кірістері

Мысал ретінде уақыт-импульстік түрлендіргіші бар ҰЦТ қарастырамыз. Уақыт-импульстік әдісі негізіне өлшенетін көлемнің уақыт интервалына түрленуі жатады, ол кейін тұрақты жиілік импульстерімен (есеп импульстері) толтырылады. Осы әдісті қолданатын ұқсас-цифрлық түрлендіргіштер уақытша интервалды, кернеуді, жиілікті, фаза түрлілігін және басқа көлемдерді кодқа түрлендіру үшін қолданылады.

Уақыт-импульстік түрлендіргіші бар ҰЦТ қарапайым сызбасы 5.10, а суретте ұсынылған. Сызбаға екі түрлендіргіш енеді. Біріншісі кіріс көлемін X уақыт интервалына Δt , екіншісі уақыт интервалын Δt импульстердің ретіне (цифрлық код) N түрлендіреді.

Егер бірінші түрлендіргіштің құрылымы кіріс көлемінің X түріне байланысты әртүрлі болса, онда «уақыттық интервал-код» түрлендірушінің құрылымы ҰЦТ барлығы үшін бірдей (5.10-сурет, б)

Уақытша интервал $\Delta t_x = t_2 - t_1$ екі қысқа импульстермен беріледі: тіректі u_t (уақыт кезеңінде t_1) және интервалды u_i (уақыт кезеңінде t_2). Бұл импульстер ұзақтықпен $\Delta t_x = t_2 - t_1$ тікбұрышты импульсті u_{i2} өндіретін қалыптастыру блогына ҚБ түседі. Көрсетілген тікбұрышты импульс уақытша селектордың УС 1 кірісіне беріледі. Уақытша селектор кірісіне 2 есептік импульстерінің генераторынан ЕИГ дәлме-дәл анықталған жиілікпен есептік импульсінің $u_{сч}$ реті үнемі түсіп тұрады. Есептік импульстер УС арқылы тек УС тікбұрышты импульспен $u_{тік}$ ашық кезде ғана, яғни уақытша интервал Δt_x бойы өте алады.

Есептік импульстердің ілесу кезеңі $T_{сч} = 1/f_{сч}$ Δt_x карағанда аз тандалатын болғандықтан, УС арқылы өткен есептік импульстер саны N мына формуламен өрнектеледі:

$$N \approx \Delta t_x / T_{сч} = \Delta t_x f_{сч}.$$

Сондықтан $\Delta t = N/f_{сч}$. Осылайша әр уақыт интервалына ҰЦТ, яғни цифрлық кодқа шығу кезінде белгілі сандар импульстерінің реті ұйқастыққа келеді.

Цифрлық есептеу құрылғылары оператордың ондық цифрды есептеуге ыңғайлы кәдімгі түрдегі өлшеу нәтижелерін ұсынуға қызмет етеді. Цифрлық есептеу құрылғысында цифрлық индикаторлардың бірнеше түрлері қолданылады. Газоразрядты, жарықдиодты және сұйықкристалды индикаторлар кең таралған.

Газоразрядты индикаторларда араб цифрлар формасында орындалған сым катодтарының жинағы және жалпы торлы аноды бар.

Катодтар бір пакетке жиналған және тереңдігі бойынша, неонмен толық емес баллонда бірінің-артынан бірі орналасқан. Егер кернеу анодқа және қандай да бір катодқа берілсе, онда олардың арасында жарқыраған сәйкес цифр түрінде жалынсыз разряд пайда болады. Газоразрядты индикаторлардың жұмыс кернеуі 170-200 В құрайды. Бұндай жоғары кернеудегі индикаторлар төмен вольтты интегралды микросызбалармен нашар бірігеді. Бұл олардың негізгі кемшілігі.

Жарықдиодты индикаторларды жартылай өткізгіш инжекционды жарық шығарушы диодтарда қолданады. Жарықдиодтары спектрдің көрінетін бөлігінде сәуле таратады. Сәуле түсі материалға байланысты және іс жүзінде кез келген қызылдан жасылға дейін болуы мүмкін. Бұл түрдегі индикаторлардың әдетте сегменттік құрылымы бар. Осылайша цифр анықталған сегменттердің түссізденуімен қалыптастырылады. Жарықдиодты индикаторлардың құндылығына жоғары ашықтық, үлкен төзімділік, төмен жұмыс кернеуі (бірнеше вольт) жатады. Бірақ бұл индикаторлардың тек кішігірім мөлшерлері бар.

Сұйықкристалды индикаторлар сұйық кристалдар деп аталатын кейбір органикалық заттардың қасиетін, қолданатын кернеу әсерімен сыну коэффициентті өзгертуді қолданады. Құрастырмалы индикаторлар конденсатор түрінде орындалған, оның астары екі шыны пластинкаға мөлдір қабықша түрінде қондырылған өткізгіш электродтар болып табылады. Сұйық кристалдың жұқа қабаты осы пластинкалар арасында орналасқан. Индикаторлар өз энергиясын сәулелендірмейді, олар шағылысқан жарықта кернеу мен фон арасында қондырылған кереғарды пайдалана отырып, жұмыс жасайды. Оның нәтижесінде сұйықкристалды индикаторлар өте үнемді. Бұл индикаторлардың кемшілігі - бейнелеудің алуан түрлілігінің сыртқы жарық бергіштікке, сонымен қатар жоғары емес ашықтыққа тәуелділігі.

Бақылау сұрақтары

1. Амперметр мен вольтметрдің бірлігі мен айырмашылығы неде? Олар қандай параметрлермен ерекшенеді?
2. Тұрақты тоқтар мен кернеулерді өлшеу үшін көп шекті құралдар қалай құрастырылған?
3. Ауыспалы тоқтар мен кернеулердің әрекет етуші мағыналарын қандай құралдармен өлшеуге болады?
4. Ауыспалы тоқтың орташа және амплитудалық мағыналары қалай өлшенеді?
5. Шағын тоқтар мен кернеулерді өлшеу ерекшеліктері қандай? Нөлдік көрсеткіштерге қандай талаптар қойылады?
6. Электрондық ұксас вольтметрлер не үшін қолданылады және қалай жұмыс жасайды?
7. ЦӨҚ жұмыс қағидасы, артықшылықтары және кемшіліктері?

ЭЛЕКТР ҚУАТЫН ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯНЫ ӨЛШЕУ

6.1. Тұрақты және бір фазалы ауыспалы тоқ тізбегіндегі қуатты ваттметрлермен өлшеу

Тұрақты тоқ тізбегіндегі қуатты өлшеу үшін электрдинамикалық ваттметрлерді, ал бір фазалы тоқ тізбегіндегіне — электрдинамикалық (0,2 және 0,5 сыныптық зертханалық аспаптар ретіндегі), ферродинамикалық және индукциялық (1,0 және 1,5 сыныптық қалқандық аспаптар ретіндегі) ваттметрлерді қолданады.

Электрдинамикалық ваттметр үлгісінде барлық ваттметрлерге арналған жалпы қасиеттерін қарастырамыз. Ваттметр ретінде электрдинамикалық өлшеу механизмін пайдалану кезінде, оның шарғысы 6.1-суретте бейнеленген сызба бойынша қосылады. Жылжымайтын 1 шарғының екі жартысы 1 тоқ тізбегіне біртіндеп, ал қозғалмалы шарғы 2 — U кернеуіндегі $R_{ж}$ жүктемесіне қатарлас қосылады. Қосымша кедергі $L_{кос}$ кернеу бойынша ваттметрді өлшеу шегін кеңейтуге қызмет етеді, сондықтан жылжымайтын шарғыны **бірізді**, ал қозғалмалыны —**қатарлас** деп атайды. r_2 көрсеткіші қозғалмалы шарғының кедергісін білдереді.

Бұрын электрдинамикалық өлшеу механизмінің шарғысындағы I_1 және I_2 тоққа ауытқу бұрышын байланыстыру үшін келесідей өрнек алынған болатын:

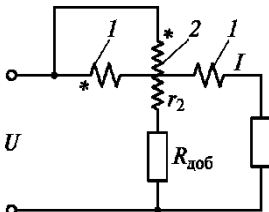
$$\alpha = \frac{c I_1 I_2 \cos(\psi) dM}{W d\alpha},$$

мұндағы c — құрастырылымдық тұрақтылық; ψ — I_1 және I_2 тоқтар арасындағы фаза бойынша жылжу; W — меншікті қарсы әрекет ететін момент; M — бірізді және қатарлас шарғылар арасындағы өзара индуктивтілік.

Егер ваттметр тұрақты тоқ тізбегіне қосылса, онда

$$I_1 = I; I_2 = U/R_2; \psi = 0,$$

$$\text{мұндағы } R_2 = r_2 + R_{д}.$$



6.1-сурет. Электрдинамикалық ваттметрді қосу сызбасы:

1 — жылжымайтын (бірізді) шарғы;
2 — қозғалмалы (қатарлас) шарғы

Сонда

$$\alpha = \frac{cI_1U}{R_2W} \frac{dM}{d\alpha} = KP \frac{dM}{d\alpha}, \quad (6.1)$$

мұндағы K — тұрақты, $K = \frac{c}{R_2W}$; P — қуат.

Егер ваттметр ауыспалы тоқ тізбегіне қосылса, онда фазалық жылжуын ескеру қажет (6.2-сурет). Қозғалмалы шарғының тізбегіндегі шамалы индуктивтіліктің салдарынан ондағы I_2 тоқ ең шағын A бұрышына арналған U кернеуінен қалып қояды. Бірізді шарғыдағы ($I = I$) тоқ және кернеу арасындағы ϕ фаза бойынша жылжу жүктеу сипатымен айқындалады.

Себебі $\psi = \phi - \delta$, онда

$$\alpha = \frac{cIU \cos(\psi - \delta)}{z_2W} \frac{dM}{d\alpha}, \quad (6.2)$$

мұндағы z_2 — қатарлас шарғыдағы кешенді тізбек кедергісінің модулі.

Формулаға $z_2 = R_2/\cos \delta$ қоя отырып (6.1),

$$\alpha = \frac{cIU \cos \delta \cos(\psi - \delta)}{R_2W} \frac{dM}{d\alpha}.$$

аламыз.

Егер 5 шамасын ескеру мүмкін болса, онда

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

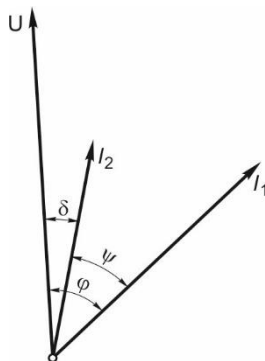
Осылайша, электрдинамикалық ваттметрдің көрсеткіші тұрақты тоқта да, сондай-ақ ауыспалы тоқта да P қуатына тепе-тең болады. Олардың шкалалары іс-жүзінде тең болады.

Егер шарғының біреуіндегі тоқ бағытын қайта ауыстырса, онда

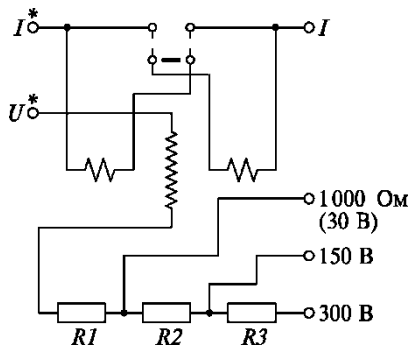
(6.1) немесе (6.2) формуладағы сияқты, ауытқу кері белгіге ауысады, яғни аспап сілтегіші кері жаққа ауытқиды.

Сондықтан, ваттметрді қосу кезінде шарғыдағы тоқтың белгілі бір u , бағытын сақтау қажет.

Шарғы орамының «басын» олардың «ұштарынан» айыру үшін ваттметрде шарғы орамасының «басы» үнемі ерекше «*» (жұлдызша) немесе «+» (қосу) белгілермен белгіленеді. Осы белгімен белгіленген өткізгіштер *генераторлық өткізгіштер* немесе



6.2-сурет. Электрдинамикалық ваттметрдің векторлық диаграммасы



6.3-сурет. Көп шекті электрдинамикалық ваттметр тізбегінің сызбасы

генераторлық қысқыштар деп аталады. Бұлай атау оларды жүктеуге емес, ток көзіне (генераторға) баратын сымға қосылуымен шартталған.

Электрдинамикалық ваттметрлер әдетте, жоғары сыныптық дәлдіктің зертханалық аспаптары болып табылады және

тоқ әрі кернеу бойынша бірнеше өлшеу шектерімен шығарылады. Осындай ваттметрдің ішкі қосылысының сызбасы 6.3-суретте бейнеленген.

Сызбадағы жүйелі тізбекті құрушы, жылжымайтын шарғының екі жартысы не болмаса біртіндеп, не болмаса қатар қосылады. Соңғы жағдайда сол ток осы шарғы бойынша аспаптың номиналды екі еселенген кезінде өтетін болады. Қатарлас тізбектің қосымша кедергісі бөлімделеді, осының нәтижесінде бірнеше шектері кернеу бойынша да болады. Бұдан басқа, әдетте тағы бір сыртқы қосымша кедергілерді қосу үшін қызмет ететін, 1 000-омдық қысқыш деп аталатын шығарылады. Себебі электрдинамикалық ваттметрдің қатарлас тізбегіндегі номинал ток 30 мА құрайды, онда бұл қысқыш 30 В кернеуге сәйкес келеді. 6.3-суреттегі сызбада $R1R2$ және $R3$ — қосымша кедергілер.

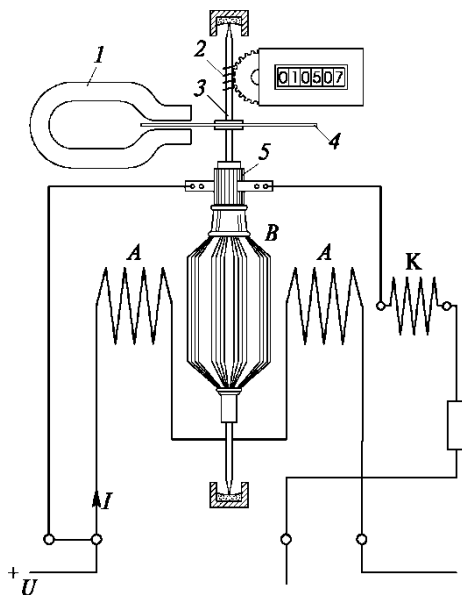
Көбінесе ваттметрлер сілтегіштердің толық ауытқуы номинал кернеу және $\cos\phi = 1$ номинал ток кезінде болатындай есептеледі. Осы мәндерге және шкала бөліктеріндегі санға сәйкес, тұрақты ваттметр немесе оны бөлу бағасы айқындалады. Айталық, 5 А, 150 В ваттметр және 150 бөлігі бар шкаламен бірге $\cos\phi = 1$ Вт/бөл тұрақты құрастырушысы болады

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

Ферродинамикалық және индукциялық ваттметрлер 1,5 және төменгі сыныптық дәлдіктегі тұстама аспаптары ретінде шығарылады.

6.2. Тұрақты ток тізбегіндегі энергияны өлшеу

6.2. Тұрақты ток тізбегіндегі энергияны өлшеу көбінесе өрісі $A-A$ жылжымайтын шарғылармен жасалатын, ал якоры 5 коллектор арқылы тізбекке қосылатын В шарғысына қызмет ететін тұрақты токтың



6.4-сурет. Энергияның электрдинамикалық есептеуішінің құрылымы:

1 — тұрақты магнит; 2 — бұрамдықты беріліс; 3 — темір кідіріс; 4 — алюминийлі диск; 5 — коллектор

электр қозғалтқышын құрайтын, электрдинамикалық есептеуіштермен жүзеге асырылады (6.4-сурет).

А—А шарғылары жүктеме тізбегіне біртіндеп, ал В якоры К шарғысымен бірге (тағайындалуы одан кейін түсіндірілетін болады) және $L_{\text{қос}}$ қосымша кедергімен –қатарлас қосылады.

Қозғалмалы бөліктің осында 1 тұрақты магнит полюстері арасында айналдыратын 4 алюминийлі диск орналасқан. Қозғалмалы бөлікті айналдыру 2 бұрамдық беріліс арқылы есептік механизмге беріледі. 3 санымен темір кідіріс көрсетілген.

Электрдинамикалық есептеуіштің айналдыру моменті $M_{\text{айн}}$ қозғалмалы және жылжымайтын шарғылардағы тоқты өндіруге тең болады:

$$M_{\text{айн}} = c I_1 I_2$$

мұндағы c — өзара орналасу және шарғы біліктерінің санына тәуелді, құрыстырылымдық тұрақтылық; I_1 — бірізді шарғыдағы ток, $I_1 = I$; I_2 — якорьдың барлық тізбегінде U кернеумен және R_2 кедергімен айқындалатын якорьдегі ток, $I_2 = U/R_2$.

Сәйкесінше, айналдыру моменті

$$M_{\text{вр}} = cI \frac{U}{R_2} = KP$$

жүктемемен тұтынылатын P қуатына тең. Осы айналдыру моментінің әрекетімен қозғалмалы бөлік үдеме жылдамдықпен бірге айнала бастайды.

Тұрақты магниттің 4 магниттік өрісіндегі дискінің айналуына байланысты, онда тұрақты магниттің Φ ағынымен өзара қимылдай отырып, қарсы әрекет ететін (тежегіш) моментті $M_{теж}$ құрайтын I_d тоқтар индукцияланады.

$M_{теж}$ арналған өрнекті ойдан келесідей шығарып алуға болады. Дискідегі тоқтар

$$I_d = \frac{E_d}{R_d},$$

мұндағы E_d — ЭҚК, оның Φ өрісіндегі дискіде da/dt , $E_d = -(da/dt)$ бұрыштық жылдамдықпен айналдыру кезінде индукцияланады; \mathcal{Y}_d — дискінің I_d тоқтарына арналған кедергісі

Тежеу моменті

$$M_{топ} = \Phi I = \frac{\Phi^2}{R_d} \frac{d\alpha}{dt} = c_2 \frac{d\alpha}{dt},$$

яғни, дискінің айналу жылдамдығына тең.

Дискінің белгіленген жылдамдығы айналдыру және тежеу моменттерінің теңелуімен айқындалады:

$$K P = c_2 \frac{d\alpha}{dt}. \quad (6.3)$$

Осылайша, есептеуіштің белгіленген жылдамдығы қуатқа тең болады.

$(t_2 - t_1)$ уақыт аралығында энергияны өлшеу өрнегін (6.3) интегралдай отырып, табатынымыз:

$$c_2 \int_{t_1}^{t_2} d\alpha = K \int_{t_1}^{t_2} P dt.$$

Интеграл $\int_{t_1}^{t_2} P dt$ бұл $(t_2 - t_1)$ уақыт ішінде жүктемеге жұмсалған W_e энергиясы

Интеграл $\int_{t_1}^{t_2} d\alpha = |\alpha|$ уақыт ішінде есептеуіштің якорын $(t_2 - t_1)$

бұратын бұрышты құрайды, яғни

$$|\alpha|_{t_1}^{t_2} = 2\pi N,$$

мұндағы N — $(t_2 - t_1)$ уақыт ішіндегі якорь айналымының толық саны.

Осылайша,

$$KW_e = c_2 2 = N$$

немесе

$$W_e = CN,$$

мұндағы c — тұрақты есептеуіш, $c = \frac{W_e}{N}$.

Осылайша, есептеу механизмімен есептелетін якорь айналымының саны электр энергиясына тең.

Номиналды тұрақты есептеуіш үнемі есептеуіш тұстамасында көрсетіледі. Мысалы, егер тұстамада 1 кВт • сағ 200 айналымға теңді көрсетсе, онда $C = 1\ 000 \cdot 3\ 600/200 = 18\ 000$ Вт • с/об.

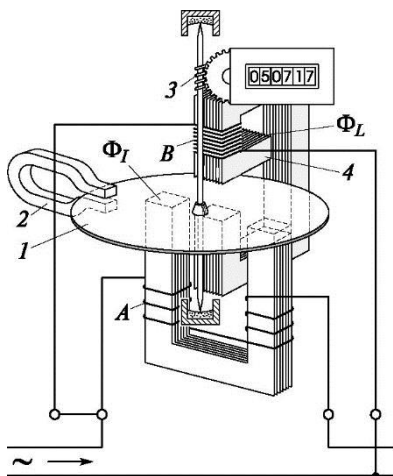
Есептеуіштің қателігі негізінен тректегі, коллектордағы және есеп механизміндегі үйкеліспен айқындалады. Шағын жүктеме кезінде, тұтынылатын қуат үлкен болмайды, үйкеліс моменті айналдыру моментімен шамалас келеді және қозғалмалы бөлігі қажет болатыннан гөрі, баяу айналады, есептеу механизмі керек болатыннан гөрі, аз көрсетеді және үлкен теріс қателік туындайды.

Үйкеліс қателігін азайту үшін, қосымша өтемдік момент деп аталатын үйкеліс моментінің өтеміне жүгінеді. Бұл момент есептеуіштің қатарлас тізбегіне қосылатын қосымша жылжымайтын К шарғысымен жасалады (6.4-суретті қараңыз). Осы шарғының есептеуіштің қозғалмалы бөлігіне қатысты қалпын, онымен жасалатын қосымша айналдыру моментінің номиналды кернеу кезіндегі үйкеліс моментіне тең болатындай етіп, таңдап алуға болады.

Себебі өтемдік моменті U кернеуімен айқындалады, сонда соңғысын арттыру кезінде осы момент үйкеліс сәтінен көп және тіпті есептеуіш дискісі жүктемедегі I тоқтың болмауы кезінде айналатын болатындай көрінуі мүмкін, яғни есептеуіштің «өзіндік жүруі» пайда болады. Осыған өзіндік жүрумен күресу үшін, якорьдың магнитке айналдыру кезіне жақындағанда тартылатын, соның арқасында есептеуіштің қозғалмалы бөлігі тоқтатын 3 темір кідірту бекітіледі (6.4-суретті қараңыз).

6.3. Бір фазалық ауыспалы тоқтың тізбегіндегі белсенді энергияны өлшеу

Ауыспалы тоқтың тізбегіндегі энергияны өлшеу индукциялық есептеуіштермен жүзеге асырылады, олардың сондай бір түрі 6.5-суретте бейнеленген. Индукциялық өлшеуіш механизмдерінің әрекет ету қағидаты бұрын баяндалған болатын.



6.5-сурет. Индукциялық бірфазалық энергия есептеуішінің құрылымы:

1 — диск; 2 — тұрақты магнит; 3 — бұрамдық беріліс; 4 — В электрмагниттік магнит өткізгішінің «өсіндісі»

6.5-суретте есептеуіштің жылжымайтын бөлігі екі электрмагниттен тұрады; А электрмагнитінің орамасы біртіндеп жүктеме тізбегіне, ал В электрмагниті оған қатарлас қосылған. Есептеуіштің қозғалмалы бөлігі 2. Тұрақты магнит өрісінде айналатын, 1 дискіні құрайды. Дискінің осі есептеуіш механизмімен бірге 3 бұрамдық беріліспен байланысты. 4 — цифрмен В электрмагнитінің магнит өткізгішінің «өсіндісі» көрсетілген.

Тежеу сәті 6.2-бөлімшедегі электрдинамикалық есептеуіште қарастырылған сияқты құрылады. Демек, тежеу моменті дискінің бұрыштық жылдамдығына тең болады.

Индукциялық өлшеу механизмінің айналдыру моменті

$$M_{вр} = Kf\Phi_1\Phi_U \sin \psi, \quad (6.4)$$

мұндағы K — құрастырылымдық тұрақтылық; f — жиілік; Φ_1 және Φ_U — сәйкесінші дискіні түйреп өтетін А және В электрмагниттері; ψ — ағындар арасындағы фаза бойынша жылжу.

Бірфазалық токтың қуаты

$$\Phi = IU \cos \varphi.$$

Себебі А кезектік орама бойынша / ток өтеді, сонда Φ_x ағынын алғашқы жақындағанда / тоққа тең болады деп есептеуге болады:

$$\Phi_1 = cI.$$

В қатарлас орамасы көп жұқа сым орамасынан тұрады және қосымша кедергісіз U кернеуіне қосылады. Осының салдарынан оның белсенді кедергісі реактивтілермен салыстырғанда аз және оған қосылған кернеу E өзіндік индукция ЭҚК түгелге жуық теңеледі, бұл мына формуламен өрнектелуі мүмкін

$$U = E = \omega w \Phi_w,$$

мұндағы ω — бұрыштық жиілік; w — қатарлас орама орамдарының саны.

Бұдан шығатыны

$$\Phi_{U0} \approx \frac{U}{\omega W}.$$

Осы ағынның бөлігі, атап айтқанда Φ_u диск түйреп өтеді. Сондай-ақ Φ_u ағыны кернеуге тең және кері жиілікке тең болады:

$$\Phi_{U0} = c_2 \frac{U}{\omega W} = c_3 \frac{U}{f},$$

мұндағы $\omega = 2\pi f$.

Осылайша, (6.4) өрнектегі Φ_1 оған тең I шамасымен, ал $\Phi_u U f$ шамасымен ауыстыруға болады. Сонда тек тендеуді қамсыздандыру ғана қалады

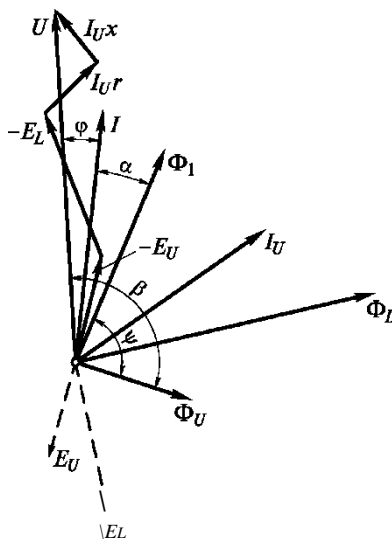
$$\sin \psi = \cos \varphi, \text{ т. е. } \psi = \frac{\pi}{2} - \varphi.$$

Сонымен, айналдыру моменті қуатқа тең болады

$$M_{вр} = KIU \cos \varphi = KP.$$

Осы соңғы шартты басқаша келесідей бейнемен өрнектеуге болады: $\varphi = 0$ (индуктивтіксіз жүктеме) кезінде дискіні кесіп өтетін Φ_u және Φ_1 арасындағы бұрыш 90° тең болуы қажет. Дәл осындай жылжу жасау үшін индукциялық есептеуіштердегі қатарлас орама ағыны екі бөлікке бөлінеді: 4 дискіні түйреп өтетін Φ_k жұмыс ағыны және «өсінді» арқылы дискінің жанында жүретін жұмыстан тыс өтетін ағын (6.5-суретті қараңыз).

Φ_L ағынының болуы салдарынан бұрыштың ұлғаюын 6.6-суретте ұсынылған есептеуіштің векторлық диаграммасы безендіреді. Осы диаграммада кернеудің қатарлас орамасына қоса салынатын U — векторы I ток векторының φ бұрышынан біршама қалып қалады (жүктеменің индуктивтік сипаты шамаланады). Тізбектелген ораманың Φ_x ағынының векторы A электрмагнитінің өзегіндегі гистерезиске және құйынды тоққа арналған шығындармен белгіленген а бұрышындағы / тоғынан қалып қалады. (6.5-суретті қараңыз).



6.6-сурет. Индукциялық есептеуіштің векторлық диаграммасы

Электромагниттің қатарлас орамасындағы I_U тоғының векторы тізбектің жоғары индуктивтілігіне жақын 90° бұрышқа арналған кернеу векторынан қалып қалады. Бұл ток екі бөлікке тармақталатын ағынды құрайды: Φ_u жұмыс ағыны және Φ_L жұмыстан тыс ағын. Φ_u ағынын I_U тоғынан фаза бойынша біршама жылжыту Φ_L ағынына қарағанда едәуір көп, себебі Φ_u ағынының жолында елеулі шығындар болатын диск болады, Φ_L ағынын I_U жылжытқанда ғана, тек магнит өткізгіштердегі шығындар айқындалады. Φ_L және Φ_u ағындары орамадағы E_L және E_U электр қозғаушы күштердің қатарлас тізбегін жинастырады. Бұдан басқа, қатарлас ораманың белсенді және реактивті кедергілерінде $L_U r$ және $I_U x$ кернеулерінің кемуі орын алатын болады. U кернеу векторы 6.6-суретте көрсетілгендей E_L , E_U , $L_U r$ және $I_U x$ теңелуі қажет.

Егер U және Φ_{N_2} векторлары арасындағы бұрыш арқылы белгілесе, онда Φ_U және Φ_L арасындағы 90° жылжу шартын келесідей бейнемен өрнектеуге болады (6.6-суретті қараңыз):

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

Егер Φ_L және ЭДС E_L ағыны болмаған болса, онда іс жүзінде дискіні түйреп өтетін U кернеуі мен Φ_{N_2} ағыны арасындағы бұрышты 90° артық алу мүмкін емес. Осылайша, $\Phi_x = cD$, $\Phi_U = c_3 U / f$, $\sin \alpha = \sin \varphi$ шартын сақтау кезінде, келесідей болады деп есептеуге болады:

$$M_{вр} = KP.$$

Тежеу моментін, бұрын қарастырылған сияқты, мына формула бойынша есептеуге болады:

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

Белгіленген жылдамдық кезінде

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

t_1 бастап t_2 дейінгі уақыт аралығында интегралданғаннан кейін алатынымыз:

$$W_e = CN.$$

Индукциялық есептеуіш, бұрын қарастырылған электрдинамикалық есептеуіш сияқты үйкеліс моментін өтемдеуге арналған құрылғыны және өзіндік жүруінің пайда болуымен күресуді қарастырады.

6.4. Үш фазалық ауыспалы тоқтың тізбегіндегі белсенді қуатты және энергияны өлшеу

Симметриялық жүктеме кезіндегі үш фазалы тоқтың тізбегіндегі белсенді қуатты және энергияны өлшеу. Кезеңдік үш фазалы тізбектің қуатының және энергиясының орташа мәні мына формула бойынша

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

мұндағы «ф» көрсеткішімен U және I фазалық мәндері белгіленген.

Жүйелік толық симметрия кезінде, яғни $i_{1\phi} = i_{2\phi} = i_{3\phi} = i_{\phi}$, $I_{1\phi} = I_{2\phi} = I_{3\phi} = I_{\phi}$ және $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$ кезінде P қуатының теңдеуі мынадай түрде болады:

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

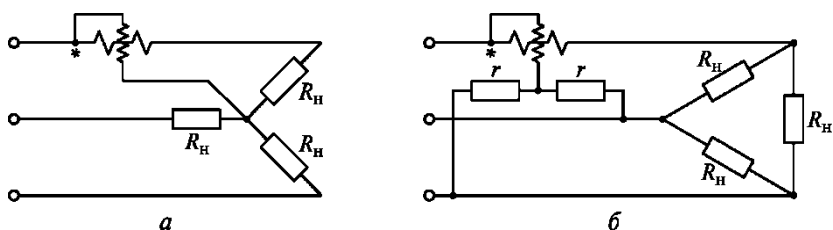
немесе (тоқтың және кернеудің амплитудалық мәндері арқылы)

$$P = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \cos \varphi.$$

Егер үш өткізгішті тізбектің симметриялық жүктемесі жұлдызшамен қосылған және нөлдік нүктесі қолжетімді, сонда қуатты және энергияны өлшеу 6.7, а суретте көрсетілгендей, бір ваттметрмен және бір есептеуішпен жүзеге асырылуы мүмкін. Мұндай жағдайда есептеуіштің үш еселенген көрсеткіші толық белсенді қуатқа, ал есептеуіштің үш еселенген көрсеткіші — $R_{ж}$ жүктемеде тұтынылатын толық белсенді энергияға тең болады.

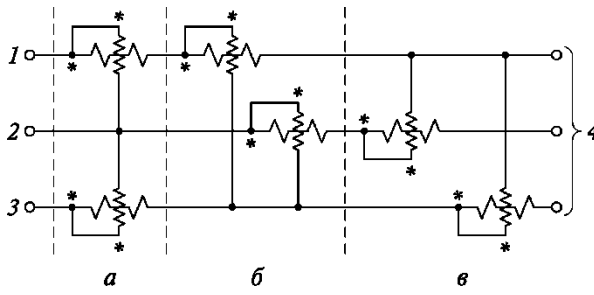
Егер бейтарап нүкте қолжетімсіз немесе жүктеме үшбұрышпен қосылған болса, онда ваттметрдің қатарлас тізбегінің кедергісіне тең шама бойынша, g екі кедергі жасанды бейтарап нүктені құрайтын 6.7-суретте келтірілген сызбаны пайдалануға болады. Толық қуат алу үшін мұндай жағдайда ваттметрдің көрсеткішін үш еселеу қажет. Жасанды нөлдік нүктені қолдану іс жүзінде тек қатарлас тізбектер аз реактивті кедергіні игерген электрдинамикалық ваттметрлерді пайдалану кезінде ғана мүмкін.

Бейсимметриялық жүктеме кезінде үш фазалы тоқтың тізбегіндегі қуат пен энергияны өлшеу. Мұндай жағдайларда ең жиі өлшеу 6.8, а, в суреттерде көрсетілгендей үш сызбаның біреуіне қосылған екі аспаппен жүзеге асырылады.



6.7-сурет. Үш фазалы симметриялық тізбектегі белсенді қуатты өлшеуге арналған ваттметрді қосу сызбасы:

a — жұлдызшамен және қолжетімді нөлдік нүктені қосу кезінде; *б* — қолжетімсіз нөлдік нүкте немесе жүктемені үшбұрышпен қосу кезінде



6.8-сурет. Бейсимметриялық жүктеме кезінде үш фазалы ток тізбегіндегі қуатты өлшеу сызбасы:

a, б және в — ваттметрлерді әртүрлі фазаларға қосу сызбаларының нұсқасы; 1, 2 және 3 — үш фазалы тізбектің фазалары; 4 — жүктеме

Дәйекті шарғылар кез келген екі сызыққа қосылады, бұған қатарлас шарғылардың генераторлық ұштары қосылады. Қатарлас шарғылардың бейгенераторлық ұштары бос сызықтың дәйекті орамаларына қосылады.

Ваттметрлер 6.8, *a* суреттегі сызба бойынша қосылды делік. Сонда үш фазалы жүйеде жүктемені үшбұрышпен немесе жұлдызшамен қосу сызбасынан тыс, жүйе қуатының лездік мәні жекелеген фаза қуатының лездік мәнінің жиынына тең болады:

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

Жұлдызша қабылдағыштарын қосу кезінде бұл теңдеуді келесідей формада қайта жазуға болады:

$$p = u_{10}i_1 + u_{20}i_2 + u_{30}i_3, \tag{6.5}$$

мұндағы u_{10}, u_{20}, u_{30} — фазалық кернеудің лездік мәндері; i_1, i_2, i_3 — фазалық токтың лездік мәндері.

Бірінші Кирхгоф заңының негізінде:

$$P = i_1 u_0 + u_{20} + u_{30} i_3,$$

бұдан

$$i_2 = -(i_2 + i_3) = 0. \tag{6.6}$$

Лездік қуат үшін i_2 ток мәнін (6.5) теңеу өрнегінен (6.6) шығатынды қойғанда, мына өрнекті аламыз:

$$p = u_{10}i_1 + u_{30}i_3 - u_{20}(i_1 - i_3) = u_{10}i_1 + u_{30}i_3 - u_{20}i_1 - u_{20}i_3 = i_1(u_{10} - u_{20}) + i_3(u_{30} - u_{20}),$$

мұндағы $u_{10} - u_{20} = u_{12}$ и $u_{30} - u_{20} = u_{32}$ — сызықтық кернеудің лездік мәндері

Осылайша,

$$p = i_1 u_{12} + i_3 u_{32}$$

Дәл осындай қорытындыға жүйені ұшбұрыш сызбасы бойынша қосқан кезде келуге болады.

Бұл жағдайда фазаның лездік мәндерін және бір-біріне тең сызықтық кернеуді ескеру қажет, бұл *екінші Кирхгоф заңына сәйкес*

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

және тоқтың лездік мәндерінің әртүрлілігіне сәйкес тиісті сызықтық токтардың лездік мәндеріне тең.

Лездік мәннен қуаттың орташа мәніне көше отырып, алатынымыз:

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

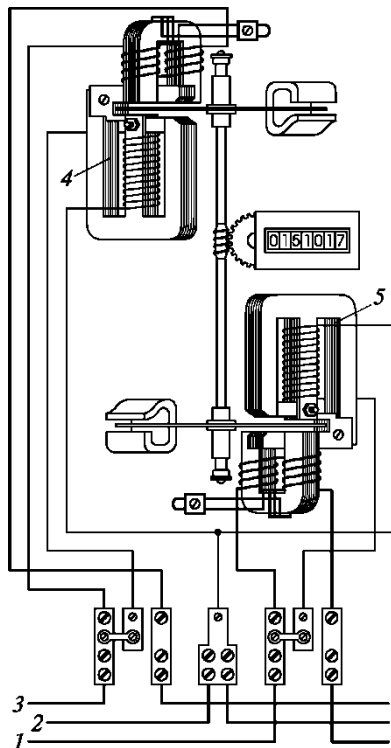
мұндағы p_1 — U_{12} және I_1 арасындағы фаза бойынша жылжу p_2 — U_{32} және I_3 арасындағы фаза бойынша жылжу.

Үш фазалы энергия есептеуіштер 6-8-суретте көрсетілгендей сызбалардың біреуі бойынша қосылатын және бір осьте бекітілетін, жалпы қозғалмалы бөліктері (дискілермен) болатын екі өлшеуіш механизмінен (6.9-сурет) тұрады.

6.9-суретте бір осьте екі дискісі бар үш фазалы есептеуіш құрылғысы көрсетілген.

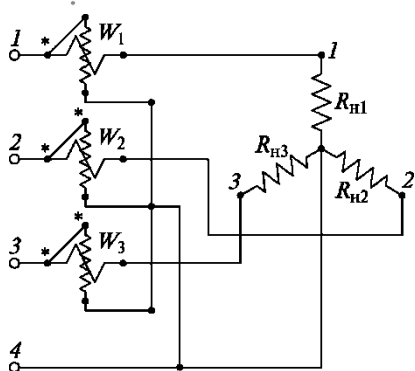
Үш фазалы төрт өткізгішті тізбектегі қуатты және энергияны өлшеу. Мұндай жағдайларда қуатты және энергияны өлшеу 6.10-суретте бейнеленген сызба бойынша қосылған үш ваттметрмен (W_1 , W_2 , W_3) немесе есептеуіштермен жүзеге асырылады.

Ваттметрлердің әрқайсысы бір фазаның қуатын есептейді. 6.10-сурет сызбасындағы L_{n1} , L_{n2} және Y_{n3} — фазалардағы күштер.



6.9-сурет. Екі дискімен бір осьте бекітілген үш фазалы энергия есептеуішінің құрылғысы:

1, 2 және 3 — үш фазалы тізбектің фазалары; 4 және 5 — есептеуіштің өлшеу механизмдері



6.10-сурет. Үш фазалы төрт өткізгішті тізбектегі қуатты өлшеуге арналған ваттметрлерді немесе есептеуіштерді қосу сызбасы:

Жүйенің толық қуатын үш ваттметрдің көрсеткіштерін қосу жолымен 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 тізбекке арналған үш фазалы ваттметрлер мен есептеуіштердің бір оське бекітілген қозғалмалы бөлігімен бірге үш өлшеу механизмі болады.

6.5. Реактивті қуатты және энергияны өлшеу

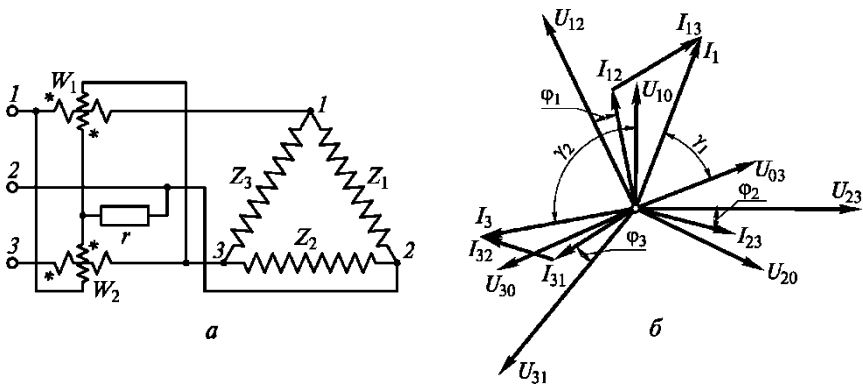
Реактивті қуатты мына өрнекпен анықтайды:

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

Дегенмен, бұл қуат уақыт бірлігінің энергиясын беруді сипаттамайды, тәжірибеде реактивті қуатты және энергияны өлшеу қажет, себебі электр беру желісінде реактивті энергияның болуы ондағы тоқтың ұлғаюын, сәйкесінше шығынның ұлғаюын және кернеудің кемуін туындатады. Сондықтан, $\cos\varphi$ азайтуға, яғни $\sin \varphi$ азайтуға, басқаша айтқанда, реактивті қуатты және энергияны азайтуға тырысу қажет.

Тәжірибеде үш фазалы тоқ тізбегіндегі реактивті қуатты және энергияны өлшеудің үлкен мағынасы бар.

6.11-суретте жасанды нөлдік нүктемен бірге W_1 және W_2 екі электрдинамикалық ваттметрдің көмегімен үш фазалы тізбектің реактивті қуатын өлшеу сызбасы және векторлық диаграммасы көрсетілген. Осы сызбаны қарапайым ассимметрия, яғни кернеу симметриясы және фаза ағындары мен жылжуының бейсимметриясы кезінде қолданады. r кедергісі ваттметрлердің қатарлас орамаларының кедергілеріне тең болуы қажет. 6.11-сурет сызбасындағы, a Z_1, Z_2, Z_3 — тізбек фазасындағы күштер.



6.11-сурет. Қарапайым симметрия кезіндегі үш фазалы тізбектің реактивті қуатын өлшеу :

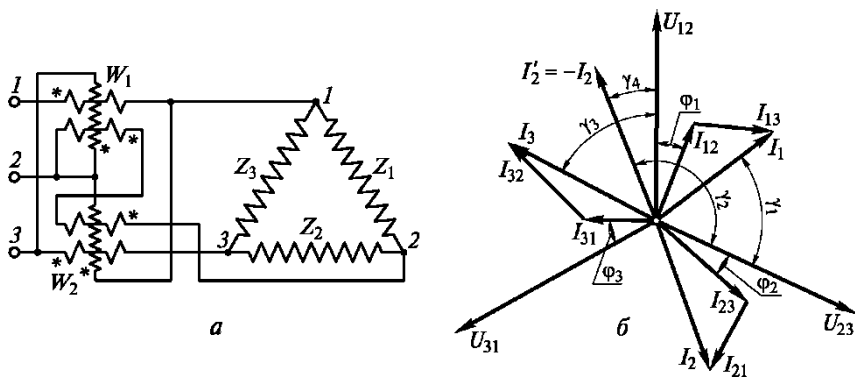
a — екі ваттметрді қосу сызбасы; *б* — векторлық диаграмма; 1, 2 және 3 — тізбектегі фазалар

6.11, б суретте 6.11, *a*-суреттегі сызбаға арналған токтар мен кернеулердің векторлық диаграммасы ұсынылған. Ваттметрдің көрсеткіштер 6.11, *a* –суреттегі сызбаға сәйкес, келесідей өрнекпен айкындалады:

$$P_1 = U_{03} I_1 \cos(U_{30} I_1) = U_{03} I_1 \cos \gamma_1;$$

$$P_2 = U_{10} I_3 \cos(U_{10} I_3) = U_{10} I_3 \cos \gamma_2.$$

Қарапайым асимметрия кезінде үш фазалы тоқтың реактивті энергиясын өлшеу үшін, сызбасы 6.12, *a* суретте келтірілген дәйекті орамамен бірге индукциялық есептеуіш кең таралған.



6.12-сурет. Дәйекті орамалармен бөлінген реактивті энергияның үш фазалы есептеуіші:

a — қосу сызбасы ; *б* — векторлық диаграмма; 1, 2 және 3 — тізбек фазалары

Мұнда әр элементтің дәйекті тізбегі орамдардың бірдей санындағы екі орамадан тұрады.

Векторлық диаграммаға сәйкес (6.12-сурет, б) ваттметрдің көрсеткіші келесідей болады:

$$P_1 = U_{23} I_1 \cos \gamma_1 + U_{23} I'_2 \cos \gamma_2;$$

$$P_2 = U_{12} I_3 \cos \gamma_3 + U_{12} I'_2 \cos \gamma_4,$$

мұндағы $I_2 = -I_3$, себебі екінші орама бейгенераторлы ұштарымен генераторға жалғанады.

Қарастырылған сызба бойынша тек реактивті энергияның индукциялық есептеуіштері ғана шығарылады. 6.12, а суретте W_1 және W_2 — ваттметрлер; Z_1 , Z_2 және Z_3 — тізбек фазаларындағы күш кедергілері.

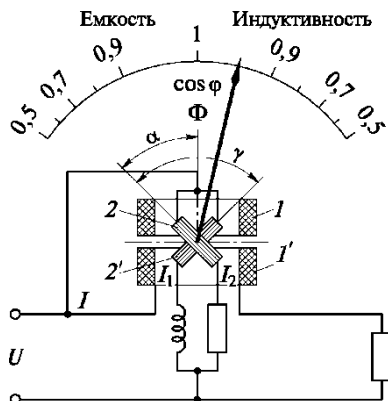
6.6. Қуат коэффициентін өлшеу

Электрдинамикалық фазометр. $\cos \phi$ қуатының коэффициентін өлшеуді осы мақсат үшін арнайы арналған және $\cos \phi$ бірлігімен градусталған шкаласы бар тікелей бағалау аспаптарымен де, сонымен бірге осы мақсатқа арналмаған аспаптар көрсеткіші бойынша да, мысалы: симметриялық үш фазалы үш өткізгішті тізбек жағдайындағы екі ваттметрдің көмегімен жүргізуге болады.

6.13-суретте құрылғы сызбасы және бір оське отырғызылған және бір-біріне бұрышпен бекітілген, 1 және 1' қозғалмалы шарғымен және 2 және 2', екі жылжымайтын шарғымен бірге логометрді құрайтын, бір фазалы электрдинамикалық фазометрді қосу бейнеленген.

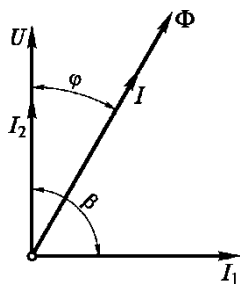
Шарғы тізбегіне 2 белсенді кедергі, 2' шарғы тізбегіне — реактивті кедергі (дроссель) қосылған. Сонда осы аспапқа арналған векторлық

диаграмманы 6.14-суретке сәйкес бейнелеуге болады, мұнда 2 шарғыдағы I_2 ток U кернеумен бірге фаза бойынша сәйкеседі, ал 2' шарғыдағы I_1 тоғы U р бұрышына қалып қалады. Φ ағыны дәйекті шарғыдағы I тоғымен фаза бойынша сәйкеседі.



6.13-сурет. Құрылғы және бір фазалы электрдинамикалық фазометрді қосу сызбасы :
1 және 1' — жылжымайтын шарғылар;
2 және 2' — қозғалмалы шарғылар

6.14-сурет. Бір фазалы электрдинамикалық фазометрдің векторлық диаграммасы



I тоғының Φ фазасы бойынша U кернеуінен жылжуы Z күшімен сипатталады.

Егер жылжымайтын шарғылар ұзындығы бойынша әжептәуір үлкен және тепе-тең өрісті құраса, онда айналдыру моменттеріне арналған өрнекті келесідей бейнеде жазуға болады:

$$M_{\text{вр1}} = c_1 I_1 \cos(\beta - \varphi) \cos \alpha;$$

$$M_{\text{вр2}} = c_2 I_2 \cos \varphi \cos(\gamma - \alpha),$$

мұндағы α — Φ ағыны және 2 кәсек жазықтығы арасындағы кеңістіктік бұрыш; $(\gamma - \alpha)$ — Φ ағыны және 2' кәсек жазықтығы арасындағы кеңістіктік бұрыш.

$M_{\text{вр1}}$ және $M_{\text{вр2}}$ моменттері бір-біріне қарама-қарсы бағытталған, сондықтан теңелу кезінде болатыны:

$$M_{\text{вр1}} = c_1 I_1 \cos(\beta - \varphi) \cos \alpha = M_{\text{вр2}} = c_2 I_2 \cos \varphi \cos(\gamma - \alpha).$$

$c_1 = c_2$ құрастырылымдық тұрақтылық деп пайымдасақ, алатынымыз:

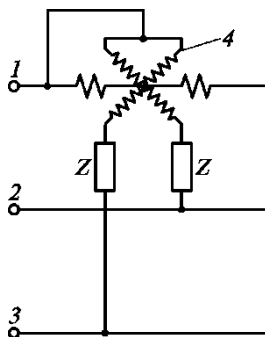
$$\frac{I_1 \cos(\beta - \varphi)}{I_2 \cos \varphi} = \frac{\cos(\gamma - \alpha)}{\cos \alpha}.$$

Егер фазометрдің қатарлас тізбегінің параметрлері $I_1 = I_2$ және $\beta = \gamma$ деп таңдалатын болса, онда $\alpha = \varphi$, яғни аспаптың қозғалмалы бөлігінің кеңістіктік қалпы өлшенетін φ фазасының жылжуымен айқындалады.

Аспаптың шкаласы φ бұрышына тең салыстырмалы, бірақ $\cos \varphi$ қатысы бойынша әркелкі болып алынады.

Қозғалмалы шарғының тізбегінде 2 индукциялық кедергінің болуы жиілік аспабының көрсеткішіне байланысты болып келеді, себебі бұл кезде I тоғы және φ бұрышы өзгереді.

Осыған байланысты, қағидат бойынша фазометрлер белгілі бір жиілік кезінде градустанады.



6.15-сурет. Үш фазалы электрдинамикалық фазометрді қосу сызбасы:

1, 2 және 3 — тоқ фазалары; 4 — электрдинамикалық фазометр

Үш фазалы электрдинамикалық фазометр. Электрдинамикалық фазометр (6.13-суретті қараңыз) 6.15-суретте көрсетілгендей, үш фазалы тоқтың (1, 2 және 3) тізбегіне қосылуы мүмкін.

Үш фазалы тізбекке қозғалмалы шарғының тоқтары арасындағы фаза бойынша жылжуды қосудың арқасында осы шарғылардың фаза бойынша жылжытылған кернеуден қуаттануы алынады. Мұнда фаза бойынша жылжу жиілігінің барлық кезі 60° тең, сондықтан 4 фазометрдің көрсеткіші жиілікке байланысты емес. Егер осы фазометрде қозғалмалы шарғының кеңістіктері арасындағы бұрышты 60° тең жасайтын болса, онда фаза жылжитын бұрыш шкалалары тең болады. Сызбаға Z күшке қосымша кедергілер қосылады.

Бақылау сұрақтары

1. Тұрақты және бір фазалы ауыспалы ток тізбегіндегі қуатты қалай өлшеуге болады?
2. Тұрақты ток тізбегіндегі энергияны өлшеуге арналған электрдинамикалық есептеуіш қалай жұмыс істейді?
3. Бір фазалы ауыспалы ток тізбегіндегі белсенді энергияны өлшеуге арналған индукциялық есептеуіштің жұмыс қағидаты неден тұрады?
4. Симметриялы және бейсимметриялы күш кезінде үш фазалы ауыспалы ток тізбегіндегі белсенді қуатты және энергияны қалай өлшейді?
5. Үш фазалы төрт өткізгішті тізбектегі қуатты және энергияны өлшеу ерекшелігі немен тұжырымдалады?
6. Реактивті қуатты және энергияны қалай өлшейді?
7. Қуат коэффициенті дегеніміз не, оны қалай өлшейді?

ЭЛЕКТРЛІК ТІЗБЕКТЕРДІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ

7.1. Амперметр — вольтметр әдісімен кедергілерді өлшеу

Тұрақты токқа R кедергіні өлшеу амперметр-вольтметр көмегімен немесе 7.1-суреттегі сызба бойынша жүзеге асырылады.

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

U_x және I_x — кернеудің төмендеуі мен тоқ тікелей кедергісінде болғандықтан, сызбалар (7.1-суретке қараңыз) өлшенетін кедергі мен пайланылатын құралдардың мағынасы арасындағы қатынаспен шартталған әдістемелік қателікке әкеледі.

Негізінде 7.1-сурет бойынша өлшеу R_x кезінде, вольтметр U_V мен амперметр I_A құралдарының көрсеткіші бойынша есептелген кедергі a мынадай болады:

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

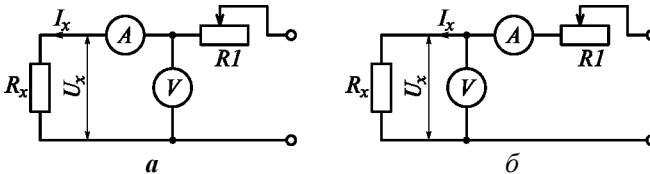
Бірақ вольтметрдің көрсеткіші

$$U_V = U_x + I_A R_A,$$

онда I_A — амперметр арқылы өтетін ток, $I_A = I_x$; R_A — амперметр кедергісі.

Осы теңдеудің I_x оң және сол бөлігіне бөле отырып, мынаны аламыз

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



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

a — үлкен кедергілерді өлшеуге арналған; b — кіші кедергілерді өлшеуге арналған;

Осы сызба бойынша абсолюттік қателік

$$\Delta R_x = R_x - R_x = R_A,$$

ал салыстырмалы қателік

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

Демек, қарастырылған сызбаны тек үлкен кедергіні өлшеу кезінде қолдануға болады:

$R_A \ll R_x$. 7.1, б-сур. сызба бойынша өлшегенде $R_{A_мынаны}$ аламыз:

$$R'_x = \frac{U_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_x + I_V}; \quad U_V = U_x.$$

Яғни,

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

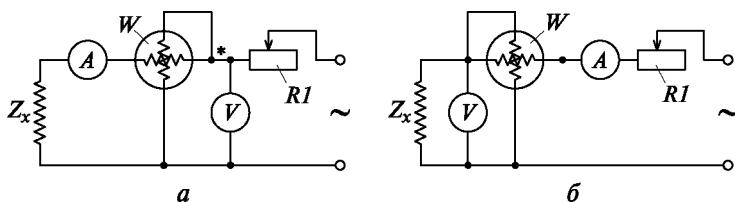
Бұл жағдайда салыстырмалы қателік

$$\gamma = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_V}} - 1 = -\frac{R_x}{R_x + R_V}.$$

немесе

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

Осылайша, 7.1, б суреттегіні тек кіші кедергілерді өлшегенде ғана қолдануға бол ады, онда $R_V \gg R_x$. (7.1-сур). R_1 — сызба жұмысы тәртібінің өзгеруіне арналған ауыспалы резистор.



7.2-сурет. Ауыспалы тоқтағы тікелей бағалауды құралдармен өлшеуге арналған тізбектер сызбасы:

а — үлкен кедергі үшін; б — кіші кедергі үшін.

Келтірілген өрнектер қателікті бағалау үшін де, егер құралдардың кедергілері белгілі болса, өлшенген мағынаға R_X түзету енгізу үшін де қызмет ете алады.

Амперметр-вольтметр әдісі сонымен қатар ауыспалы токта да қолданылады. Бұл жағдайда тұрақты токтың R кедергісі емес, толық кедергі Z модулі өлшенеді.

Ықылас болса, активті және реактивті кедергілерді бөлек өлшеуге болады. Ол үшін амперметр мен вольтметрден басқа, ваттметрді қосу қажет (7.2-сурет). Сыналатын нысанның активті R және реактивті X_X кедергісін мына өрнектерде аламыз:

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

онда U , I және P — көрсеткіштері вольтметрге, амперметрге және ваттметрге тең.

Бұл жағдайда сонымен қатар әдістемелік қателік орын алады. Бірақ түзету енгізу іс жүзінде қиынырақ, өйткені құралдардың реактивті кедергілері әдетте белгісіз.

7.2-сурет: Z_x — толық өлшенетін кедергі; W — ваттметр; R_1 — сызба жұмысының тәртібін өлшеуге арналған ауыспалы резистор.

7.2. Кедергілерді омметрмен өлшеу

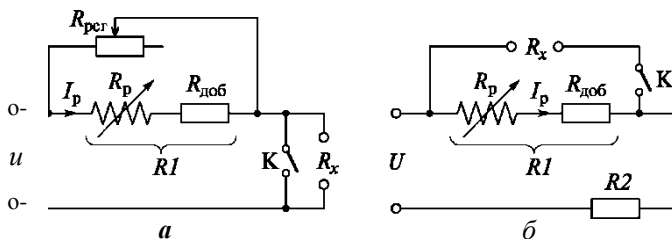
Омметрлер магнитэлектрлік өлшеу механизмінің базасында орындалады. Оларды екі топқа бөлуге болады: омметр, олардың көрсеткіштері кернеуге байланысты, және омметрлер, олардың көрсеткіштері кернеуге байланысты емес. Бірінші топтың омметрлері магнитэлектрлік өлшеу механизмді пайдаланады, ол өлшенетін резисторға ретімен немесе параллель қосылады. Екінші топтың омметрлері магнитэлектрлік логометрді пайдаланады

Өлшенетін кедергінің ретті бірігуі бар омметр

(7.3-сурет, а). Ауытқуды анықтайтын жиектеменің I_k тізбегіндегі ток,

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

Кернеудің U кейбір белгілі мағынасы үшін құрал тікелей бірліктерде R_x бөліктенуі мүмкін. Кернеу құралды пайдалану кезінде оның бөліктену кезіндегі мағынасынан ерекше болғандықтан, өлшеу алдында кернеу көлемін тексеру қажет, сол үшін K кілтімен қысқышын R_x қысқа қылып



7.3-сурет. Омметр тізбегінің сызбасы:
a — өлшенетін кедергінің дәйекті қосылуы; *б* — қатарлас қосылуы

Егер бұл кезде сілтегіш «0» белгісінде болмаса, онда қозғалтқышы аспаптың сыртына шығарылған тұтқаға байланған, R^{\wedge} кәсегін тұйықтайтын реостаттың көмегімен I_p тоғын өзгерту қажет.

Өлшенетін кедергі дәйекті қосылған омметрлермен бірге үлкен (шамамен 1 000 Ом артық) кедергіні салыстырмалы өлшеу үшін қолайлы.

Сілтегішті «0» қалпына қондырғаннан кейін өлшеу алшақ тұрған K кілті кезінде жүргізіледі.

Өлшенетін кедергімен қатарлас қосылған омметр (7.3-сурет, б). Осы тізбек үшін

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

мұндағы R_1 — R_p кәсегінің және R^{\wedge} қосымша кедергісінің жиынтығы; R_2 — қуат тізбегінің кедергісі.

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

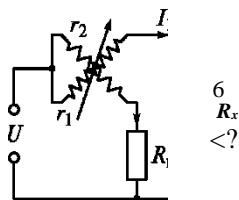
$$I_{p \max} = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Мұнда кернеуді тексеру және нөлді қондыру K ($R_x = \infty$) кілтің ажыратқан кезде, ал R_x өлшеу — K кілтің жапқан кезде жүргізіледі. «Нөлді» реттеу де, электрлік тұйықтағыш көмегімен жүргізіледі.

Өлшенетін кедергімен қатарлас қосылатын омметрдің шкаласы әрқелкі болады. Олар аз кедергіні өлшеу үшін қолайлы.

Логометрлі омметрлер. Өлшенетін R_x кедергісі кәсектің біреуінің тізбегіне не болмаса біртіндеп, кәсектің біреуіне не болмаса қатарлас қосылады. 7.4-суретте ең көп таралған логометрлі омметр тізбегінің сызбасы көрсетілген.

7.4-сурет. Логометрлі омметр тізбегінің сызбасы



Сызбадағы R_x — өлшенетін кедергі; r_1 және r_2 — логометр кәсегінің кедергісі; R_k — өтемдік кедергі.

I_1 және I_2 кәсектеріндегі тоқтар келесідей формулалармен өрнектелуі мүмкін:

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

Себебі α логометрінің ауытқу бұрышы тоқтардың қатынасы функциясы болып табылады:

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

онда

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

Сонымен, логометрдің көрсеткіші қағида тұрғысында кернеуге байланысты болмайды. Тәжірибеде кернеуге бірқатар байланыстылық болады. Жақсы логометрлерде кернеудің әсері номиналдықтан $\pm 20\%$ арналған кернеудің өзгеруі кезінде, $\pm (0,1-0,2) \%$ аспайды.

7.3. Кедергілерді көпірлі әдістермен өлшеу

Тепе –тең көпірлер. Көпірлі тізбектердің әрекет ету қағидаты және негізгі қатынастары бұрын қарастырылған болатын. Тұрақты ток көпірлерінің құрылғысы мен қасиеттеріне мысал келтірейік.

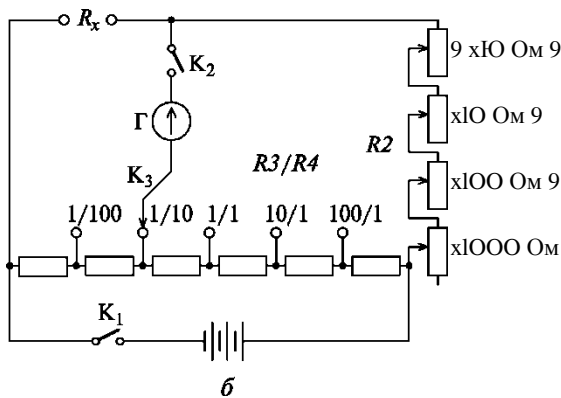
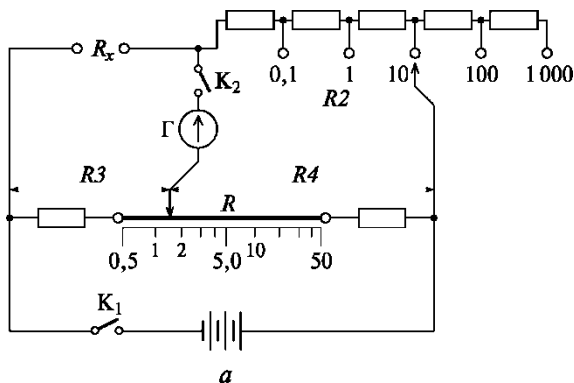
Шамамен 1 Ом бастап, және одан да көп кедергілерді өлшеу үшін дара көпірлерді қолданады. Өте аз кедергілерді өлшеу үшін (1 Омнан аз) қосарлы көпірлерді пайдаланады.

Дара көпірлер тізбектерінің ауыспалы (7.5-сурет, а) және тұрақты (7.5-сурет, б) иініне қатысты екі түрінің сызбасын қарастырайық.

Дара көпірлердің теңелу шартынан шығатыны:

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

мұндағы R_2 , R_3 және R_4 — дара көпірлердің иіні.



7.5-сурет. Дара көпірлер тізбегінің сызбасы:

a — ауыспалы иінге қатысты; *б* — тұрақты иінге қатысты

Ауыспалы иінге қатысты көпірлерде R_3/R_4 тең қатынасқа жету үшін осы қатынасты тікелей оқуға болатын шкаламен жабдықталған R , реохорд көмегімен өзгертіледі (реттеледі). R_2 иінінің кедергі қорабы түрінде орындау көмегімен R_3/R_4 қатынасы кезінде көбейткішті ауыстыруға болады. Осы көбейткіш 0,1; 1; 10; 100 және 1 000 тең болады. Ол өлшенетін кедергінің шамасына байланысты таңдалады.

Тұрақты қатынастағы иіннің дара көпірлерін (7.5, б суретті қараңыз) теңестіру кедергінің төрттік немесе бестік қорабы түрінде орындалатын R_2 кедергісін реттеу жолымен жүргізіледі. Иін қатынасын 1/100 бастап, 100/1 дейін тең K_3 тоқ аударғышымен белгілеуге болады, бұл 0,1 бастап, 10^6 Ом дейінгі диапазондағы R_x өлшеуді жүргізуге мүмкіндік береді. K кілті қуатты қосуға, ал K_2 кілті – гальванометрді қосуға арналған. Иіндердің қатынасын көпірді теңестіру кезінде (есепте) R_2 иінінің барлық төрттігі пайдаланылатындай бейнеде таңдау қажет.

S_M тең көпірдің сезгішітігі деп,

$$S_M = \frac{\alpha}{\frac{\Delta R_x}{R_x}} = \frac{\alpha}{\Delta I_\Gamma} \frac{\Delta I_\Gamma}{\frac{\Delta R_x}{R_x}},$$

түсініледі.

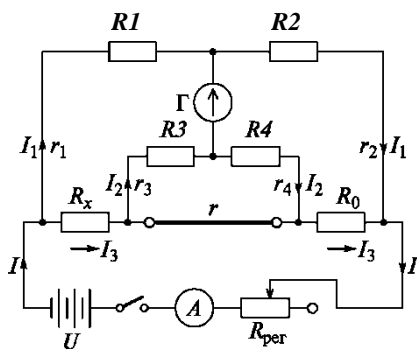
мұнда $\frac{\alpha}{\Delta I_\Gamma}$ — гальванометрдің тоқ сезгішітігі

Осыған байланысты, қуат көзінің гальванометрі мен U кернеуінің сезгішітігі неғұрлым көп болған сайын, көпірдің сезгішітігі соғұрлым артық болады. Алайда, U кернеуінің ұлғаюы шарғыдағы көпір иіні кедергісінің ұйғарынды қуатымен (қызумен) шектелген. Өлшенетін кедергі шамасына қатысты кернеудің және иін қатынастарының ұйғарынды мәндері көпірдің паспортында көрсетіледі.

Шамалы кедергілерді (1 Омнан аз) дара көпірмен өлшеу кезінде өлшенетін кедергі көпірге және өтпелі байланыс кедергілеріне қосылатын, жалғағыш сымдардың кедергісімен көрсетілетін, әсердің салдарынан біршама қателіктер алынады. Осы қателіктерді егер қосарлы көпірдің аз кедергісімен өлшесе, әжептәуір азайтуға болады.

Қосарлы көпір тізбегінің қағидалық сызбасы 7.6-суретте келтірілген. Сызбада R_x және R өлшенетін және салыстырмалы кедергілер; R_1 - R_4 — көпірді теңестіру үшін қызмет ететін резисторлар шарғысының жиыны; R^{\wedge} — реттеуші резистор; r_1, r_2, r_3 және r_4 — жалғағыш сымдардың кедергісі (өтпелі байланыс кедергісін қоса алғанда); Γ — өлшеу механизмі; I — қуат тоғы; D және I_2 — көпір иіндеріндегі тоқтар; I_3 — өлшенетін және эталондық кедергі арқылы өтетін тоқтар белгіленген.

Сызбаны құрастырған кезде, үлгілік және өлшенетін кедергілердің әлеуетті және тоқтық қысқыштарын дұрыс пайдалануға көңіл аударған жөн. Жалғағыш сымдар r_1, r_2, r_3 және r_4 әлеуеттіге, ал тоқ көзіне апаратын



7.6-сурет. Қосарлы көпір тізбегінің сызбасы

r сымы және жалғағыш сымдар — тоқ қысқыштарына жалғануы қажет.

Көпірді теңестіру үшін контурлы тоқ әдісі бойынша келесідей теңестіру дұрыс болады:

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

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

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

Осы R_x қатысты теңдеуді шеше отырып, алатынымыз:

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

Өлшеу нәтижесін тек теңдеудің оң бөлігіндегі оң мүшесі бойынша анықтау мүмкін болатындай етіп, алу қажет.

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

Осы шартты орындау үшін, қосарлы көпірдегі R_1 және R_3 , сондай-ақ R_2 және R_4 резисторларындағы жұптар R_1/R_2 қатынасын R_3/R_4 қатынасына өзгерткенде R_1/R_2 қатынасына бірдей өзгертін көпір теңдігін реттеу кезінде, осылайша механикалық байланысты тұтқалары болады.

Себебі осы қатынастардың мінсіз теңдеуі болмауы да мүмкін, онда r кедергісін r мәні өте аз болатындай, үлкен кесіктің қысқа өткізгіші түрінде орындау қажет. Сонда d шамасы іс жүзінде нөлге тең болады және

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

Осылайша R_x және R_0 кедергілеріне r қосылатын жерлердегі өтпелі кедергілердің әсері жойылады.

I тоқ жүретін сыртқы сымдардың қосылатын жеріндегі өтпелі кедергілер өлшеу дәлдігіне әсер етпейді, тек I тоңының шамасына ғана әсер етеді. r_1 , r_2 , r_3 және r_4 әлеуетті қысқыштардың өтпелі кедергісіне және жалғағыш сымдардың кедергісіне келсек, R_1 және R_2 кедергісінің және R_3 және R_4 кедергісінің жеткілікті үлкенін таңдай отырып (10 Омнан кем емес), осы кедергілердің әсерін әшейін болмашы етуге болады.

Әркелкі көпірлер. Әркелкі көпірлермен жұмыс кезінде ең алдымен өлшеу көрсеткіші тек көпір иінінің көрсеткішіне тәуелді болатындай және қуат көзі кернеуінің тербелісіне тәуелді болмайтындай қамына кірісу қажет.

Осыған байланысты, әрқелкі көпірлерде, әдеттегідей өлшеу ретіндегі логометрді пайдаланады. Көпір сезгіштігі аз жағдайларда тоқтың шамдық күшейткіштерін немесе өлшеу диагоналының кернеуін қолдануға тура келетін болса, қуат кернеуінің тұрақтандырғышын пайдалану қажет.

Тәжірибеде өлшеу ретіндегі магнитэлектрлік логометрмен бірге тұрақты тоқтың көпірлі тізбектерінің екі түрін қолдану кең таралған. (7.7-сурет).

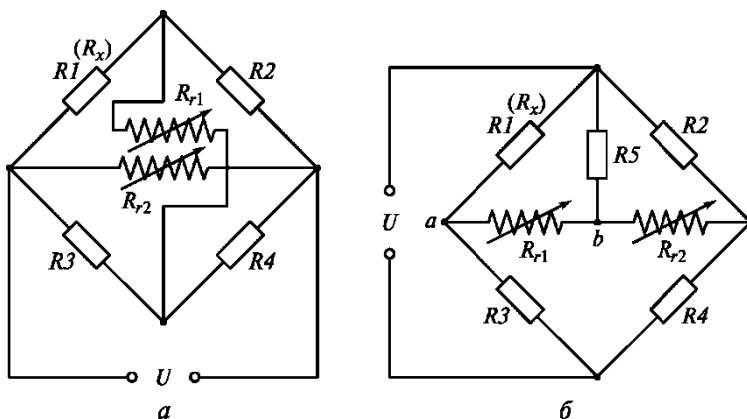
7.7, а суретте логометр кәсегінің біреуі (R_{r1}) көпірдің өлшеу диагоналына және екінші кәсегі (R_{r2}) — көпірді қуаттау диагоналына қосылған. Көпір иінінің біреуіне қосылған R_x кедергісін өзгерту кезінде, тоқ тек логометрдің R_{r1} кәсегінде ғана өзгереді, сонда қалайша R_{r2} кәсегіндегі тоқ R_x кедергісінің өзгеруіне байланысты болмақ.

Логометрдің ауытқу бұрышы кәсектегі тоқ қатынасының функциясы болып табылады:

$$\alpha = f \left(\frac{I_{r1}}{I_{r2}} \right).$$

Себебі, I_1 және I_2 тоқ көпір қуат көзінің U кернеуіне дәл келеді, сонда a ауытқу U тұрақтылыққа байланысты болмайды.

7.7, б суретте бейнеленген логометрмен бірге көпір тізбегіндегі R_x кедергісінің өзгеруі кезінде, тоқтың өзгеруі екі кәсекте, мұнымен қоса әртүрлі белгілермен өтеді, бұл 7.7, а суреттегі тізбекпен салыстырылуы бойынша осы тізбектегі үлкен сезгіштікті қамтамасыз ете алады. Алайда, бұл жағдайда екі тоқ та бірдей U кернеуінен және



7.7-сурет. Схемы мостовых цепей с логометром:

a — с включением рамок в разные диагонали; $б$ — с включением рамок в одну измерительную диагональ

а логометрінің ауытқу бұрышынан, сонымен бірге қуат көзінің кернеуіне тәуелді болады.

7.7 –сурет сызбасындағы $R_1 (R_x)$ — өлшенетін кедергілер; R_2-R_4 — көпір иіндері; R_5 — көпірдің жартылай қиысы; a және c нүктелері— көпір диагоналы.

Әрқелкі көпірлерді пайдалану кезіндегі маңызды мәселе AR_x берілген өлшеу кезіндегі, яғни R_x өзгеруіне қатысты берілген кезіндегі a өлшеуішінің ең көп ауытқуын қамтамасыз ететін, иін кедергісін таңдау болып табылады.

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta R_x}{R_x}$$

Магнитэлектрлік өлшеу механизмінің a ауытқу бұрышы мәні бойынша кәсек қуатынан шығатын квадарт түбіріне тең болады. Кәсектегі тоқтың a ауытқу бұрышына тәуелділігі келесідей түрінде болады:

$$a = C_i w I_r, \quad (7.1)$$

мұндағы c_x — тұрақты, $\frac{B_s}{W}$; -мөң; w — орамдар саны.

Бір жағынан, егер кәдімгі кәсек терезесінің берілген шеңберінен шығатын болса,

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

мұндағы d — орам сымның диаметрі; k_y — бірліктен аз төсем коэффициентімен және сыммен оқшаулау қалыңдығымен белгіленсе, онда

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{S k_y}{w}.$$

Екінші жағынан, кәсектің кедергісі

$$R_r = \frac{\rho w l_1}{\frac{\pi d^2}{4}}, \quad (7.2)$$

мұндағы ρ — кәсек материалының меншікті кедергісі; l_1 — бір кәсек орамының ұзындығы.

Осы өрнектен шығатыны

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\rho w l_1}{R_r}. \quad (7.3)$$

(7.2) және (7.3) өрнектерін сал ыстыра отырып, алатынымыз

$$\frac{Sk_y}{w} = \frac{\rho w l_1}{R_r},$$

бұдан

$$w = \sqrt{\frac{SR_r k_y}{l_1 \rho}} = c_2 \sqrt{R_r}.$$

Сонда (7.1) өрнек келесі түрінде болады:

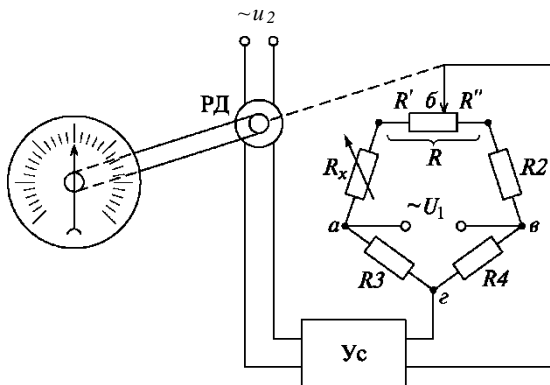
$$\alpha = c_1 c_2 I_r \sqrt{R_r} = c I_r \sqrt{R_r} = c \sqrt{P_r},$$

мұндағы P_r — логометр кәсегіндегі қуат.

Осылайша, көпір иінінің кедергісін таңдау кезінде өлшеуіштегі ең жоғарғы қуатты алуға тырысу қажет.

Бейэлектрлік шамаларды өлшеуге арналған көпірлі тізбектерді (тепе-тең, сондай-ақ әркелкі режимде) пайдалану жағдайында, көпір иініне түрлендіргіш қосылғанда, температураның, жиіліктің және т.б. қосымша қателіктерін жою аса маңызды болып табылады.

Көпір тізбегін пайдалану кезінде, температуралық қателік өтемінің тиімді құралымен түрлендіргішті қосу жұмыс түрлендіргішіне ұқсас R_2 жұмыстан бос түрлендіргішін көпірдің көрші R_1 жұмыс иінімен бірге қосу болып табылады, бұл ретте R_1 және R_2 температуралық өзгертулер бір-бірін өтейтін болады.



7.8-сурет. Автоматты теңестірілген көпір тізбегінің қағидалық сызбасы

Ауыспалы токтың белсенді кедергісін өлшеуге арналған автоматты теңестірілген көпір тізбегінің қағидалық сызбасы 7.8-суретте келтірілген.

7.8-суреттегі сызбада көпірдің екі иініне R реохордтың R' және R'' бөліктері қосылған, оның қозғалтқышы реверсивтік қозғалтқыштың (РҚ) осіне беру арқылы байланысады. Егер көпір теңестірілсе, онда б және г нүктелері арасындағы кернеу нөлге тең болады және қозғалтқыштың роторы қозғалмайды.

Көпір диагоналындағы (б және г нүктелері арасындағы) өлшенетін R_x кедергісін өлшеу кезінде, шамасы R_x мәніне тәуелді ауыспалы токтың кернеуі пайда болады. Бұл кернеу U_c күшейткішімен күшейеді және реверсивтік қозғалтқышқа беріледі. Соңғысының роторы айналдыру қозғалысына келеді, әрі айналу бағыты u_{ϕ} кернеуінің фазасына байланысты. Ротордың айналуы кезінде, реохорд қозғалтқышы көпірдің теңелуіне жету жағына және бір мезгілде нұсқағыштың сілтегішіне бұрады. Қозғалтқыштың роторын айналдыру көпір теңестірілгенге дейін жүретін болады. Нұсқағыштың шкаласы өлшенетін шаманың бірлігімен градусталатын болады, мысалы: егер R_x кедергі термометрі түрлендіргіш болып табылатын градуспен.

7.8-суреттегі сызбада R2-R4 — көпір иіндері; U — көпірдің қуат кернеуі; U_2 — РҚ қуат кернеуі; а—г — көпір нүктелері.

Автоматты көпірдің қателігі әдетте 0,5% аспайды. Сезгіштік шегі, яғни қозғалтқыштың іске қосылуын туындатушы өлшенетін шаманы өзгертудің ең аз мәні, шамамен аспап шкаласының 0,2% тең болады.

7.4. Оқшаулау кедергісін өлшеу.

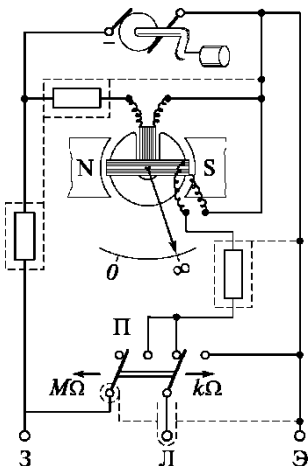
Кабельдегі оқшаулау жерінің бүлінгенін анықтау

Қазіргі кезде оқшаулау кедергісін өлшеу үшін қолданатын негізгі аспап мегомметр болып табылады. Оқшаулаудың жүздеген және мыңдаған мегаға жететін кедергілері сияқты үлкен кедергілерді өлшеу үшін әдеттегіше жүздеген вольттық кернеу қажет. Мегомметрлер 500, 1 000 және 2 000 В арналған ішкі генератормен шығарылады. Генератор қолмен айналдыратын ротормен және тұрақты магниттер туындауымен орындалады. Айналу жылдамдығы ортадан тепкіш реттеуіштің делдалымен тұрақты сүйемелденіп отырады.

Мегомметрдің өлшеуіші магнитэлектрлік логометр болып табылады (7.9-сурет). Екі полюстік П тоқ аударғышы дәйекті сызбадан (МН) қатарлас (Ю) ауысуға мүмкіндік береді. Сәйкесінше, аспап шкаласында белгінің тікелей (кН) және кері (МҚ) екі қатары болады.

7.9-сурет. Мегомметрдің тізбек сызбасы

Аспап өлшеу механизмінен шығып кеткен тоқты бұрып жіберуге, сондай-ақ өлшенетін кедергі қосылатын Л (сызық) және З (жер) қысқыштары арасындағы окшаулау кедергісінің әсерін жоюға мүмкіндік беретін Э(экаран) қысқышымен жабдықталған. Бұл қатарлас өлшенетін кедергі қосылған окшаулау кедергісі, соңғысы үлкен мәндер кезінде, өлшеу қателіктеріне әкелуі мүмкін.



Жылдамдықтың ортадан тепкіш реттеуіші логометрмен үйлесіп, іс жүзінде генератор роторының айналу жылдамдығынан аспап көрсеткішіне толық тәуелсіздігін қамтамасыз етеді.

Үлгі ретінде екі өткізгіштік желінің жерге қатысты окшаулау кедергісін өлшеуді қарастырамыз. Бұл ретте екі нұсқа болуы мүмкін:

- 1) желі кернеулі болмайды;
- 2) желі кернеулі болады.

Егер желі кернеулі болмаса, онда окшаулаудың кедергісін мегомметрмен өлшеу оңтайлы. Желі кернеулі болған жағдайда, окшаулау кедергісін өлшеу үшін вольтметрді қолданады.

7.10-суретте кернеулі болмайтын желінің окшаулау кедергісін өлшеуге арналған тізбек сызбасы ұсынылған.

Мегомметрмен өлшенген кедергі

$$R = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B},$$

мұндағы R_A және R_B — жерге қатысты А және В сымдарын окшаулау кедергісі.

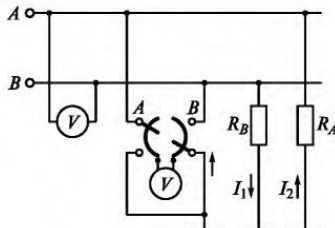
Өлшенген кедергі R_A немесе R_B кедергісіне қарағанда аз және егер R_B өлшенген кедергі жарытымды нормада болып шықса, онда жерге қатысты кез келген сымдардың (R_A және R_B) кедергісі нормаларға сөзсіз үйлесетін болады.

Сымдар арасындағы окшаулау кедергісін өлшеу тек егер R_n күші ажыраған жағдайда ғана мүмкін.

7.11-суретте вольтметрдің көмегімен кернеулі болатын желінің окшаулау кедергісін өлшеуге арналған тізбек сызбасы көрсетілген.



7.10-сурет. Кернеуі болмайтын, желіні оқшаулау кедергісін өлшеу кезіндегі тізбек сызбасы



7.11-сурет. Кернеулі желінің оқшаулау кедергісін өлшеуге арналған тізбек сызбасы

Оқшаулауды өлшеу үшін келесілерді анықтаймыз:

- 1) U желінің жұмыс кернеуі;
- 2) A сымы және жер арасындағы U_A кернеуі (тоқ аударғыштың A күйі кезіндегі вольтметрдің көрсетуі);
- 3) B сымы және жер арасындағы U_B кернеуі (тоқ аударғыштың B күйі кезіндегі вольтметрдің көрсетуі).

Вольтметрдің кедергісін R_V арқылы белгілеп, R_A және R_B — жерге қатысты A және B сымдарын оқшаулау кедергісін, A сымына вольтметрді қосқан кезде, B сымын оқшаулау арқылы баратын j_1 тоғы үшін, өрнекті былай жазуға болады:

$$I_1 = \frac{U - U_A}{R_B} = \frac{U}{R_A R_V / (R_A + R_V) + R_B}.$$

B сымына қосылған вольтметр кезінде A сымын оқшаулау арқылы баратын j_2 тоғы үшін өрнекті былай жазуға болады:

$$I_1 = \frac{U - U_A}{R_B} = \frac{U}{R_A R_V / (R_A + R_V) + R_A}.$$

B сымына қосылған вольтметр кезінде A сымын оқшаулау арқылы баратын j_2 тоғы үшін өрнекті былай жазуға болады:

$$I_1 = \frac{U - U_B}{R_A} = \frac{U}{R_B R_V / (R_B + R_V) + R_A}.$$

R_A және R_B қатысты алынған екі теңдеуді шеше отырып, жерге қатысты A сымын оқшаулау кедергісін және:

$$R_A = R_V \frac{U - U_A - U_B}{U_B} \quad (7.4)$$

жерге қатысты B сымын оқшаулау кедергісін табамыз :

$$R_B = R_V \frac{U - U_A - U_B}{U_A}. \quad (7.5)$$

Жерге қатысты сымдардың әрқайсысының оқшаулау кедергісін табу үшін, оларды қосқан кездегі вольтметрдің көрсетуін есептеу қажет және бұл көрсетулерді келтірілген формулаларға қою қажет.

Егер жерге қатысты сымдарды оқшаулау кедергісі вольтметрдің кедергісімен салыстырғанда шамалы болса, онда R_A және R_B кедергісі арқылы баратын тоқты, сондай-ақ (7.4) және (7.5) өрнектеріндегі U_A және U_B кернеулерінің кемуін ескермеуге болмайды. Сонда (7.4) және (7.5) өрнектері тым қарапайым түрінде болады:

$$R_A = R_V \left(\frac{U}{U_B} - 1 \right); \quad R_B = R_V \left(\frac{U}{U_A} - 1 \right).$$

Кабельді оқшаулаудың бүлінуі кабельдің тарамы мен сауыттары арасындағы саңылаусыздықтың бұзылуы кезінде, кабель тарамының үзілген тарамдары арасындағы саңылаусыздықтың бұзылуы кезінде орын алуы мүмкін.

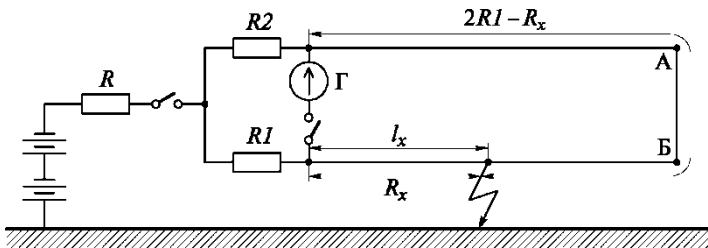
Электр желісін басқару пульті кабелінің бүлінген жерін анықтау үшін әртүрлі әдістерді қолданады. Осы мақсат үшін көпірдің екі иінін құрайтын екі тарамнан шығатын дара көпірлерді жиірек пайдаланады.

Үлгі ретінде 7.12-суретте кабельдің тарамдары мен сауыттары арасындағы саңылаусыздықтың бұзылған жерін анықтау үшін көпір тізбектерінің сызбасы келтірілген. А және Б тарамдарының дұрыс және бүлінген ұштары тұйықталады. Сонда R_x кедергісімен және $2R_1 - R_x$ кедергісімен (R_1 — бір тарамның кедергісі) R_1 және R_2 . Кедергілерінің қораптарымен жасалған көпірді аламыз.

Көпірдің теңелуі кезінде (R_1/R_2 реттеу жолымен) болатыны:

$$\frac{R_1}{R_2} = k \frac{R_x}{2R_1 - R_x},$$

мұндағы k — коэффициент.



7.12-сурет. Кабельдің тарамдары мен сауыттары арасындағы саңылаусыздықтың бұзылған жерін анықтауға арналған көпір тізбегінің сызбамы

Бұдан

$$R_x = 2R_1 \frac{k}{k+1},$$

сонда өлшеу көпірінен бүлінген жерге дейінгі арақашықтық

$$l_x = R_x \frac{s}{\rho},$$

мұндағы s — сымның кесігі; ρ — меншікті кедергі.

Егер кабельдің кесігі бүкіл ұзындығы бойы бірдей болса, онда формулаға (7.6) R_x және R_1 орнына l_x және l қоюға болады, сонда

$$l_x = 2l \frac{k}{k+1}.$$

Өлшеу тізбегінің барлық жалғағыш сымдарының кедергісі R_x және R_1 кедергілеріне қарағанда едәуір аз болуы қажет, олай болмаған жағдайда өлшеудің едәуір қателігі орын алатын болады.

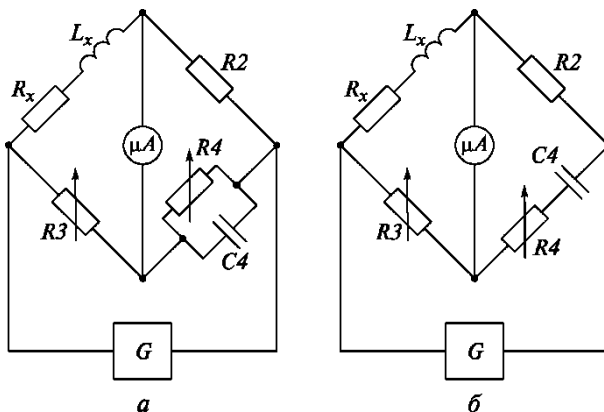
Дара көпірлер құрастырылымының қатарында кабельдің бүлінген жерін қарастырылған әдіспен анықтау үшін, оларды пайдалану мүмкіндігі көзделген.

7.5. Индуктивтілікті өлшеуге арналған көпірлер

Сыйымдылық пен индуктивтілікті өлшеу, негізінен ауыспалы тоқ көпірінің көмегімен жүргізіледі. Олар салыстырмалы қарапайымдылық кезінде, жоғарғы дәлдікті және сезгіштікті қамтамасыз етеді.

Шарғының индуктивтілігін және төзімділігін өлшеу үшін 7.13-суретте көрсетілген сызбаларды қолданады. 7.13, *a* суреттегі сызбаны төзімділігі аз ($Q < 30$) кезінде, ал 7.13, *б* суреттегі сызбаны төзімділігі көп ($Q > 30$) кезінде пайдаланады. L_x индуктивтілікті және R_x кернеулі өлшенетін шарғы көпірдің бірінші иініне, C_4 үлгілік конденсатор және R_4 ауыспалы резистор –қарама-қарсы иінге қосылады. Тағы бір ауыспалы элемент R_3 резисторы болып табылады. R_4 резисторы C_4 үлгілік конденсаторға не болмаса қатарлас (7.13, *a* суретті қараңыз), не болмаса біртіндеп (7.13, *б* суретті қараңыз) қосылуы мүмкін. Қуаттану G ауыспалы тоқ көзінен жүзеге асырылады. ($Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$) иіндердің кешенді кедергілерін теңдестіруге сәйкес, 7.13, *a* сурет үшін көпір теңдеуінің шартын былай жазамыз:

$$(R_x + j\omega L_x) \left[\frac{1}{(1/R_4 + j\omega C_4)} \right] = R_2 R_3,$$



7.13-сурет. Шарғының индуктивтілігін және төзімділігін өлшеуге арналған сызба

a — төзімділігі аз кезінде; *б* — төзімділігі көп кезінде

мұндағы ω — қуат кернеуінің жиілігі; j — кешенді кедергіні жорамал құраушы көрсеткіш; R_2 , R_3 және R — көпір иіндері.

Шынайы және жорамал құраушы бөлу мынадай қатынастарға әкеледі:

$$R_x = R_2 R_3 / R_4 \quad (7.7)$$

$$L_x = C_4 R_2 / R_3. \quad (7.8)$$

(7.7) және (7.8) теңдеуге жиілік енбейді, сәйкесінше, егер көпір қуаттау кернеуінің қисық формасы тіпті таза синусоидалық болмаса да, теңелуі мүмкін. Шарғының төзімділігі мына формула бойынша анықталады

$$Q_x = \omega L_x / R_x = \omega C_4 R_4.$$

ω қуат кернеуінің белгіленген жиілігі және R_4 резисторының ауыспалы тоқ шкаласының Q тұрақты сыйымдылығы кезінде Q_x төзімділіктік мәндерінде градуосталуы мүмкін.

7.13, б суретте ұсынылған көпір сызбасына теңдеудің келесідей шарты сәйкес келеді:

$$(R_x + j\omega L_x)(R_4 + 1/j\omega C_4) = R_2 R_3. \quad (7.9)$$

(7.9) теңдеу шарты теңелу жүйесіне сәйкес келеді:

$$R_x R_4 + L_x / C_4 = R_2 R_3;$$

$$\omega L_x + R_4 = R_4 / (\omega C_4),$$

шешімі R_x және L_x қатысты келесідей түрінде болады:

$$R_x = \omega^2 C^2 R_2 R_3 R_4 / [1 + \omega C_4 R_4]^2]; \quad (7.10)$$

$$L_x = C_4 R_2 R_3 / [1 + (\omega C_4 R_4)^2] \quad (7.11)$$

және

$$Q_x = \omega L_x / R_x = 1 / (\omega C_4 R_4).$$

Сонымен, R_4 ауыспалы резистордың шкаласы қайтадан Q_x төзімділіктік мәндерімен градуосталуы мүмкін.

R_x және L_x үшін (7.10) және (7.11) қатынастарына жиілік енеді, сондықтан көпір жиілікке тәуелді болып табылады. Тепе-теңдік тек ю қуат кернеуінің бірқатар жиілігі кезінде орын алуы мүмкін. Егер оны өзгертетін болса, онда тепе-теңдік бұзылады.

7.6. Сыйымдылықты өлшеуге арналған көпірлер

Сыйымдылықты өлшеу кезінде C_3 үлгілік конденсаторды және R_2 және R_4 ауыспалы резисторлардың сызбасы пайдаланады (7.14-сурет). Зерттелетін конденсатор осы сызбада C_x сыйымдылықтың және R_x белсенді кедергісінің дәйекті қосылысымен ұсынылады (ауыстырылады). R_x енгізу конденсатордағы кемудің болуына байланысты қажет. Қуат беру G ауыспалы тоқ көзінен жүзеге асырылады. Тендеу шарты былай болады:

$$R_x = R_2 R_3 / R_4 \quad (7.12)$$

және

$$C_x = C_3 R_4 / R_2. \quad (7.13)$$

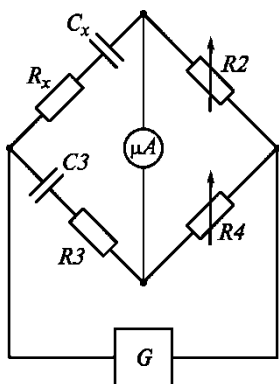
Конденсатордағы кемуді R_x қатынасымен ауыстыруға байланысты, дәйекті сызба жағдайындағыдай, тангенс бұрышының $\text{tg } \delta$ кему мәнімен сипаттау қабылдаған.

$$\text{tg } \delta = \omega C_x R_x.$$

Шарт есебімен (7.12) және (7.13) бұл қатынастарды келесідей бейнеде жазуға болады:

$$\text{tg } \delta = \omega R_3 R_2.$$

R_4 және R_3 ауыспалы резисторларды C_x сыйымдылық және $\text{tg } \delta$ мәндері бірлігінде градуостауға болады.



7.14-сурет. Сыйымдылықты өлшеуге арналған көпір сызбасыизмерения емкости

Көбінесе 100 және 1 000 Гц ауыспалы ток көпірлерінің қуат кернеуі жиілігін қолданады. Өте жоғары жиілік кезінде, әртүрлі зиянды байланыстар қатты білінеді.

Кернеуді, индуктивтілікті және сыйымдылықты өлшеуге арналған көпірлерді көбінесе бір аспапқа орналастырады. Мұндай аспаптарды *эмбебап өлшеуіш көпірлері* деп атайды. Олар индуктивтілікті микро генриден бастап мыңдаған генриге дейінгі үлеспен, сыйымдылықты – жүздеген пикофардтан бастап, мыңдаған микрофардқа дейінгі үлеспен өлшеуге мүмкіндік береді. Өлшеудің салыстырмалы қателігі жүздеген пайыз үлесінен аспауы тиіс.

Бақылау сұрақтары

1. Кедергіні амперметр-вольтметр әдісімен өлшеу кезінде қандай әдістемелік қателіктер туындайды?

2. Омметр дегеніміз не және онымен өлшенетін кедергіні қосудың қандай тәсілдері болады?

3. Қандай кедергілерді дара, ал қандайларын –қосарлы көпірлермен өлшейді? Тепе-тең және әркелкі көпірлер дегеніміз не?

4. Кедергіні өлшеуге арналған автоматты көпір қалай жұмыс істейді?

5. Оқшаулау кедергісі қандай аспаптармен және қандай бейнеде өлшенеді?

6. Кабельді оқшаулаудың бүлінген жері қалай анықтауға болады?

7. Шарғы индуктивтілігі қандай тәсілмен өлшенеді?

8. Шарғы төзімділігінің аз және көп мәндерін өлшеуге арналған көпірлер несімен ерекшеленеді?

9. Конденсаторлардың сыйымдылығын өлшеу қалай жүргізіледі?

10. Конденсатордың тангенс бұрышының кемуін қандай аспаппен өлшеуге болады?

ӘМБЕБАП ЖӘНЕ АРНАЙЫ ЭЛЕКТРӨЛШЕУ АСПАПТАРЫ

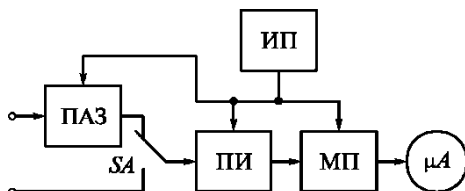
8.1. Әмбебап вольтметрлер

Әмбебап вольтметрдің үлгілік функционалдық сызбасы 8.1-суретте келтірілген. Кіру шамасының тұрақты кернеуін өлшеу кезінде ток бағыты ток аударғыш арқылы кіру сигналы қажет болған кезде масштабты түрлендіргішпен МТ түрленетін, күші магнитэлектрлік микроамперметр болып табылатын, импеданс түрлендіргішінің ИТ кіруіне беріледі. Ауыспалы кернеуді өлшеу кезінде өлшенетін шама ПАЗ кіруіне түседі, ПАЗ шығуындағы тұрақты кернеу тұрақты токтың вольтметрмен өлшенеді. Вольтметрдің метрологиялық қасиетіне әсер ететін маңызды құрамдық бөлігі ИТ қуат көзі болып табылады. 8.1-суреттегі сызбада мақсаты өте жоғарғы жиіліктегі (10^8 - 10^9 Гц). вольтметрдің жұмысын қамтамасыз ету болып табылатын жағдайлардағы түзеткіш-күшейткіш құрылымы іске асырады. Жоғарғы кіру импедансын қамтамасыз ету кезінде, егер жоғарғы сезгіштікті алу міндеті қойылмаса, әдетте ПАЗ пассивті 8.1-суреттегі сызбаны пайдаланады.

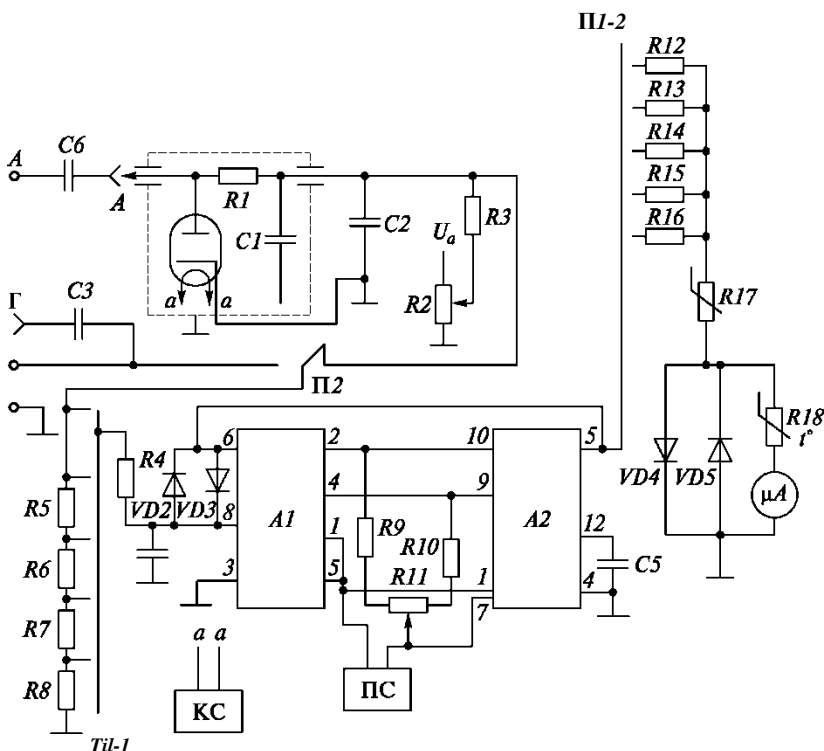
Әмбебап вольтметрлерді жасау кезінде басты бейнедегі жабық кірудің ПАЗ сызбасын пайдаланады, бұл кірудегі тұрақты кернеуді құраушыдан оның шығуындағы кернеудің тәуелсіздігімен түсіндіріледі.

8.2-суретте түзеткіш-күшейткіш құрылымы бойынша құрастырылған, ПАЗ пассивті әмбебап вольтметрдің сызбасы ұсынылған.

Тұрақты ток вольтметрінің сызбасы пассивтік масштабты түрлендіргіштен және магнитэлектрлік вольтметрдің шығуындағы импеданс түрлендіргішінен тұрады. Масштабты түрлендіргіште резистордың екі жинағы болады: *біріншісі* ($R5$ - $R8$) П1— 1 ток аударғышпен бірге өлшеудің жоғарғы диапазондарын ажыратуға арналған кіру ДН құрады;



8.1-сурет. Әмбебап вольтметрдің функционалдық сызбасы



8.2-сурет. Эмбебап вольтметрiнiң сызбасы

екiншiсi ($R12$ — $R15$) магнитэлектрлiк вольтметрдiң қосымша резисторларын құрайды және П1 — 2 ток аударғышпен бiрге өлшеудiң төменгi диапазондарын ажыратуды жүзеге асыруға мүмкiндiк бередi. Импеданс түрлендiргiшi $A1$ және $A2$ интегралдық сызбаларында жиналған күшейткiштi құрайды. $A1$ микросхемасы бастаулық қайталағыш сызбасы бойынша қосылған өрiстiк транзисторлардың келiсiлген жұбын баяндайды және ИТ жоғарғы кiру кедергiсiн қамтамасыз етедi. $A2$ микросхемасы дифференциалдық кiрудiң операциялық күшейткiшi болып табылады. Күшейткiштiң теңгермесi үшiн $A1$ микросхемасының кiруiне $R9$ және $R10$ резисторлары арқылы қосылған, $R11$ ауыспалы резистор қызмет етедi. Күшейткiш ИТ кiру импедансының талап етiлетiн жоғарғы мәнiн қамтамасыз етушi және күшейткiштiң сипаттамасын тұрақтандырушы бiрегей терiс керi байланыспен ($A2$ микросхемасының 5 шығуынан $A1$ микросхемасының 6 кiруi) қамтылған. ИТ кiру $VD2$ және $VD3$ диодтарының артық салмағынан қорғалған. Микросхеманың қуаты параметрлiк тұрақтандырғышпен ПТ жүзеге асырылады. Шығу аспабы-толық ажыратылған 100 мкА тоғының микроамперметрiнiң негiзiндегi магнитэлектрлiк вольтметр.

Вольтметрдің сызбасына өлшеуіш механизмін артық салмақтан қорғауға арналған R_{12} — R_{15} қосымша резисторлары, R_{16} , R_{17} реттеуші резисторлары және VD_4 , VD_5 кремнийлі стабилитрондар енгізілген.

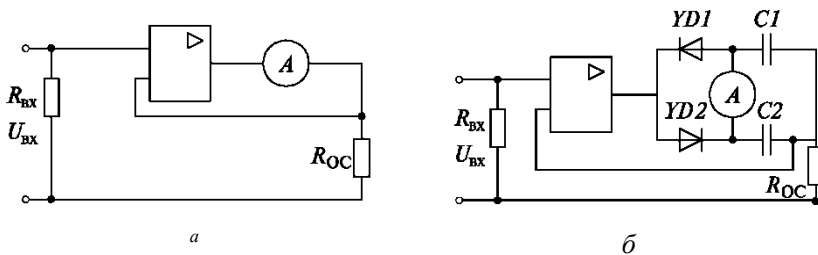
Ауыспалы тоқтың ПА3 вольтметр құрылымына енетіндер сызба бойынша диодты-нувисторлы жабық кірумен орындалған. Вакуумдық диодты пайдалану шамалы кері кедергімен және тым аз кіру сыйымдылығымен бірге түзеткіш элементінің болуына тырысуымен түсіндіріледі.

Өлшенетін кернеудің жоғары жиіліктігін құраушысы R_1 , C_1 сүзгісімен, ал төменгі жиіліктісі - R_1 , C_2 сүзгісімен сүзіледі. R_1 және R_3 ($R_3 \gg R_2$) мәндері арасындағы қатынас кернеу тұрақты ток вольтметрінің кіруіне $\sqrt{2}$ аз амплитудамен берілетіндей бейнеде таңдалған. 20-1000 МГц жиіліктік диапазонмен берілгенді қамтамасыз ету үшін, ПА3 сызбасында разрядты сыйымдылықты ауыстыру мүмкіндігі қарастырылған. ПА3 сынаспабында (А қуыс бұрғы) орналасқан төменгі жиіліктік кіру жұмысы кезінде, Г ұясына қойылады. Бұл жағдайда өлшенетін кернеу U-, U~, клеммаларына беріледі және разрядты сыйымдылық функциясын C_3 (0,1 мкФ) конденсаторы орындайды. Сынаспапта жоғары жиіліктік кіруді пайдалану кезінде, C_6 (1 000 пФ) конденсаторлы қондырманы орналастырады.

Төменгі жиіліктік және жоғарғы жиіліктік кірулерге арналған разрядтың тұрақты уақыты 3 с және 30 мс ретті мәндерін құрайды.

Бастапқы ток диодының R_3 кернеуіне кемуі нөлдің R_2 резисторына ауысуы кернеуімен өтемделеді. Ауысу кернеуі және диод қызуының кернеуі өтемдік тұрақтандырғышпен ӨТ тұрақтандырылған.

Вольтметр 30 мВ-300 В тұрақты, ал ауыспалы 200 мВ-300 В кернеу өлшемдерінің диапазонын қамтамасыз етеді. Аспап жиынтығына енетін ішкі масштабы түрлендіргіштерді қолдану өлшем диапазонын 1 000 В дейін кеңейтеді.



8.3-сурет. Күшейткіш-түзеткіш түріндегі эмбебап вольтметрдің әрекет қағидатын бейнелейтін сызбалар:

a — тұрақты кернеу режимінде өлшеу; b — ауыспалы кернеу режимінде өлшеу

Тұрақты ток вольтметрiнiң негiзгi қателiгi 2,5-4 % құрайды, ал ауыспалы токтың вольтметрi 20. 1 000 МГц — 4.6 % жиiлiк диапазонында орналасады.

Бұрын түзеткiш-күшейткiш түрiндегi әмбебап вольтметр қарастырылған болатын. Қазiргi микроэлектроника негiзiнде аз дрейфтi жоғары тұрақтылықты күшейткiштiң пайда болуы күшейткiш-түзеткiш түрiндегi әмбебап вольтметрлердiң сызбасын құру үшiн пайдалануға мүмкiндiк бередi. Күшейткiш-түзеткiш сызбасы бойынша құрылған әмбебап электрондық вольтметрдiң мүмкiн болатын құрылымын қарастырайық. 8.3, а, б суреттерiнде тұрақты және ауыспалы кернеудi өлшеу режимiндегi вольтметрдiң жұмыс қағидатын бейнелейтiн сызбалар келтiрiлген. Шексiз терiс керi байланыстың болуы (R_{oc} резисторы) күшейткiш коэффициентiнiң жеткiлiктi тұрақтылығы кезiнде кiрудiң жоғары кедергiсiн алуға мүмкiндiк бередi. Керi байланыстың шегi микроамперметр және R_{oc} резисторы кедергiсiнiң арақатынасымен анықталады.

Ауыспалы кернеудi өлшеу режимiнде қарастырылатын вольтметр түзеткiш элементтерiн ОС тiзбегiне қоса отырып, орташа мәндi екi жартылай периодты белсендi түрлендiргiштi құрайды. Күшейткiш ретiнде сипаттамасы бойынша келетiн операциялық күшейткiштер пайдаланылуы мүмкiн. Қарастырылған сызба жеткiлiктi кең жиiлiктiк диапазонды сақтау кезiнде ауыспалы кернеудi өлшеу режимiндегi сезгiштiк шегiн мәндi түрде төмендетуге мүмкiндiк бередi.

8.2. Тұрақты токтың микровольтметрлерi

Өнеркәсiппен шығарылатын күшейткiштердi пайдаланумен бiрге тұрақты токтың ең жоғарғы сезгiш вольтметрлерiнiң ең төмен өлшеу шегi 1.10 мВ және 1.10 Мом кiру кедергiсi болады. Үлкен сезгiштiктi немесе үлкен кiру кедергiсiн алу қажет болған кезде спектрдi түрлендiретiн күшейткiштердi қолданады. Осындай күшейткiштердiң негiзiнде микровольтметрлердi iске асыру үлгiлерiн қарастырамыз.

8.4-суретте осындай үлгiдегi микровольтметрдiң құрылымдық сызбасы берiлген. Үш тармақты Г-бейнелi RC-Ф сүзгiсi арқылы өлшенетiн кернеу М модуляторының кiруiне берiледi. Сүзгiнi белгiлеу - кiру сигналындағы өнеркәсiптiк жиiлiктi құраушыны азайту. Сүзгiнiң болуы өлшенетiн тұрақты кернеудi он есе арттыратын 50 Гц жиiлiктi көздеу кернеуi кезiндегi аспаптың жұмыс қабiлетiн сақтауға мүмкiндiк бередi. Модулятор ретiнде дiрiлтүрлендiргiштi пайдаланады. Сүзгi және модулятор жалпы экранға жиналады.

Модуляцияланған сигнал RC- байланысымен бiрге транзисторлық күшейткiштi күшейтедi, оның бiрiншi каскады шуы аз вакуумдық триод-нувисторда құрылады.

Микроамперметрдің негізгі қателігін өлшеудің дәл диапазонының өзіндегі электрондық вольтметрдің рұқсат берілетін негізгі қателігінен үш, бес есе аз таңдап алады.

8.3. Импульстік вольтметрлер

Импульстік вольтметрлер (ИВ) үлкен қуыстылықты импульстік сигналдардың периодты амплитудасын және дара импульстердің амплитудасын өлшеуге арналған.

Импульстік сигналдардың амплитудасын өлшеудің басты қиындығы кең диапазонды уақыттық сипаттамаларды өлшеу импульстері формаларының алуан түрлілігімен - импульс ұзындықтарымен және ИВ көрсетулеріне әсер ететін қуыстылығынан туындайды. Бұл ретте, операторға импульстер формасы, уақытша параметрлері және олардың статистикалық сипаттамалары әрдайым мәлім бола бермейді, сондықтан өлшеу нәтижесіне тиісті түзетулер енгізу мүмкін емес. Дара импульстер амплитудасын өлшеу қосымша қиындықтармен байланысты. Егер периодты сигналдармен жұмыс кезінде сигналдың бірнеше дүркін әсерімен өлшенетін шама туралы өлшеуіш құрылғысына ақпарат жинақтау мүмкіндігі болса, онда дара импульстерімен жұмыс кезінде өлшеуге арналған энергия өлшеуіш құрылғысына тек импульстің болуы сәтінде ғана түседі.

Аналогті ИВ жалпыланған құрылымдық сызбасы 8.5-суретте ұсынылған.

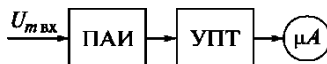
ИВ зерттелетін импульстік сигналды алдын ала күшейте отырып, құру мүмкін болады. Бұл жағдайда, импульстік күшейткіштің өту сызығы бұдан бұрынғы импульс амплитудасын түрлендіру ИАТ жағдайында, кіру сигналының параметрлеріне сәйкес келуі қажет. Бұдан кейін сигнал тұрақты тоқтың күшейткішіне ТТК түседі.

Сериялы шығарылатын электрондық вольтметрлерде негізгі техникалық сипаттамалардың келесідей шекті мәндеріне жетеді: қателік +0,5 %, жұмыс диапазонының жиілігі 20Гц-1ГГц; шығу кедергісі 10^6 Ом; өлшеудің төменгі шегі 1 мкВ.

Электрондық вольтметрлердің жаңа түрлерін құру кезінде жаңа тенденциялар деп, мыналарды есептеуге болады:

- 1) жиіліктік және динамикалық диапазондардың шектік мәндеріне таяу қателіктің 0,5-1,5 % мәніне жетуі;
- 2) интегралдық электрониканы пайдалану негізінде аспаптарды ыңғайлау;

8.5-сурет. Импульстік ұқсас вольтметрдің құрылымдық сызбасы



3) аспаптардың көп функционалдығын ұлғайту, яғни бір аспапқа тұрақты тоқ вольтметрiнiң, орта, амплитудалық және қолданыстағы импульстік вольтметрлердiң, амперметрлердiң және омметрлердiң функцияларын қосу;

4) тiркеу, автоматты өңдеу, басқару үшiн, тұрақты және ауыспалы кернеулер (токтар) бойынша күшейткiштердiң сызықтық шығуларын құру;

5) аспаптың уақытша қызуын азайту, нөлді қолмен қондырудан және сезгiштiктi калибрлеуден бас тарту, полярлықты және өлшеу шегiн автоматты таңдау.

Перспективалық деп, электрмеханикалық есептік құрылғылардың әсерлiлiгi аз АЦТ цифрлық есептік құрылғылармен және қатарлас код түрiндегi сызықтық шығулармен ауыстырылатын құрылымдарды айтады.

Мұндай АЦТ қателiктерi бағыттамалық есептік құрылғылар қателiгiне қарағанда әжептәуір аз болуы мүмкiн. Бұл жағдайда, вольтметрлердiң дәлдiгi сызбаның аналогтік бөлiгiнiң дәлдiгiмен анықталады.

8.4. Көрсетушi және тiркеушi аспаптарды жiктеу

Аналогтік электрөлшеу аспаптары өз тағайындалуы бойынша көрсетушiлер; көрсетушiлер және тiркеушiлер; көрсетушiлер және реттеушiлер; көрсетушiлер, тiркеушiлер және реттеушiлер болып бөлiнедi. .

Көрсетушi өлшеушi аспабы көрсетудi тек есептеп қояды, яғни, есептік құрылғы (шкала және нұсқағыш) бойынша белгiленген, өлшенген мәндер және қабылданған бiрлiктермен өрнектеледi. АЭК бiркелкi құнымен салыстырып, көрсетушi жоғарғы техникалық сипаттамалар оларды өндiрiстегi де, сондай-ақ зертхана тәжiрибесiнде де дара өлшеу үшiн таптырмайтындай еттi.

Тiркеушi өлшеушi аспабы көрсетудi тiркеудi қарастырады. Аналогтi формада өзгертiн мәндердi жазу үшiн электрмеханикалық тiркеушi аспаптар — өздiгiнен жазатын электрөлшеушi аспаптарын және жарық сәулелiк осциллографтарды кең пайдаланады. Өздiгiнен жазатын аспаптар мен осциллографтарда диаграмма түрiндегi көрсетудi тiркеу қарастырылған. Тiркеуге жататын функционалдық тәуелдiлiк параметрдiң уақыт бойынша өзгеруiн $x = f(t)$, немесе уақыт болып есептелмейтiн $x_x = f(x_2)$ бiр параметр мәнiнiң екiншiсiне тәуелдiлiгiн сипаттайтын кестемен ұсынылған.

Өртүрлi параметрлердi реттеу (температура, қысым және т.б.) жекелеген приставка түрiнде кiрiктiрiлген немесе орындалған реттеушi құрылғылардың көмегiмен жүзеге асырылады.

Көрсетілгенді тіркеу және реттеуші құрылғылар электр өлшеуші аспаптарға жаңа сапалар қатарын береді: өлшенетін мәндердің өзгеру процестерін зерделеу және оларды автоматты басқару мүмкіндігі пайда болады; тіркеуші аспаптар ұзақ өлшеулер кезінде бақылаушының уақытын үнемдейді.

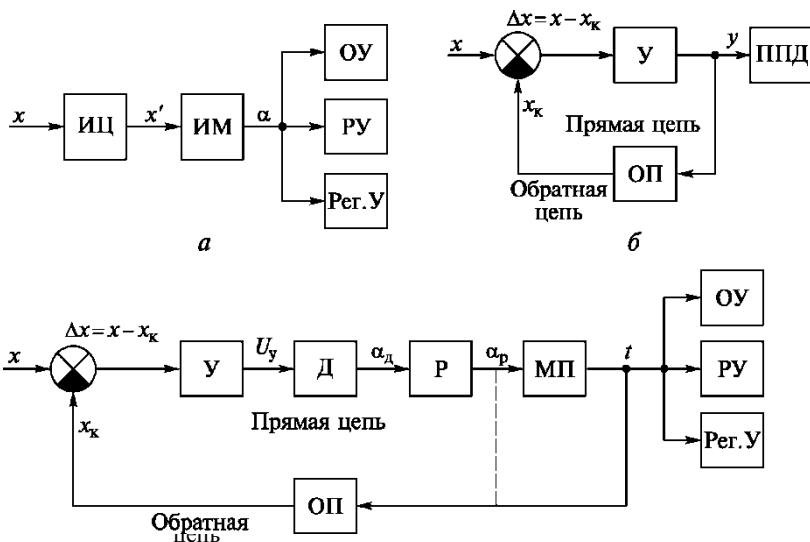
Аналогті аспаптарды жіктеудің жалпы белгісі олардың қасиеті мен тағайындалуын белгілейтін құрылымдық сызба түрі болып табылады.

АЭК құрылымдық сызба түрі бойынша шығу мәні кіруді (салыстыру аспаптары) теңдестіру үшін пайдаланатын ашық құрылымдық сызба аспаптарына (тікелей әрекет ету аспаптары) және жабық құрылымдық сызба аспаптарына (бөлінеді). Теңдестіру процесі үздіксіз жүзеге асырылады (қадағалаулы теңдестіру).

Қадағалаулы теңдестірумен бірге салыстыру аспаптарын статикалық (интегралдаушы тармақсыз) және бейстатикалық сипаттамалы (интегралдаушы тармақпен-қозғалтқышпен) аспаптарына бөледі.

8.6-суретте АЭК негізгі құрылымдық сызбалары келтірілген.

Аспаптың өлшеуіш тізбегі ΘT барлық өлшеу ақпаратының сигналын түрлендіруді жүзеге асыруды қамтамасыз ететін түрлендіру элементтерінің жиынтығын құрайды. Тікелей әрекет ету аспаптарының өлшеу тізбегінде (8.6-сурет, а) және



8.6-сурет. АЭК негізгі құрылымдық сызбасы:

а — ашық; б — жабық статикалық сипаттамамен; в — жабық бейстатикалық сипаттамамен

салыстыру аспаптарының тікелей тізбегінде (8.6, б, в-сурет) жалпы жағдайда өлшеу түрлендіргіштерінің (модуляторлар, күшейткіштер және басқалары). n -е саны болады. Күшейткіштер K түсетін сигналдарды күшейтуге арналған.

Өлшеу механизмі ΘM аспап құрастырылымының бөлігі болып табылады және олардың өзара іс-қимылы өзара алмасуды (a — ΘM қозғалмалы бөліктің бұрылуы бұрышы) туындататын элементтерден тұрады. Өлшеу механизмдері ретінде қағидаттық әртүрлі әрекет ететін электрмеханикалық түрлендіргіштерді пайдаланады.

Аналогтік аспаптардың есептік құрылғысында ЕҚ сандық белгі шкалалары және сілтегіш немесе жарық сәуле түріндегі нұсқағыш болады.

Тіркеуші құрылғы ТҚ құрамына келесідей негізгі элементтер мен тораптар енеді: тіркеу жүргізілетін материал (тасымалдағыш); тіркеу белгілерін (нүкте, сызық және т.б.) түсіретін тіркеуші орган; тіркеуші органға әсер ететін механизм; тасымалдағыш орнын ауыстыратын құрылғы. Жазықтықтағы тіркеуші органның орны өлшенетін шаманың сандық белгісімен белгіленеді. Зерттелетін функционалдық тәуелділік кестесін алу үшін тасымалдағыштың орнын ауыстыру уақыттың өзгеруіне немесе басқа параметрге сәйкес болуы қажет. Жылжымайтын тасымалдағыш аспабында тіркеуші орган екі тәуелсіз қозғалыс жасайды, яғни екі дәрежелі еркіндік болады. Тіркеуші құрылғы ТҚ жүйені реттеу объектісімен байланыстырады.

Статикалық сипаттамалы аспаптың құрылымдық сызбасының жабық бөлігінің шығу шамасы (8.6, б-суретті қараңыз) тікелей әрекет ету аспабымен ТЭА өлшенетін және тіркелетін кернеу немесе ток болып табылады.

Бейстатикалық сипаттамалы аспаптың шығу шамасы K қозғалтқыш білігінің a_d бұрылу бұрышы немесе P редуктордың a_p бұрышы болып табылады. Редуктордың шығу білігінің айналуы нұсқағыштың сызықтық орын ауыстыруына және арнайы механикалық беріліс МБ көмегімен тіркеуші органға айналады.

Салыстыру аспабындағы x өлшенетін мәні кері түрлендіргішпен КТ өндірілетін x_k сигналының мәнімен өтеледі. Статикалық сипаттамалы аспаптарда кіру шамасының өтемі толық болмайды, ал бейстатикалық аспаптарда кіру шамасы теориялық толықтай өтеледі.

Қадағалаулы теңдестіруді салыстыру аспаптары *автоматтықтар* қатарына жатады, себебі ондағы теңдестіру процесі автоматтандырылған.

Құрылымдық сызбалардан басқа жіктемелі белгілері функционалды тағайындалуы, дәлдік, динамикалық сипаттамасы, каналдар саны, жазу әдісі және басқалары болып табылады.

8.5. Аспаптардың көрсетуін тіркеу тәсілдері

Тіркеу — бұл дегеніміз бірнеше материалдық тасымалдағыштарда (қағаздық, магниттік немесе фотоүлдір және т.б.) орналасқан, көрнекі немесе жасырын бейне формасында өлшеу ақпаратын ұсыну.

Қазіргі тіркеу техникасында геометриялық, физикалық және цифрлық таңбаларды пайдаланады. *Геометриялық таңба* деп сызық кесінділерін, екі нүкте мен бұрыш арасындағы арақашықтықты; *физикалық деп* — магниттеу қарқындылығы мен түр-түстік бояуын, фотоүлдірдің қараю дәрежесін және т.б.; *цифрлық деп* — цифрларды, әріптерді, белгілерді және олардың нақты есептеу жүйесі бойынша қисындасуына айтады.

Аналогтік тіркеу үшін әдетте жазық тасымалдағыштарда — диаграммаларда орналасқан, геометриялық және физикалық таңбаларды пайдаланады.

Тіркеу тәсілдері жаңғыртылған өлшеу нәтижесінің аз қателікті салыстырмалығын бейнелейтін айқын көрінімдігін қамтамасыз етуі қажет. Өздігінен жазатын аспаптарда, алдында белгілі болғандай, тіркеуге жататын функционалдық тәуелділік кесте түрінде ұсынылады. Бұл тіркеуші органның құрастырылымына арналған нақты талаптарды қояды: тасымалдағышта шамалы диаметрлік нүкте түріндегі із алынуы қажет.

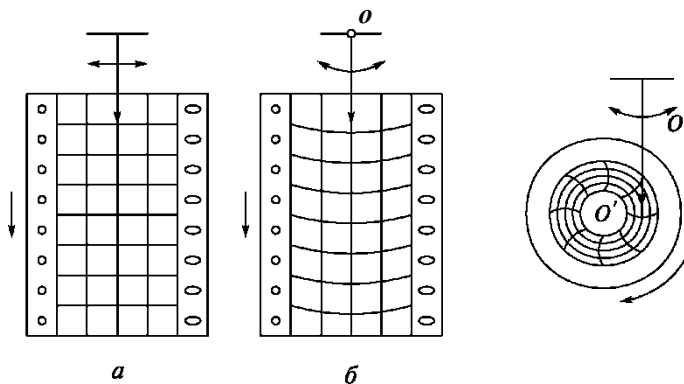
Тіркеуші органның тасымалдағышқа әсер етуінің негізгі тәсілі зат қабатын түсіру; қабатты алу және тасымалдағыш затының жағдайын өзгерту болып табылады.

Өздігінен жазатын аспаптарда негізінен тасымалдағышқа зат қабатын түсіруді; диаграммалық қағазға сиямен, пастамен немесе басумен жазуды тіркеу тәсілдерін кең қолданады.

Осы тіркеу тәсілдерінің артықшылықтарына тіркеу құжаттарының төзімділігін, жазба нәтижесінің тікелей көрнекілігін, қолайлы және арзан нұсқасын жатқызуға болады. Қағаз диаграммалары әдетте лента пішінді (лентаның ұзындығы 15-50 м) немесе тікбұрышты немесе координаттары полярлық жүйеде орындалған, (8.7, а, б сурет) градусталатын тормен жабықталған дискіде болады (8.7-сурет, в). Қисық сызықты тор *O* жылжымайтын нүкте айналасындағы айналдыру қозғалысын тіркеуші орган жасаған; тікбұрышты- тіркеуші органның тік сызықты орнын ауыстырған жағдайға сәйкес келеді.

Диаграммалық лента бумалармен әзірленеді және шетінде тішшелер орналасқан айналып тұратын барабанның көмегімен ауыстырылады.

Ленталардың бумалық қаптамаларының орнын, лентаның «сырнай» түрінде жатқызылып, қораппен сомдалып келуі басты (8.8-сурет). Аспаптың жұмыс процесінде жазбалы диаграмма бөліктері сондай қорапқа дестеленеді.



8.7-сурет. Диаграмманың негізгі түрлері:

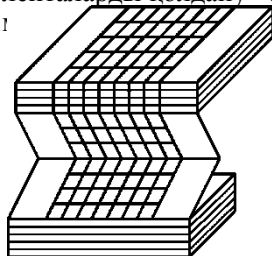
a, б — тік бұрыштармен; *в* — полярлық координаттармен

Қорапқа салынған жазбалы диаграммалық ленталар қолдануға ыңғайлы.

Өздігінен жазатын аспаптарда диаграммалық дискілерді кең қолданады. Металл негізінде бекітілген олар айналдыру қимылын сағат тілі бойынша бірге жасайды. Бір параметрден екіншісіне тәуелділігін белгілейтін екі координаттық өздігінен жазатын аспаптарда ақпарат иесі ретінде миллиметрлік торлы диаграммалық парақтарды пайдаланады.

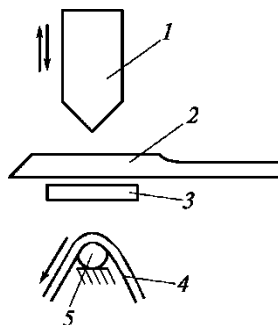
Сиямен жазуды негізгі элементі қаламұш, сияөткізгіш және сиясауыт болып табылатын, тіркеуші құрылғының көмегімен жүзеге асырады. Қаламұш диаметрі 0,15-0,2 мм (жазу сызығының қалыңдығы бұл ретте 0,5 мм кем болмауы қажет) болатын тот баспайтын болаттан немесе никельден шығатын түтікті құрайды.

8.9-суретте шамалы айналдыру сәтін (магнитэлектрлік милливольтметрлер) иеленетін сезгіш аспаптарда пайдаланатын басып шығаруды тіркеу тәсілі схема түрінде көрсетілген. Тіркеуші орган ретінде 2 өлшеу аспабының сілтегіш-нұсқағышы қызмет етеді, ол 1 кезеңмен, басып шығару механизмінің көмегімен бояйтын 3 лентаны 4 тасымалдағышқа ығыстырады. Аз диаметрлі металл шыбық 5 сілтегіштің жанасу орнын және тасымалдағыштың нүкте түріндегі бояйтын лентасындағы нүкте ізін қамтамасыз етеді. Әртүрлі түстегі ленталарды қолдану аспапты бір мезгілде бірнеше процестерді жазуға



8.8-сурет. Қораптағы қағаз ленталарын қаптау

8.9-сурет. Басып шығаруды тіркеу тәсілі:
 1 — басып шығарушы механизм; 2 — ИП нұсқағыш;
 3 — бояйтын лента; 4 — тасымалдағыш; 5 — аз диаметрі металл шыбық

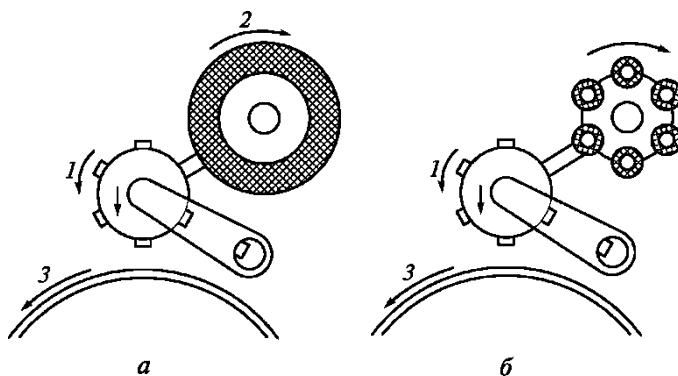


Өлшеу процесінде тасымалдағыш туралы тіркеуші органның үйкелісінің болмауы тұтынатын қуатты ұлғайтусыз аспаптың дәлдігін сақтауға мүмкіндік береді.

Шығу қуаты үлкен аспаптарда да (автоматты потенциометрлер, көпірлер) басып шығаруды тіркеу тәсілін қолданады. Мұндай аспаптарда тіркеуші құрылғы басып шығаратын күймеше болып табылады. Нұсқағыштан басқа күймешеді шығыңқы белгілер (нүктелер немесе нүктелер және цифрлар) түсірілген дөңестермен бірге металл дөңгелектерге бекітілген.

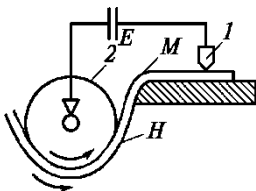
Басып шығару бір бояумен немесе әртүрлі түстермен жүзеге асырылуы мүмкін. Басып шығаратын дөңгелекте дөңестер санына байланысты өлшеуді және үш, алты немесе 12 біртекті параметрлермен жазуды жүргізу мүмкін. Бұл ретте өлшеу каналдары аспапқа кезекпен қосылады (ауыстырулар арасындағы аралықта дөңгелек бұрылады). Бір түспен басып шығару кезінде диаграммаға екі белгі: нүкте және цифр түседі. Нүкте өлшенетін мәнді, цифр-қисық нөмірді сипаттайды. Көптүспен басып шығару кеінде диаграммадағы қисықтар нүктені түсі бойынша айырады.

8.10-сурет басып шығаруды жазу қағидасын түсіндіреді. Дөңестер дөңгелегінде 1 ілгерілемелі (басып шығару моментіндегі) және айналмалы қозғалыс (өлшеу тізбегін ауыстыру моментіндегі)



8.10-сурет. Көпнүктелі жазбаға арналған басып шығару механизмдерінің сызбасы:

а — біртүсті жазба; б — көптүсті жазба; 1 — дөңесті дөңгелек ; 2 — бояғыш



8.11-сурет. Металданған қағазға арналған тіркеу тәсілінің сызбасы:

1 — жазып алушы электрод; 2 — металл барабан

Бояғыш білікше (немесе әртүрлі түстегі білікшелер) 2 және тасымалдағыш 3 сілтегішпен көрсетілген бағытта орналасады.

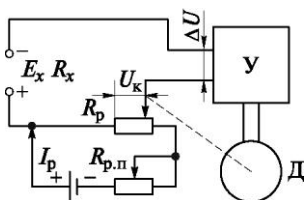
Термиялық тіркеу тәсілі жылу сезгіш қағаздың үстіңгі қабатындағы электрлік қызған элементке («жылулық буы») жылулық әсер ету жолымен жүзеге асырылады. Үстіңгі қабаттың балкуы нәтижесінде онда жылулық қаламұш қозғалысынан анық қара сызық (сызықтың қалыңдығы 0,15 мм). түріндегі із қалады.

Сондай —ақ металданған қағазға арналған жазуды пайдаланады (8.11-сурет). Жазып алатын электрод 1 және металл барабан 2 (екінші электрод) E қуат көзіне қосылады. Электродтар арасындағы ток өткізгіштер ретінде металданған қағаз H (M — металл қабаты) қызмет етеді. Электродтық металл 1 токтың әсерімен балқиды және жартылай жанып кетеді, соның нәтижесінде тасымалдағыштың үстіңгі қабатында жұқа сызық нүктелер түріндегі (1электродтың қозғалысы кезінде) анық көрінетін қара із пайда болады.

8.6. Тұрақты токтың автоматты потенциометрлері

Тұрақты токтың автоматты потенциометрлері шағын ЭҚК мен кернеулерді, сонымен қатар олармен функционалды байланыстаға электрлік емес (температура, қысым және т.б.) көлемдерді өлшеуге қолданылады. Тұйықпен жинақта олар токтарды (токтардың компенсация тәртібімен жұмыс жасайтын автоматты потенциометр, тарамаған) өлшеуге қолданылуы мүмкін.

8.12-сурет. ЭҚК автоматты компенсациясының қарапайым сызбасы, оған 8.6-суреттегі құрылымдық сызба сәйкес келеді.



8.12-сурет. Тұрақты токтың автоматты потенциометрлері

($x = E_x, x_K = U_K, \Delta x = \Delta U = E_x - U_K$). Сызба жұмысының қағидасынан мынаны алуға болады, толық компенсация кезіндегі мына қатынас орын алады

$$E_x = U_K = I_p R_p = I_n k_n, \quad (8.1)$$

онда I_p — реохорд арқылы өтетін ток; R_p — тізбекте компенсацияланатын кернеудегі U_K реохорд кедергісі; i — кедергіге сәйкес реохорд (көрсеткіші) қосылысын сызықтық жылжыту; $R^{\wedge} k_n$ — потенциометрдің тепе-теңдік коэффициенті.

Әлбетте,

$$l = \frac{I_n}{R_{p,n}} R_p, \quad (8.2)$$

онда $R_{p,n}$ — толық кедергі және реохорд ұзындығы.

Формулаларды ескере отырып, (8.1) және (8.2), аламыз:

$$l = E_x / k_n; \quad (8.3)$$

$$k_n = \frac{I_p R_p}{l} = \frac{I_p R_p}{I_n R_{p,n}} = \frac{R_{p,n}}{I_n} I_p. \quad (8.4)$$

Толық компенсация кезінде құрал шкаласының теңдеуі (8.3) және (8.4) формулаларына сай өрнек былай анықталады

$$l = \frac{E_x}{k_n} = \frac{I_n}{R_{p,n}} \frac{1}{I_p} E_x. \quad (8.5)$$

Автоматты потенциометрлердің негізгі сипаттамасы санына олардың кіріс кедергісін жатқызуға болады. Өлшенетін мағынаның толық компенсациясы жағдайында (мінсіз жағдай) ол шексіздікке тең болады. Бөлімдердің шекті сезімталдығының болуы мына қатынасқа әкеледі:

$$R_{вхE} = \frac{E_x}{I_{HK}} - R_x = \frac{E_x}{\frac{U_n'}{R_x + R_{вх.yc} + R_p}} - R_x \approx \frac{E_x}{U_n'} R_{вх.yc}. \quad (8.6)$$

бұнда $R_{вхE}$ — кернеуді өлшеуге арналған автоматты құралдың кіріске келтірілген кедергісі; R_x — өлшенетін дабылдың ішкі кедергі көзі; I_{HK} — компенсациядан тыс ток; U_n' — шығысқа келтірілген құрал сызбасының шекті кернеуі; $R_{вх.yc}$ — күшейткіштің кіріс кедергісі.

Автоматты потенциометрлер термобу көмегімен температураны өлшеуге қолданылады.

Термобудың термо ЭҚК (сызықтық сипаттама үшін) өлшенетін температураның t_x айырмасына және термобудың бос ұштарына t_0 тепе-тең:

$$E_m = S_r(t_x - t_0) \quad (8.7)$$

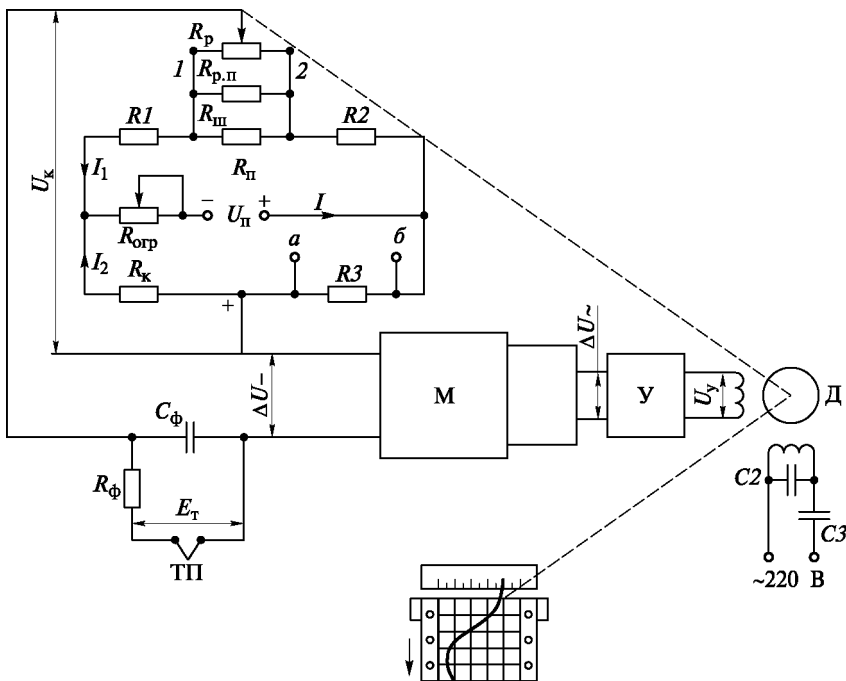
Бұнда S_f — темобу сезімталдығы.

Бұл жағдайда потенциометрлердің (8.5.) шкала теңдігін мына түрде жазамыз:

$$I = \frac{I_{II}}{R_{p,II} I_p} S_r (t_x - t_0) = k_t (t_x - t_0), \quad k_t = \frac{I_{II} S_r}{R_{p,II} I_p} \quad (8.8)$$

Өрнекте көрсетілгендей (8.8.) температураны өлшеу кезінде қателіктер көзі мыналар бола алады: а) термобудың t_0 бос ұштары температурасының өзгеруі; б) коэффициенттің k_t ток тұрақсыздығы-р салдарынан өзгеруі.

Температураны өлшейтін автоматты потенциометрлердің өндірістік үлгіде қолданылатын көпірлік өлшеу сұлбасы (8.13) бұрын аталған өлшем дәлдігіне минималды шарттарды қамтамасыз ету бойынша бірқатар шаралар қолдануға септігін тигізеді.



8.13-сурет. Температураны өлшеуге арналған автоматты потенциометрдің негізгі сызбасы

Термобу ТБ термобудың біріктіретін сымдарында тарту әсерін азайтушы сүзгіш арқылы құралдың кіріс қысқышына біріктірілген. (Лф, Сф — сүзгіш элементтері, E_m — термобудың термоЭҚК). Көпірлік өлшеу сұлбасы резисторлардан $R1—R3$, R_k және реохордтан L_p құралған. Резистор $L_{ш}$ стандарттық мағынаға реохорд кедергісін әкелуге арналған (90 Ом). Резистор L_p потенциометрді өлшеудің шектерін орнату үшін қызмет етеді. Компенсациялық кернеу U_K көпірлік сұлбаның теңгерім бұзу кернеуі болып табылады. Тепе-теңдік кезінде ($E_m = U_K$) күшейткішке Y - кіру дабылы болмайды; температураның өзгеруі кезінде термобудың E_T термоЭҚК өзгереді, нәтижесінде келіспеу $\Delta U = E_T - U_K$ дабылы пайда болады, ол модулятор көмегімен ауыспалы кернеуге түрлендіріледі және күшейеді (M — модулятор, Y — ауыспалы кернеу күшейткіші). Конденсатор C_Φ күшейткіштің кіріс құрылғысының таңдау қасиетін жақсарту үшін қызмет етеді.

Күшейткіштің U_K кіріс кернеуі реверсивті қозғалтқыштың Q орау басқармасын қоректендіреді, оның роторы фазаға байланысты ол жаққа да бұл жаққа да айналады. Реверсивті қозғалтқыштың қозғалыс білігі кинематикалық беріліс көмегімен реохордтың және күймешектің қозғалтқышына хабарланады, оған нұсқар-көрсеткіш және тіркеуші орган бекітілген. Тепе-теңдік кезінде ($E_T = U_K$) Q айналу білігі тоқтайды, ал нұсқар –көрсеткіштің күйі шкалаға қатысы бойынша өлшенетін температураның сандық мағынасын көрсетеді.

Өлшеу сызбасының қоректенуі әдетте тұрақты көзден болады. Құралдың өлшеу сызбасында тоқты өлшеу үшін резистордағы $R3$ кернеу үлгілі потенциометр арқылы қайта-қайта өлшеніп отырады (құралда оның қосылуы үшін қысқыштар қарастырылады).

Егер $I_2 R_3 \neq E_N$ (E_N — қалыпты элементтің ЭҚК), онда тоқты реттеуді $R_{ш.к.}$ өзгерте отырып, жүзеге асырады. Жұмыс тоғын орнату $I_2 R_3 = E_N = 1,019$ В болғанда ғана аяқталған болып есептеледі. Термобудың бос ұштары температурасының өзгерін жою термобудың бос ұштарынан тікелей жақын орналастырылған термотәуелді резистор R_k көмегімен жүзеге асырылады (кедергі есебі әрі қарай келтірілген).

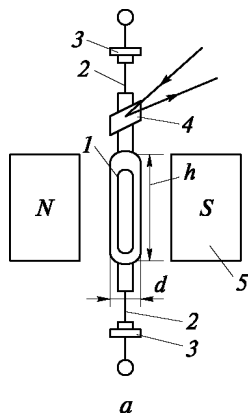
8.7. Жарықсәулелі осциллографтар

Жарықсәулелі осциллографтардың (ЖСО) (көпканалдық, осциллограммның жоғары сапасы және т.б.) елеулі артықшылықтары жиіліктердің дыбыстық диапазонында динамикалық үдерістің ұқсас тіркеуінің негізгі құралы деп санауға негіз береді (0-1 500 Гц).

Осциллографтардың әрекет ету қағидасы жоғары өзіндік жиілікпен ν_0 бірге магнитэлектрлік гальванометрлердің арнайы құрылымының фотографиялық жазбасының көрсеткішіне негізделген. 8.14, *a* суретте осциллографтық гальванометрі (ОГ) құрылысының сызбасы бейнеленген. ОГ жылжымалы бөлігі көпбілікті жиектеме 1 (жиектеменің орташа мөлшері: $d = 0,3 \times 0,4$ мм, $h = 10-15$ мм) ретінде орындалған. Қарсы әрекет етуші кезең кергілермен 2 жасалады, олар жиектемені тұтқышқа 3 бекіту үшін қызмет етеді. Жиектемеде токтың пайда болу кезеңінде оған бекітілген айна 4 біршама бұрышқа айналады, бұл кезде айналмалы кезең қарсы әрекет етушімен теңестіріледі. Айналмалы кезең тұрақты магниттің 5 магниттік өріспен жиектемеде токтың өзара әрекеті нәтижесінде жасалады.

Өндіріс осциллографтық гальванометрлерді әртүрлі мағыналармен ν_0 шығарады. Құрастырмалығы жағынан олар автономды гальванометрлер және гальванометрлер –үстеме ретінде рәсімделген. Гальванометрлер –үстемелерде магниттік жүйе жоқ немесе оның бөлігі (полюстер) бар және ол магниттік блокқа біріккен магниттік жүйесі бар осциллографтарда пайдалануға арналған.

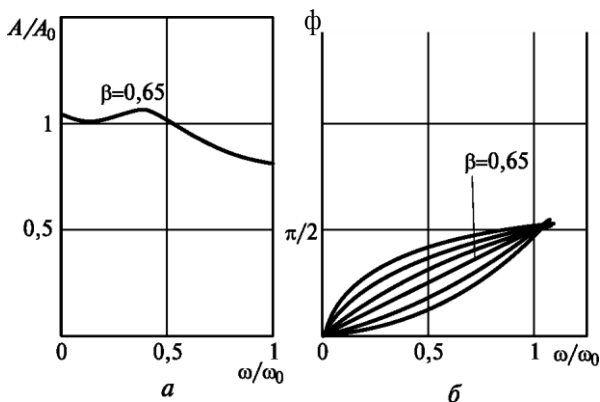
Гальванометрлер –үстемелер құрылысы 4.14, *б* суретте бейнеленген. ОГ көрсеткіштерінің жазбасы әдетте фотоүлдірде жүзеге асырылады. Осциллографтардың (Н041, Н117/1 және т.б.) кейбір түрлерінде фотоүлдірде химиялық көрініс бар жазба тікелей қарайған фотоқағаз түріндегі жазбамен үйлестіріледі (күндізге жарық кезінде бейне бір минуттан соң пайда болады). Осциллограмм кестелерінде жазылғандарды түсіндіру мақсаты зерттелетін көлемдердің, фазалық жылжудың және уақытша анықтамалардың амплитудалық және шапшаң мағыналардың анықтамасы болып табылады.



8.14-сурет. Осциллографтық гальванометр:

a — құрылғы сызбасы; 1 — көпбілікті жиектеме; 2 — біліктер; 3 — тұтқыштар; 4 — айна; 5 — тұрақты магнит; 6 — гальванометр-үстеме; 1 — қақпақ; 2 — линза; 3 — жиектеме; 4 — тұғырлы үстеме; 5 — кешен; 6 — токөткізгіш.

8.15-сурет.
Осциллографтық
гальванометрлердің
типтік жиілік
сипаттамасы:
а — амплитудалық;
б — фазалық



СЛО тәжірибелік пайдаланудың жалпы міндеті деп жиілікті, амплитудаларды және осциллограмда көрсетілген күрделі үдерісті үйлесімді құрайтын бастапқы фазалық бұрышты табуды есептеуге болады. Қазіргі кезде тікбұрышты координатта жасалған кестелік жазбаның арнайы түрлендіргіші әзірленген. Бұл осциллограммды өңдеуге кететін уақытты едәуір азайтуға септігін тигізді, өйткені бұл үдерісті есептеу техникасының құралдарымен жүзеге асыруға мүмкіндік туды. ОГ дайындау кезінде мына фактіні назарға алады: тыныштандыру $p_0 = 0,65$ дәрежесінің мағынасына ең кең диапазондағы жиілікте сызықтық жиілік сипаттама сәйкес келеді, оның жоғарғы шекарасы өзіндік жиілік гальванометрмен ω_0, f_0 анықталады.

Төменжиілікті ОГ ($f \leq 500$ Гц) кезінде магнитиндуктивтік тыныштандыруға жүгінеді.

Төменжиілікті ОГ ($f \leq 500$ Гц) кезінде жиектеменің инерция кезеңін төмендетуге ұмтылады, ол орауыш тыныштандырудың шамалы әсеріне әкеледі және қаңқаны жояды. Бұндай жағдайларда сұйық тыныштандыруды енгізеді, ол іс жүзінде сыртқы кедергіге байланысты болмайтын тәртіптеме жасайды.

Жиіліктің жұмыс жолағын (үлестерде f_0) амплитудалық – жиілік сипаттаманың (АЖС) рұқсат етілген сызықтық еместікке және тыныштандыру түріне байланысты МС11013 — 81 қалыпқа келтіреді.

Тоқ сипаттамасының сызықтық еместігі осылайша қалыпқа келтіріледі және 5% аспауы қажет.

8.15-суретте ОГ үшін типтік болып табылатын АЖС және фазажиілікті сипаттамалар (ФЖС) келтірілген. Фазажиілікті сипаттама жиілікті жұмыс диапазонында сызықтыққа жақын болады.

Осциллограммда зерттелетін үдерістерді жаңғырту дәлдігі өзіндік жиілік бойынша ОГ дұрыс таңдаумен ғана емес, сонымен қатар оның тыныштандыру p дәрежесімен анықталады.

Бақылау сұрақтары

1. Түзеткіш – тыныштандырушы түріндегі жан-жақты вольтметр сызбасы қалай жұмыс істейді?
2. Тұрақты және ауыспалы кернеуді өлшеу тәртібінде түзеткіш – тыныштандырушы түріндегі жан-жақты вольтметр сызбасы қалай жұмыс істейді?
3. Тұрақты тоқтық микровольтметр сызбасының жұмыс ерекшелігі неде?
4. Импульсті вольтметрлердің міндеті және жұмыс қағидасы қандай?
5. Құралдар көрсеткішінің тіркеу тәсілдері қалай қолданылады?
6. Тұрақты токтың автоматты потенциометрлер не үшін және қалай қолданылады?
7. Автоматты потенциометрлер көмегімен температура қалай өлшенеді және тіркеледі?
8. Жарықсәулелі осциллографтар қандай өлшемдер үшін қолданылады?

МАГНИТТІК КӨЛЕМДЕРДІ ӨЛШЕУ

9.1. Магниттік көлемдерді өлшеудің жалпы мәселелері

Электр машиналарында, аппараттарында және құралдарында болатын электрлік және магниттік құбылыстар бір-бірімен тығыз байланыста. Осы құбылыстарды зерттегенде магниттік өрістерді анықтау бойынша міндеттер пайда болады.

Магниттік өрістің негізгі параметрлері индукция B , кернеулік H және магниттенгендік J болып табылады. Бұл көлемдер бір-бірімен мына қатынас арқылы байланыста

$$B = \mu_0(H + J),$$

бұнда μ_0 — вакуумның қасиеттерін сипаттайтын тұрақты.

Магниттік индукцияның B аудан s арқылы вектор тасқыны магниттік тасқынды Φ көрсетеді.

Тәжірибеде өрісті сипаттау үшін, әдетте, индукция мен кернеулік пайдаланылады. Материалдардың магниттік қасиеттерін көрсететін негізгі сипаттамалар санына қисық магниттенгендік және гистерезис тұзағы жатады. Сипаттамаларды зерттеу кезінде оларды статикалық және динамикалық деп бөледі.

Статикалық сипаттамаларды тұрақты магниттік өріс пен материалдардың магниттік қасиеттерін салыстыруды талдау үшін қолданады.

Динамикалық сипаттамалар ауыспалы магниттік өрістерді зерттеуге септігін тигізеді. Олар тек материалдардың магниттік қасиеттеріне ғана байланысты емес, сонымен қатар магнит өрісі жиілігінің өзгеруіне, оның формасына және магнитөткізгіштің мөлшеріне де байланысты болады.

Магниттік көлемді өлшегенде олардың өлшемін пайдаланады, оларға магнит тасқынының өлшемі, өріс кернеулігі және индукциясы жатады.

Магниттік көлемді өлшеу әдісінің негізіне магниттік параметрлердің шамалас электр дабылына түрлену қағидасы жатады.

Магниттік көлемдерді өлшеу құралдары алуан түрлі. Олар әрекет ету қағидасы, өлшеу әдісі, пайдалану шарттары және басқа бойынша бөлінеді. Магниттік көлемдерді өлшеуге арнайы құралдармен қатар жалпы қолданылатын электрөлшеу құралдарын пайдаланады (амперметрлер, вольтметрлер, ваттметрлер, гальванометрлер, осциллографтар және басқалар).

9.2. Магниттік ағымды өлшеу

Тұрақты магниттік өрісте магниттік тасқын өлшеу.

Құралдардың әрекеті магниттік тасқынды өлшеу үшін электромагниттік индукция құбылысына негізделген. Егер индуктивті катушкалардың біліктері w (9.1-сурет) өлшеу талап етілетін магниттік тасқынға Φ_x тіркелсе, онда осы катушканың біліктерінде ЭҚК индукцияланады

$$e = -w \frac{d\Phi_x}{dt}.$$

Бұдан

$$\Phi_x = \frac{1}{w} \int e dt. \quad (9.1)$$

Сондықтан магниттік тасқынды өлшеуге арналған құралы интегралдаушы болуы тиіс. Бұл талапқа баллистикалық гальванометр құрылымы жауап береді.

ЭҚК әсерімен өлшеу тізбегінде ток пайда болады

$$i = e / R = -(w / R) (d\Phi_x / dt),$$

бұнда R — жалпы тізбек кдергісі.

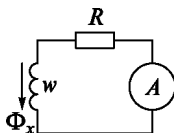
Егер Φ_x тасқын 0-ден Φ_x -ге дейін, кейін Φ_x -тен 0-ге дейін өзгерсе, онда t уақытында ЭҚ арқылы өтетін электр санын Q_3 , мына формуламен анықтайды

$$dQ_3 = idt = -\frac{d\Phi_x}{R}$$

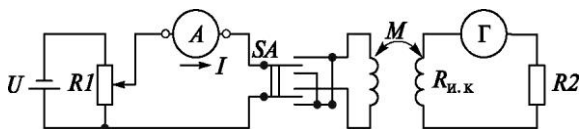
ал магниттік тасқын

$$\Phi_x = \frac{R}{w} Q_3.$$

Егер құралдың жылжымалы бөлігінің өзіндік тербеліс кезеңі зарядтың өту уақытынан едеуір артық болса, құрал тізбегі бойынша өтетін заряд Q_3 оның жылжымалы бөлігіне жылжуға шақырады, ол Q_3 шамалас. Гальванометрдің жылжымалы бөліктің баллистикалық жылжумен a_6 байланысы



9.1-сурет. Магниттік тасқынды өлшеу құралының сызбасы



9.2-сурет. Баллистикалық тұрақты гальванометрді анықтауға арналған тізбектер сызбасы

Өтегін электр баллистикалық тұрақты C_q арқылы орнатылады.

$$Q_3 = C_Q \alpha_6$$

Онда біржола

$$\Phi_x = \frac{R}{w} C_Q \alpha_6 = \frac{C_\Phi}{w} \alpha_6,$$

бұнда C_Φ — магниттік тасқын $C_\Phi - RC_q$ арқылы өрнектелген баллистикалық тұрақты гальванометр.

Баллистикалық гальванометрді магниттік ток тасқынын өлшеуге пайдалану әр өлшеу алдында өлшеу тізбегінің параметрлерін анықтау қажеттігіне байланысты. Бұл қажеттілік баллистикалық тұрақты құрал гальванометрдің динамикалық қасиеттеріне әсер етуші өлшеу тізбегінің кедергісіне байланыстылында. Баллистикалық тұрақты гальванометрді әдетте қондырғы көмегімен анықтйды, оның сызбасы 9.2-суретте көрсетілген.

Ток аударғыштың SA күйін өзгерту кезінде өзара индуктивтікке M тізбектелген магниттік тасқын $\pm 2MI$ өзгереді, өйткені бұл ретте тізбектегі ток күші $-I$ -н $+I$ -ге дейін, яғни, $2I$ -ге өзгерген. Тасқын ілінісінің өзгеруі салдарынан $2MI$ заряд пайда болады.

$$Q_3 = 2MI/R,$$

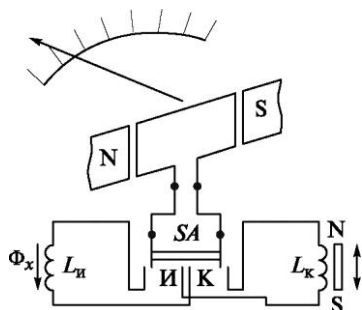
ал баллистикалық тұрақты (магниттік тасқын бойынша) бұл жағдайда мына формула бойынша анықталады

$$C_\Phi = RC_Q = R \frac{Q_3}{\alpha_6} = \frac{2MI}{\alpha_6},$$

бұнда $R - R_{н.к} + R_r + R_s$ ($R_{н.к}$ — өлшеу катушқасының кедергісі).

Магниттік тасқындарды өлшеу үшін магнитэлектрлік құралдар жиі қолданылады, олар веберметр деп аталады. Баллистикалық гальванометрлерден олар механизмде кезеңсіз өткізгіштермен жасалған кішігірім қарсы әрекет етуші кезеңнің болуымен ерекшеленеді.

9.3-сурет. Магнитэлектрлік веберметр сызбасы



(9.3-сурет). Өлшеу катушқасын механизмге ток ауыстырғыш SA арқылы қосады (И күйінде). Егер өлшеу катушқасының тасқын ілінісі өзгерсе (оның магнит өрісінде қозғалғанда), құралдың жылжымалы жиектемесінде ток күші өзгереді, ол оның АФ_ж шамалас бұрыштың ауытқуына әкеледі. Сонымен бірге кезеңсіз өткізгіштердің қарсы әрекеті әсерімен шартталған қателіктер болымсыз.

Егер өлшем катушқасының тасқын ілінісі өзгеріссіз болса, онда құралдың жылжымалы бөлігі кез келген күйде болады. Құралдың жылжымалы бөлігін орнату үшін өлшеу алдында шкаланың бастапқы мағынасында түзетудің әртүрлі тәсілдерін қолданады. Магнитэлектрлік веберметрді түзетудің мүмкін болатын сызбасының бірі 9.3-суретте көрсетілген. Ток ауыстырғышты SA К күйіне орната отырып, құралға тұрақты жылжымалы магнит өрісіндегі түзетуші катушқаны X_к қосады.

Тұрақты магнитті жылжыту кезінде катушкада ЭҚК пайда болады және талап етілген күйге құрал жиектемесі орнатылады.

Қарастырылған магнитэлектрлік веберметрдің негізгі кемшілігі-жоғары емес сезімталдық. Оны заманауи веберметрлерде жоғарылату үшін фотоэлектрондық күшейткіштер пайдаланылады. Бұл құралдар оптикалық құрылғымен магнитэлектрлік механизмді құрылымды біріктіреді.

Өндірісте шығарылған веберметрлердің $\pm 1,5\%$ аспайтын негізгі келтірілген қателігі бар.

Уақытпен өзгертін магниттік тасқынды өлшеу. Ауыспалы магниттік тасқынды әдетте өлшеу катушқасына қосылған үлкен кіріс кедергісі бар вольтметрлердің көмегімен өлшейді. Егер өлшеу катушқасы ауыспалы магнит өрісіне орнатылса, онда оған ЭҚК индукцияланады

$$E = 4,44k_f w \Phi_m,$$

бұнда k_f — қысық магниттік тасқын формасының коэффициенті; f — тасқын өзгерісінің жиілігі; w — өлшеу катушкалары біліктерінің саны; Φ_m — магниттік тасқынның максималды мағынасы.

Осылайша ЭҚК өлшенген мағынасы және белгілі жиілік бойынша магниттік тасқынның амлитудалық (максималды) мағынасын есептеуге болады

$$\Phi_m = E/4,44k_f w.$$

Осы өлшеу әдісінің қарапайымдылығына қарамастан нәтиже дәлдігі тура емес. Қажетті уақыт ішінде дәлдікті жоғарылату және тасқынның өзгеру заңдылығын зерттеу үшін ЭСО қолданады.

9.3. Магниттік өріс кернеуі мен магниттік индукцияны өлшеу

Магниттік өрістің біртекті кернеулігі мен магниттік индукцияны баллистикалық гальванометр немесе веберметр көмегімен анықтайды. Бұл үшін құралдың өлшеу катушқасын зерттелетін өріске орналастырады және өрісті қоздырушы токты қосу кезінде (сөндіру кезінде) құралдың жылжымалы бөлігін баллистикалық жылжытуды анықтайды.

Біртекті өріс кезінде тасқын сілкінісі

$$\varphi = w \Phi = \mu_0 H_x s w.$$

Онда магниттік өріске арналған формуланы есепке ала отырып (9.1) тока

$$H_x = \frac{\varphi}{\mu_0 s w} = \frac{C_{\Phi}}{\mu_0 s w} \alpha_{\Phi}.$$

Егер былай белгілесек, $\mu_0 s w = k$, онда

$$H_x = \frac{C_{\Phi}}{k} \alpha_{\Phi}.$$

Тұрақты k анықтау үшін белгілі баллистикалық тұрақты C_{Φ} бар құралдың өлшеу катушқасын тұрақты магниттік өріске орналастырады, оның кернеуі алдын ала өлшенген немесе есептелген болуы мүмкін. Құралдың жылжымалы бөлігін баллистикалық жылжыту бойынша өрісті қоздырушы токты қосқанда (сөндіргенде) параметрді анықтайды.

$$k = \frac{C_{\Phi}}{H} \alpha_{\Phi}.$$

Магниттік индукцияны баллистикалық гальванометрмен немесе веберметр көмегімен анықтау үшін белгілі байланысты пайдаланады. $B = \Phi/s$. Онда былай жазуға болады:

$$B = \frac{C_{\Phi}}{s w} \alpha_{\Phi}.$$

Магниттік өрістің кернеулігі мен магниттік индукцияны өлшеу арналған заманауи құралдарды Холл гальваномагниттік түрлендірушімен дайындайды. Холлдың нәтижелілігі металл немесе жартылай өткізгіш пластинканың шет жағында пайда болған, индукция B өрісінде орналасқан

және I тоқ күші тізбегіне қосылған ЭҚК магниттік индукцияға немесе өріс кернеулігіне және пластинка арқылы өтетін тоқ күшіне шамалас:

$$E_x = S_B I_B x = S_H I_H x,$$

бұнда S_B және S_H — магниттік индукция мен кернеулікке сезімтал түрлендіргіш сәйкес.

Бұдан

$$B_x = E_x / (S_B I); H_x = (E_x / S_H I).$$

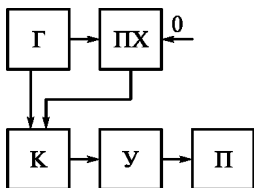
Магниттік көлемдерді өлшеу тәжірибесінде Холлдың түрлендірушілері бар құралдар кеңінен таралған. Олар *тесламетрлер* деп аталады. Тесламетрдің қарапайым құрылымдық сызбасы 9.4-суретте келтірілген. Түрлендірушіні қуаттандыру үшін және ЭҚК үлгілік көзі ретінде тесламетрде Г генератор қолданылады. ХТ түрлендірушісіне келген дабыл ауыспалы тоқ К конденсаторына және К күшейткіш арқылы өлшеуіш құралға Қ түседі. Өлшеудің компенсациялық әдісі қолдану қуат кернеуінің тұрақтылығы кезінде өлшемнің дәлдігін едәуір өзгертеді.

Холл түрлендіргішінің сезімталдық элементі шығарылатын бұрғы ұшына бекітеді. Механикалық зақымданудан қорғау үшін оны пластмассаның қабатымен жабады.

Тұрақты магниттік өрістің параметрлерін өлшеу кезінде Холл түрлендіргішін тұрақты тоқ көзіне жалғайды, ал шығыс кезінде алынған ЭҚК тікелей сезімтал магнитэлектрлік құралмен өлшейді. Тесламетрлердің бөгеуілден қорғанушылығын жоғарылату үшін қуаттану үшін ауыспалы тоқты қолданады, ал түрлендіргіштің сезімтал элементін температурадан параметрлердің минималды тәуелділігі бар материалдардан дайындайды.

Өндірістен шығарылған тесламетрлер диапазоны 0,01 -ден 1,6 Тл-ға дейін тұрақты магниттік өрістерді өлшеуге арналған. Құралдардың дәлдік класы 2,5-тен 0,5-ті құрайды.

Тұрақты магниттік өрістердің индукциясын өлшеу үшін ядролық магниттік резонанс қағидасына негізделген құралдар кеңінен қолданылады. Ядролық магниттік резонанс құбылысы мынадан тұрады. тұрақты магниттік өріспен затқа әсер ету кезінде магниттік кезеңі МК және қозғалыстың кезеңі ҚК саны бар ядро өріс кернеулігінің вектор айналасында жиілікпен қозғалады (тербеледі).



9.4-сурет. Холл түрлендіргіші бар тесламетр сызбасы

9.5-сурет. Ядролық магниттік резонансты пайдалана отырып, тұрақты магниттік өрісті өлшеуге арналған тесламетрдің құрылымдық сызбасы.



$$f = \frac{M_m}{M_d} H.$$

Егер осы жүйеге жиілігі өзгеріп тұратын ауыспалы магниттік өріспен әсер етсе, онда ауыспалы өріс жиілігі бар заттар жылжу жиіліктерінің үйлесімі кезінде ауыспалы өрістің энергиясы заттарының ядросы жы лжуы мүмкін. Бұл ретте ядролардың тербеліс амплитудасы өріс кернеулігінің векторы айналасында өседі. Бұндай құбылыс физикада ядролық магниттік резонанс құбылысы ретінде белгілі. Бұл құбылысты пайдалана отырып, тұрақты магниттік өріс кернеулігі мен оның индукциясын жиілік мәні бойынша анықтауға болады, ол кезде ядролық резонанс түседі. Тұрақты магниттік өрістерге арналған тесламетрдің құрылымдық сызбасы 9.5- суретте көрсетілген.

ӨҚ түрлендіргіш дегеніміз зерттелетін нысан қуысына орналасатын катушка. Сонымен бірге зерттелетін нысан жоғары жиілікті генератор Г контурының элементі болып табылады. Генератормен өндірілетін дабыл жиілігінің өзгеруімен ядролық магниттік резонанстың пайда болуына қол жеткізуге болады. Сонымен бірге тербеліс контуры беріктігінің төмендеуі және оның толық кедергісінің төмендеуі салдарынан генератордың шығыс дабылының амплитудасы азаяды. Өрі қарай детектор Д көмегімен дабылдан төмен жиілікті кернеу бөлінеді, ол күшейткіш К қуаты бойынша күшейтілгеннен кейін осциллографтың О электрондық-сәулелік түтіктің (ЭСТ) вертикаль ауытқытатын электродтарға түседі. Құралда модуляциялаушы кернеулері бар синхронды горизонталь бойынша сәуле ұңғысы қарастырылғандықтан түрлендіргіштен түсетін дабылдың анық бейнесі экранда пайда болады.

Генератор жиілігін өлшеу жолымен резонанстық қисықтың қиылысу нүктесін экранның ортасына орналастыруға болады. Бұл ретте түрлендіргіште ядролық магниттік резонанс генератордың жиілігі кезінде катушка бойынша нөл арқылы токтың өтуі кезінде резонанспен тең пайда болады. Өлшенетін индукция формула бойынша анықталады.

$$B_x = C_n \cdot f$$

бұнда C_n — түрлендіргіштің тұрақтысы; f —генератор жиілігі.

Ядролық магниттік резонанс құбылысына негізделген құралдар материалдардың магниттік қасиеттерін зерттеуге және жоғары дәлдікпен магниттік өрістерді (кернеулік және индукция) өлшеуге қолданылады. Ядролық магниттік резонанс қағидасы пайдаланылатын отандық тесламетр қателіктері 0,1%-дан төмен емес, магниттік индукцияны өлшеу диапазоны 0,03-тен 8,5 Тл-ге дейін.

9.4. Ферромагниттік материалдардың негізгі сипаттамаларының анықтамасы

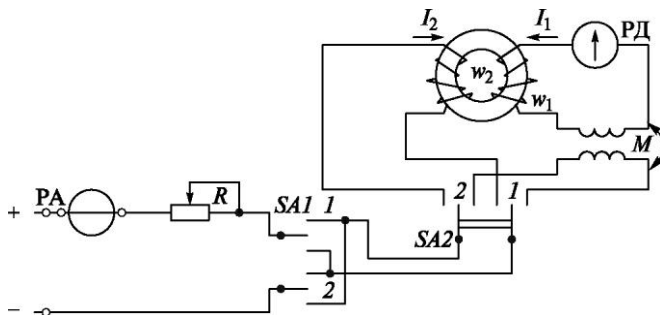
Әртүрлі материалдар мен олардың қасиеттерінің есебін салыстыру үшін магниттік тізбектер есебі кезінде статикалық және динамикалық сипаттамалар қолданылады.

Негізгі *статикалық сипаттамаларға* қисық магниттенгендік пен шекті гистерезис тұзағы жатады. Қисық магниттенгендік материалдың магниттенсіздірілген үлгісінен алынған магниттік индукция мен магниттік өрістің кернеулігі арасын байланыстырады. Негізгі қисық магниттенгендік бойынша әртүрлі мәндегі кернеу үшін магниттік өткізгіштікті анықтауға болады. Одан басқа қисық магниттенгендік гистерезис тұзағы ұшының геометриялық орны болып табылады.

Динамикалық сипаттамалар құйын тоғы әсерімен ауыспалы магниттік өріспен материал үлгісінің қайта магниттелгенде анықталады және үстірт әсер етумен пайда болған магниттік өріс үлгіде теңмөлшерлі таратылады. Бұндай өрісте өлшенген индукция мен кернеу мағынасы магниттік өрістің өзгеруі кезінде орташа және олардың жиілігіне тәуелді болады. Магниттік өріс өзгеруінің синусоидалды заңдылық кезінде индукция мен кернеу синус заңдылығы бойынша өзгермейді. Бұл жағдайда өріс индукция мен кернеуді амплитудалық мағынамен сипаттайды. $B_m = f_1(H_m)$ тәуелділігін *динамикалық қисық магниттелгендік* деп, ал индукция мен кернеудің лездік мәндерін $B_t = f_2(H)$ *динамикалық гистерезис тұзағы* деп атайды.

Материалдардың статикалық сипаттамаларды алу үшін баллистикалық гальванометрлерді, сонымен қатар әрекеті Холл әсеріне немесе құбылысы ядролық магниттік резонансқа негізделген құралдар пайдаланылады.

Баллистикалық гальванометрлерді пайдалану кезінде 9.6-суреттегі сызбасы көрсетілгендей тізбек жинайды. Дөңгелек немесе квадрат формадағы материал үлгісін екі катушка өрісіне орналастырады – өлшеуіш және магниттеуші және магнитсіздендіреді. Бұл үшін тоқ ауыстырғышты SA1 максималды кернеуге тиісті, тоқ магниттендіруші күшті I_2 тауып алып 2 күйге қояды да ауыспалы резистормен R бірнеше рет(8—10) тоқ ауыстырғыштың SA2 көмегімен тоқ бағытын өзгертеді.



9.6-сурет. Ферромагниттік материалдардың негізгі сипаттамаларын анықтауға арналған тізбектер сызбасы

Содан соң тоқ күшін азайтады және оның бағытын тағы да өзгертеді және т.с.с. Үлгіні магнитсіздендіру үдерісін әртүрлі тоқ күші кезінде жүргізеді- магниттендіруден нөлге дейін.

Қисық магниттендіруді алу үшін таңдалған кернеулер қатарына тиісті тоқ күшін/ь таңдайды, өйткені

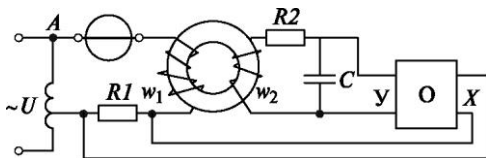
$$H = Ijw/l,$$

бұнда I — магнитөткізгіштің ұзындығы.

Сосын кернеуліктің әр мағынасы үшін магниттік индукцияны анықтайды. Ол үшін SA1 тоқ ауыстырғышты 2 күйге, ал SA2 – еркімен қояды. Зерттелетін үлгіні манитсіздендіргеннен кейін талап етілетін тоқ күшін орнатады және SA1тоқ ауыстырғышты 1 күйге қояды. Бұл ретте гальванометр көрсеткішінің жылжуын, ал ол бойынша – магниттік индукцияны анықтайды.

Қисықтың келесі нүктесін тоқты магниттендірудің басқа мағынасында алады. Ол үшін үлгіні алдын ала магнитсіздендіреді және өлшеу үдерісін қайталайды.

Өлшеудің гистерезис тұзағын алу үшін индукцияның B_m максималды мағынасынан бастау қажет. Қалған қисық нүктелерін қисық магниттендіруді алу кезеңіндегідей анықтайды. 0 -ден H_m дейінгі кернеу саласындағы индукцияны анықтау кезінде SA2 тоқ ауыстырғышпен магниттендіруші тоқ бағытын өзгертеді. Тұзақтың екінші жартысын әдетте симметриялы құрады. Ферромагнитті материалдың гистерезис тұзағын ЭСО көмегімен алуға болады. Ол үшін 9.7-суретте көрсетілген сызбаны жинайды. Осциллографтың O веритқалды каналының кірісіне интеграциялық тізбек R2 — C шығысынан кернеу, ал горизонталь X кіріске магниттендірілген тоққа шамалас кернеу беріледі (резисторда R1 кернеудің түсуі сияқты), өйткені магнитендірілген катушка w_1 резистормен R1 тізбекке ретімен қосылған.



9.7-сурет. ЭСО көмегімен гистерезис тұзағын алуға арналған тізбектер сызбасы

Резистор R_2 кедергісін өлшеу катушқасының тібегінде әдетте үлкен етіп таңдайтын болғандықтан, былай деп есептеуге болады

$$i_2 = e_2 / R_2,$$

ал егер өлшеу катушқасына тураланған ЭҚК, мынаны құрайды

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = w_2 s \frac{dB}{dt}$$

(бұл жерде минус белгісі түсірілген, өйткені бұл жағдайда оның мәні жоқ), онда

$$i_2 = \frac{w_2 s}{R_2} \frac{dB}{dt}.$$

$R_2 \gg X_C$ шарттарын орындау кезде конденсаторда кернеудің түсуі U_C материалында лездік индукцияға шамалас:

$$U_C = \frac{1}{C} \int i_2 dt = \frac{w_2 s}{C} \int \frac{dB}{dt} dt = \frac{w_2 s}{CR_2} B_T.$$

Бұл кернеу осциллографтың вертикалды каналының кірісіне түседі.

Осылайша, ЭСО жаңғыртылған қисық магниттік өріс кернеуінің өзгерісі мен қуаттанушы кернеу U кезеңіндегі материалда индукцияны байланыстырады.

Осциллографтың экранынан алынған қисық гистерезис бойынша индукция мен кернеу мәнін анықтау үшін оны алдын ала бөліктендіру қажет. Межеленудің ең қарапайым тәсілі - белгілі реттелетін кернеу көзін осциллографтың кірісіне қосу. Осы кернеулер бойынша осциллограф каналдарының горизонталды m_H және вертикалды m_V масштабтарын анықтауға болады:

$$m_H = \frac{2\sqrt{2U}}{A_H}; m_V = \frac{2\sqrt{2U}}{A_V},$$

Бұнда A_H, A_V — горизонталды және вертикалды каналдарға сәйкес осциллограф экраны бойынша өлшенген кіріс кернеудің қос амплитудасы.

Материалдардың магниттік қасиеттерін ЭСО көмегімен зерттеу гистерезистің динамикалық тұзағын көзбен бақылауға, сонымен қатар магниттік сипаттамалардың параметрлерін кең жиілік диапазоңда өлшеуге септігін тигізеді.

Материалдардың магниттік сипаттамаларының қателігін осциллограф көмегімен өлшеу бірнеше пайызды құрайды.

Қарастырылған әдістерден басқа ферромагниттік материалдардың негізгі сипаттамаларын амперметр, вольтметр немесе көпірлік сұлба көмегімен алуға болады.

9.5. Ферромагниттік материалдардың қуат шығынын өлшеу

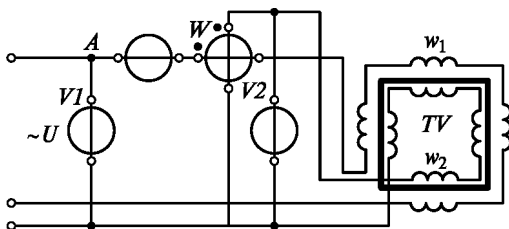
Электртехникалық құрылғылардың өзекшелерін оралған катушкалармен қайта магниттелу энергия жоғалтумен байланысты. Материалдың қайта магниттелуі кезінде бұл шығындар қуаты гистерезис пен құйындық тоқтардың шығынымен анықталады. Шығынды анықтау үшін төрт бірдей катушадан тұратын, екі орамы бар аппарат қолданылады. Катушкалар тұйық магнит тізбегіне жиналған зерттелген электртехникалық құрыш таққатарынан жиналатын квадрат түріндегі магнитөткізгіштен орындалады. Алынған аппарат дегеніміз трансформатор TV , оның қосылу сызбасы 9.8-суретте көрсетілген. аппаратты синусоидалды тоқ тізбегіне қосу кезінде ваттметр қуатты көрсетеді

$$P_w = U_2 I_1 \cos \varphi,$$

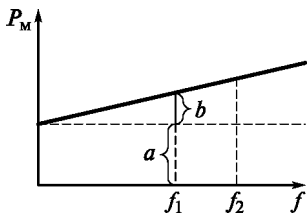
бұнда U_2 — w_2 катушкадағы кернеу; I_1 — w_1 катушкадағы ток күші; φ — ток векторы мен кернеу арасындағы фазалар жылжуы. Құйынды тоқтар мен гистерезистің қуат шығыны шығындардың бос жүрісін (алшақ тұрған катушка w_2 кезінде) білдіреді. Осыған байланысты былай жазуға болады:

$$P_x = E_1 I_x \cos \varphi,$$

бұнда E_1 — катушкада w_1 ЭҚК; I_x — бос жүрістің ток күші; φ_x — E_1 және I_x векторлар арасындағы фазалық жылжу



9.8-сурет. Магниттендіру кезіндегі қуат шығынын анықтауға арналған тізбектер сызбасы



9.9-сурет. Магниттік материалдардың қуат шығынын анықтау кестелік тәсілі

Вольметр мен ваттметрдің параллель тармақтарын катушкаға w_1 қосу кезінде ваттметр зерттелетін материалдағы құйынды тоқтар мен гистерезиске жұмсалған шығынды және аппарат катушқасы мен өлшеу құралдарындағы қуат шығынын көрсетеді. Егер бұрама сандары тең катушкалары бар аппаратты қолданса ($w_1 = w_2$), онда қуат шығындарын мына формула бойынша есептеуге болады

$$P_M = P_W - \left(\frac{U^2}{R_V} + \frac{U^2}{R_W} \right) = P_W - U^2 \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_W} \right),$$

бұнда P_W — ваттметр көрсеткіші; U — вольметр көрсеткіші; R_V , R_W — вольметр кедергісі мен ваттметрдің параллель тізбегіне сәйкес.

Қуат шығынын бөлу қажеттігі кезінде олар жиіліктен белгілі тәуелділікті пайдаланады: гистерезистің қуат шығыны бірінші дәрежеде жиілікке, ал құйынды тоқтар — жиілік квадратына шамалас:

$$P_M = af + bf^2,$$

бұнда a және b — тұрақты коэффициенттер.

Қуат шығынын бөлу үшін әртүрлі жиілікті екі өлшемді орындайды $\angle 1$ және $\angle 2$, ал содан кейін кесте құрады (9.9-сурет).

Бақылау сұрақтары

1. Магниттік өріс қандай негізгі параметрлермен сипатталады?
2. Қисық магниттеу мен гистерезис тұзағы дегеніміз не?
3. Гальванометрдің баллистикалық тұрақтылығы қалай анықталады?
4. Веберметрдің көмегімен магниттік тасқын қалай өлшенеді?
5. Уақытпен өзгеретін магниттік тасқын қалай өлшенеді?
6. Холл түрлендіргіші бар тесламетр қалай жұмыс жасайды?
7. Магниттік индукцияны қалай өлшеуге болады?
8. Ферромагниттік материалдардың шекті гистерезис тұзағы қалай анықталады?
9. Қайта магниттелу кезіндегі қуат шығын қандай тәсілмен және қандай құралдармен анықтайды?

ЖИЛІКТІ ЖӘНЕ УАҚЫТ АРАЛЫҒЫН ӨЛШЕУ

10.1. Негізгі мағлұматтар

Жиілікті және уақыт аралығын өлшеу көптеген ғылыми және техникалық міндеттерді шешу үшін қажет.

f жиілік деп уақыт бірлігінде өтетін бірдей оқиғалардың санын немесе циклдер процесін айтады. f циклдік жиіліктің өлшем бірлігі герц (Гц) болып табылады, бұл 1 с үшін бір оқиғаға сәйкеседі. Радиоэлектроникада жоғары жиіліктерді (ЖЖ) f әрпімен, ал төменгі жиіліктерді (ТЖ) — F әрпімен белгілеу тарихи түрде қабылданғанын айта кеткен жөн. Сондай-ақ, гармоникалық сигналдар

$$\omega = 2\pi f,$$

секундқа арналған радианмен (рад/с) және уақыт бірлігіндегі сигнал фазасының $\varphi(t)$ тең өзгеруі өрнектелген бұрыштық немесе айналмалық жиілікпен сипатталады. Бұрыштық жиілік әдетте жоғарғы және төменгі жиіліктер үшін, сәйкесінше $\omega = 2\pi f$ және $Q = 2\pi F$ ретінде жазылады. Гармоникалық сигналдарға арналған (соның ішінде бұрмаланған) жиілік уақыт осі арқылы ауысу санымен, яғни уақыт бірлігіндегі нөл арқылы анықталады.

Жиіліктің тұрақсыздығы кезінде лездік бұрыштық жиілік түсінігін пайдаланады

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} = 2\pi f(t),$$

мұндағы $f(t)$ — лездік циклдік жиілік.

Осы тарауда жиілікті өлшеу әдістерін сипаттау үшін, оның уақыт өлшеміндегі орташа мәнін қолданады. Сондай-ақ, бұл ретте ұзақ және қысқа уақыт аралығындағы тұрақты жиіліктің өзгеруіне және оның флуктуациялық өзгерістеріне байланысты, ұзақ мерзімдік және қысқа мерзімдік жиілік тұрақсыздығы түрінің болуы қажет. Осы тұрақсыздықтар арасындағы шекара шартты және уақыт өлшемін көрсету жолымен беріледі.

At уақыт аралығы деп, жалпы жағдайда екі дәйекті оқиға моменттері арасындағы өткен уақытты айтады. Мұндай аралықтар санына, мысал: тербелістер периоды, екі импульс уақыты бойынша жылуымен анықталатын, импульс ұзақтығы немесе аралық ұзақтығы жатады.

Кез келген периодты анықталған сигналдың $u(t)$ T периоды деп, осы сигналдың ерікті таңдалған лездік мәні жиі және дәйекті қайталанатын ең аз уақыт аралығын айтады.

Осылайша, периодты сигналды мына түрде жазуға болады

$$u(t) = u(t + nt),$$

мұндағы $n = 1, 2, 3$ және т.б.

Синусоидалық сигнал түрі үшін

$$u(t) = U_m \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) = U_m \sin[\varphi(t)],$$

мұндағы m — бүтін натурал сандар, T тербеліс периоды радианмен өрнектелген сигнал фазасы $\varphi(t)$ 2π өзгертін уақыт аралығы ретінде белгіленеді.

Физикадан белгілі болғандай, f жиілігі және T тербеліс периоды тең болады және өзара мына формуламен байланысты

$$f = \frac{1}{T}.$$

Себебі осы екі физикалық шама өзара тығыз байланысқан, онда бір шама өлшемін басқа өлшеммен ауыстыруға болады. Тәжірибеде көбінесе жиілікті өлшейді.

Электр сигналдарының жиілігін, периодын және басқа уақытша параметрлерді өлшеу радиотехниканың және телекоммуникациялық жүйелердің маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Жиіліктік-уақыттық өлшемдерге арналған техникалық құралдар өлшеу жүргізу процесін тікелей оларды жиілік пен уақыттың Мемлекеттік эталонына байлап, қамтамасыз етуші аспаптардың бірыңғай кешенін құрайды. Бұл нақты жоғары дәлдіктегі өлшем алу мүмкіндігіне кепілдік береді.

Негізгі өлшеу аспаптарымен және өлшеу құралдарымен белгіленген шамалар: осциллографтар;

эталондық жиілік және компаратор сигналдарын

қабылдағыштар; сигнал жиіліктерін түрлендіргіштер;

резонанстық жиілік өлшегіштер;

конденсаторды зарядтау-ажырату әдісінің негізіндегі жиілік өлшегіштер;

цифрлық жиілік өлшегіштер;

уақыт аралығын цифрлық өлшеулер болып табылады.

Жиілікті өлшеу көбінесе негізі цифрлық (электрондық –есептік) жиілік өлшегіштерді құрайтын цифрлық әдістің (дискретті есеп), көмегімен орындалады. Цифрлық әдістің құндылығына өлшеудің жоғарғы дәлдігі, өлшенетін жиіліктің кең диапазоны, есептеуіш құралдардың (микропроцессор, дербес компьютер және басқаларының) көмегімен өлшеу нәтижелерін өңдеу мүмкіндігі жатады.

Бұдан басқа, цифрлық жиілік өлшегіштер тербеліс жиілігін ғана емес, уақыт аралығын өлшеуге де мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, жиілікті өлшеу үшін үлгілік тербеліс (резонанстық, гетеродинді және осциллограф көмегімен) көзінің жиілігімен салыстыру әдісін қолданады. Гетеродинді жиілік түрлендіргішін тек цифрлық аспаптармен өлшеу үшін қолайлы АЖЖ-тербеліс жиілігін салалық тасымалдау қажет болған жағдайда ғана қолданады.

Салыстыру әдісін негізінен әртүрлі ИТ генераторларын градуастау үшін пайдаланады. Оларды техникалық іске асыру үлгілік генератордың міндетті түрде болуын немесе ең жоғарғы дәлдіктегі жиілікті салыстыру құрылығысын қажет етеді.

Осциллографтың көмегімен салыстыру құрылығы ретінде келесідей міндеттер шешіледі:

1) жиілікті интерференциялық фигура (фигур Лиссажу) әдісімен анықтау;

2) осциллографтың калибрленген жаймасын пайдалана отырып, уақыт аралағын (периодын, импульс ұзақтығын және т.б.) анықтау;

3) жиілікті дөңгелек жаймадағы жарықтық белгілердің көмегімен анықтау.

Техникалық дөңгелек жайма бір-біріне фаза бойынша 90° қатысты жылжытылған, үлгілік жиіліктің гармоникалық сигналдарын Y және X кіруіне беру жолымен іске асырылады. Гармоникалық сигналды осциллографтың жарық сәулесін модуляциялау өтетін Z кіруге f_x өлшенетін жиілікке бере отырып және f_0 жиілігін реттеу отырып, іс жүзінде экранда жарықтығы бойынша жылжымайтын және модульденген дөңгелек жайманы алуға болады (10.1-сурет).

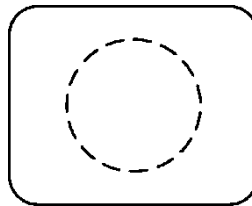
Дөңгелек жайманы өлшенетін жиілік мәнімен анықтау қиын емес, бұл үшін жарық доғалар санын немесе қара аралықтарды санау жеткілікті және осы санды мына формулаға қою қажет

$$f_x = N / T$$

мұндағы N — жарық немесе қара аралықтар саны ($f_x = 8/0$).

Барлық үш міндетті осциллографтың көмегімен шешу өлшеудің төмен дәлдігі болады (өлшемнің салыстырмалы қателігі $1 \cdot 10^{-2}$ бастап $5 \cdot 10^{-2}$ дейін диапазонында болады).

Өлшенетін жиіліктер диапазонының жоғарғы шекарасы осциллограф параметрлеріне байланысты және олардың көпшілігі үшін 250 МГц аспайды.



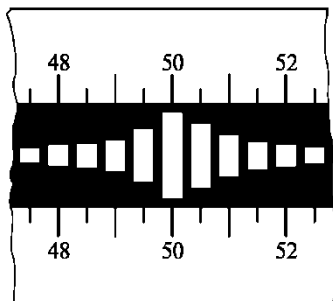
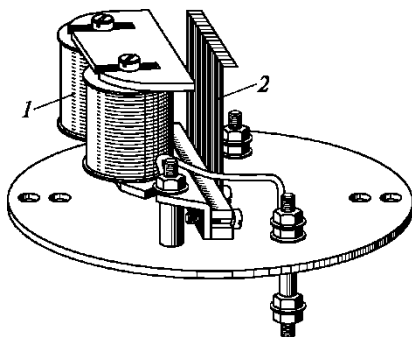
10.1-сурет.
Осциллограф
экранындағы сәуленің

10.2. Жиілік өлшегіштердің көмегімен тікелей бағалау аспаптарының жиілігін өлшеу

Аз (өнеркәсіптік) жиілікті өлшеуге арналған жиілік өлшегіштер әртүрлі өлшеу механизмдерінің негізінде орындалады. Ең көп таралғаны резонанстық электрмагниттік жиілік өлшегіштер. Сондай-ақ, ферродинамикалық жиілік өлшегіштерді қолданады.

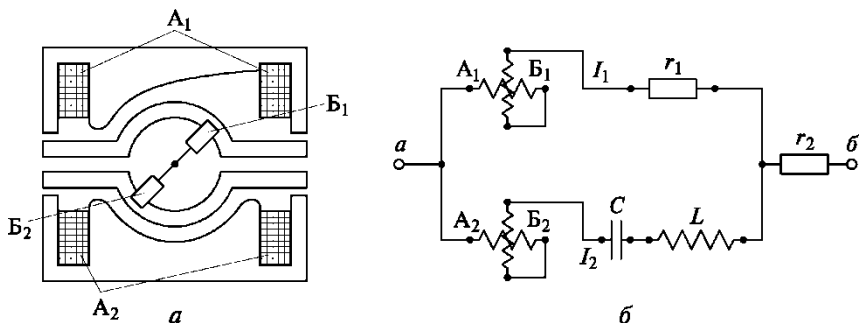
Резонанстық электрмагниттік жиілік өлшегіштер (дірілдік герцметрлер). Осындай жиілік өлшегіштің құрылғысы 10.2-суретте бейнеленген, онда өлшенетін жиіліктің ауыспалы тоғымен қуатталатын 1 электрмагнит, периодына екі рет 2 болат пластиналарды-тілшіктерді тартады және периодына екі рет бұл тілшіктер иілгіштік күшінің әсерімен өзінің бастапқы қалпына қайта келеді. Осылайша, тілшіктер электрмагниттің магнит ағынының өзгеруімен бірге тербеледі. Алайда, барлық тілшіктердің ішінен, меншіктік тербеліс жиілігі тартылу күшінің өзгеру жиілігіне ең көп амплитудамен дәл тең келетіні тербелетін болады. Тілшіктердің әрқайсысы белгіленген жиілікке келтірілетіндей етіліп таңдалуы қажет және шкала белгісі бойынша діріл тілшігіне қарсы өлшенетін тоқтың жиілігін есептеуге болады. Егер өлшенетін жиілік екі көрші тілшіктің меншіктік тербелісінің жиіліктері арасындағы аралықта болатын болса, екі тілшік те тербелетін болады, бірақ ең аз амплитудамен.

10.3-суретте ауыспалы тоқтың жиілігі 50 және 50,5 Гц арасындағы әрі ол 50 Гц жақын аралық моментіндегі жиілік өлшегіш шкаласының бөлігі көрсетілген. Жиілік өлшегіш қатарлас (вольтметр сияқты) тізбекке қосылады.



10.2-сурет. Резонанстық электрмагниттік жиілік өлшегіш; 10.3-сурет. Резонанстық жиілік өлшегіш шкаласының бөлігі

1 — электрмагнит; 2 — болат пластиналардың тілшіктері



10.4-сурет. Ферродинамикалық логометр:

a — құрылғы; *б* — қосу сызбасы

Ферродинамикалық жиілік өлшегіштер. Жиілік өлшегіштердің осындай түрлерінде ферродинамикалық логометрлерді пайдаланады.

10.4, *a* суретте ферродинамикалық логометрдің құрылғысы көрсетілген, ал, 10.4, *б* суретте оны жиілік өлшегіш ретінде қолдану сызбасы келтірілген.

Суреттелген жиілік өлшегіш екі жылжымайтын (A_1 және A_2) және екі қозғалмалы (B_1 және B_2) шарғыдан тұрады. Соңғысы бір-біріне бір жазықтықта бекітілген. Екі шарғыға арналған саңылаулар бірдей емес (B_1 шарғысының өрісі әркелкі), бұл логометр жұмысының міндетті шарты болып табылады.

Тізбекке біртіндеп қосылған A_2 және B_2 қозғалмалы және жылжымайтын шарғыға C сыйымдылықты және L индуктивті резонанстық контур қосылады, ал A_1 және B_1 шарғылар тізбегіне r_1 белсенді кедергісі қосылады. (10.4, *б*-суретті қараңыз).

Шарғылардан өтетін тоқтарды келесідей формуламен өрнектеуге болады:

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + r_1 + r_2};$$

$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{R_2^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}},$$

мұндағы U — қатарлас тармақтардағы кернеу; R_1 және R_2 — өлшеу механизмінің екі бөлігіндегі шарғының жиынтық кедергісі; r_1 және r_2 — белсенді және қосымша кедергі.

Шарғының әр жұбының айналдыру моменті қозғалмалы және жылжымайтын шарғылардағы тоқтарды өндіру функциясы болып табылады, себебі олар біртіндеп қосылған және ол бойынша бір және сол тоқ өтеді, сонда

$$M_1 = f_1(I_1^2); M_2 = f_1(I_2^2).$$

Демек, логометрдің ауытқу бұрышы

$$\alpha = f \left(\frac{I_1^2}{I_2^2} \right) = f \left[\frac{\sqrt{R_2^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right)^2}}{(R_1 + r_1)^2} \right] = \varphi(f).$$

Жиілік өлшегіш тізбекке қатарлас қосылады (10.4, б-суреттегі *a* және б қысқыштарын қараңыз); r_2 кедергі қосымша кедергі болып табылады.

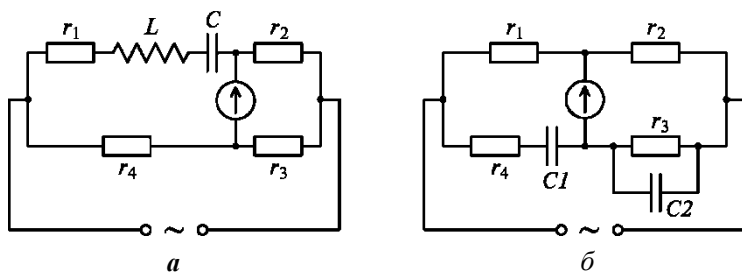
Суреттелетін жиілік өлшегіш тар өлшеу шегінде орындалады, мысалы 45-55 Гцпен. Оның дәлдік сыныбы — 1,0.

10.3. Жиілікке тәуелді көпірлердің көмегімен жиілікті өлшеу

Бұрынғы қарастырылған C сыйымдылықты, L индуктивтілікті және M айналдыру моментін өлшеуге арналған ауыспалы тоқтың көпірлері жиілікке тәуелсіз болып табылады, себебі осы көпірлерді теңестіру шартына жиілік енбейді. Бірақ, жиілікке тәуелді көпірлер бар, олардың тепе-теңдігін теңестіруге жиілік енеді. Егер осы тізбекті өлшенетін жиіліктің кернеуімен қуаттайтын болса, осындай көпірлі тізбектердің көмегімен жиілікті алуға болады. Осындай көпірді теңестіре отырып, теңдеу шартынан жиілікті табуға болады.

Жиілік өлшеу тәжірибесінде кең тараған, сансыз модификациялаудан шығатын екі жиілікке тәуелді көпірді қарастырамыз.

10.5, *a* суретте резонанстық көпірлі тізбектің сызбасы көрсетілген. Сызбадағы көпір иінінің біреуіне біртіндеп L индуктивтілігі және C сыйымдылығы (және индуктивті шарғының r_l белсенді кедергісі),



10.5-сурет. Жиілікті өлшеуге арналған жиілікке тәуелді көпірлі

a — резонанстық көпірлі тізбек; *б* — тізбектеп-қатарлас жалғанған сыйымдылықтың көпірлі тізбегі

); r_1 , r_2 және r_3 — көпір иіндерін қосамыз. Осы көпірдің теңдеу шарты келесі түрінде болады:

$$r_1 r_3 = r_2 r_4; \quad \omega^2 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Көпір кедергілерінің біреуін және C сыйымдылықты өзгерту жолымен теңдестіріледі. Себебі төменгі жиіліктер кезінде LC өндіру көп болуы қажет, сонда осы көпірді дыбыстық және ең жоғарғы жиілік кезінде қолдану тиімді.

10.5, б суретте сыйымдылық тізбекті – қатарлас қосылған көпір тізбегі бейнеленген.

Осы тізбекті теңестіру шарты мына теңдеуден алынады

$$r_1 \frac{r_3}{j\omega r_3 C_2} = r_2 \left(r_4 - j \frac{1}{\omega C_1} \right)$$

оның бөліктерін мына түрде заттық және жорамал теңдестіргеннен

$$\frac{r_1}{r_2} - \frac{r_4}{r_3} = \frac{C_2}{C_1} \quad \text{және} \quad \frac{1}{C_1 C_2 r_3 r_4}.$$

Егер тізбек параметрлерін $C_1 = C_2 = C_3$, $r_3 = r_4 =$

r болатындай таңдасақ, сәйкесінше, онда $\frac{r_1}{r_2} = 2$,

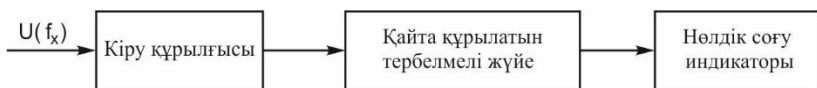
$$\omega^2 = \frac{1}{C^2 r^2}, \quad \text{или} \quad \omega = \frac{1}{Cr}.$$

r_3 және r_4 кедергі көпірлерін теңестіру кезінде, $r_3 = r_4$ теңдеуі әрқашан сақталатындай, бір тұтқыштың көмегімен бір мезетте өзгеруі қажет.

Жиілікке тәуелді көпірлерді теңдестірудің нұсқағышы ретінде тәуелсіз қоздырушылармен бірге ферродинамикалық өлшеу механизмдерін, сондай-ақ ЭСТ теңдеуінің нұсқағышын пайдаланған кінғайпы

10.4. Жиілікті өлшеудің резонанстық әдісі

Жиілікті өлшеудің резонанстық әдісінің мәні градусталған тербелмелі контурдың немесе резонатордың f меншік резонанстық жиілікті f өлшенетін жиілікпен салыстырудан тұрады. Әдетте, бұл әдісті асқын жоғары жиілік (АЖЖ) диапазонында қолданады, бірақ ол жоғары жиілік (ЖЖ диапазоны) диапазонында да пайдаланылуы мүмкін. Осы әдісті іске асырушы өлшеу аспаптарын, *резонанстық жиілік өлшегіштер* деп атайды. Олардың жалпыланған құрылымдық сызбасы . 10.6-суретте келтірілген.



10.6-сурет. Резонанстық жиілік өлшегіштің құрылымдық сызбасы

10.6-суретте қайта құрылатын тербелмелі жүйе кіру құрылғысы арқылы $U(f)$ өлшенетін жиілік сигналымен қозады. Тербелмелі жүйедегі тербелістің қарқындылығы резонанс моментінде, яғни $f_x = f_v$ кезінде күрт ұлғаяды. Осы момент тербелмелі жүйемен байланысқан резонанс индикаторының көмегімен белгіленеді. Өлшенетін жиілік мәні f реттеу механизмінің градусталған шкаласымен саналады.

Жүздеген мегагерцке дейінгі жиілікке арналған тербелмелі жүйе ретінде тербелмелі контурларды, ал 1 ГГцке дейінгі жиілікте коксиалды сызық кесінділері түріндегі тұрақты параметрлермен бөлінген контурларды пайдаланады. 1 ГГцтен аспайтын жиіліктерде көлемді резонаторларды қолданады.

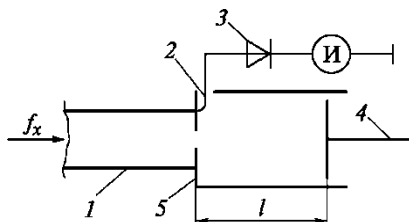
10.7-суретте көлемді резонаторлы жиілік өлшегіштің (толқын өлшеуіш) құрылымдық сызбасы келтірілген. Оған: өлшенетін жиіліктің f_x энергиясы түсетін 1 толқын арнасы, 2-байланыс ілмегі, И резонанс индикаторымен бірге 3 детектор (жартылай өткізгіш диод), резонатор өлшемінің біреуін өзгертуге арналған және есептік шкаламен байланысқан 4 тығынжыл және 5 көлемді резонатор енеді. Резонатордың детектормен байланысы — индуктивті және 2 байланыс ілмегімен жүзеге асырылады.

Резонансты реттеу моментінде l резонатордың өлшемі олардың электрмагнит тербелістерін қоздыратын бір мағыналы X толқын ұзындығына байланысты. Бұл ретте, резонанс резонатордың мынадай өлшемдері кезінде басталады

$$l = \frac{n\lambda}{2},$$

мұндағы $n = 1, 2, 3$ және т.б.

Осы мақсатпен тығынжылды бірінші резонанс алған моментке дейін ауыстырады, одан кейін- екінші резонансты және содан соң есептік шкала бойынша резонатор өлшемінің айырмашылығын формула бойынша анықтайды



10.7-сурет. Көлемді резонаторлы жиілік өлшегіштің (толқын өлшеуіш) құрылымдық сызбасы :
1 — толқын арнасы; 2 — байланыс ілмегі; 3 — детектор; 4 — тығынжыл; 5 — көлемді резонатор

$$\Delta l = l_1 - l_2 = \frac{\lambda}{2},$$

мұндағы l_1, l_2 — сәйкесінше бірінші және екінші резонанстар моментіндегі есептік шкаланың көрсетуі.

Ізделіп жатқан жиілік f_x формула бойынша есептеп шығарылады

$$f_x = \frac{c}{\lambda},$$

мұндағы c — вакуумдағы электромагнит тербелістерінің таралу жылдамдығы (жарық жылдамдығы $c = (2,99776 \pm 0,00004) \cdot 10^8$ м/с).

Жиілік өлшемінің дәлдігін арттыру үшін, резонатордың Q төзімділігі жоғары болуы қажет. Осы мақсатпен, олардың ішкі бетін Q шамасын $(5-10) \cdot 10^3$ мәндеріне дейін жеткізе отырып, жылтыратады және күмістейді. Тығынжылдың қозғалмалы байланысы жеріндегі кедергіні азайту мақсатында, ұзын сызықты жүйелерді қолданады

(ұзын сызық кесінділері $\frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{4}$).

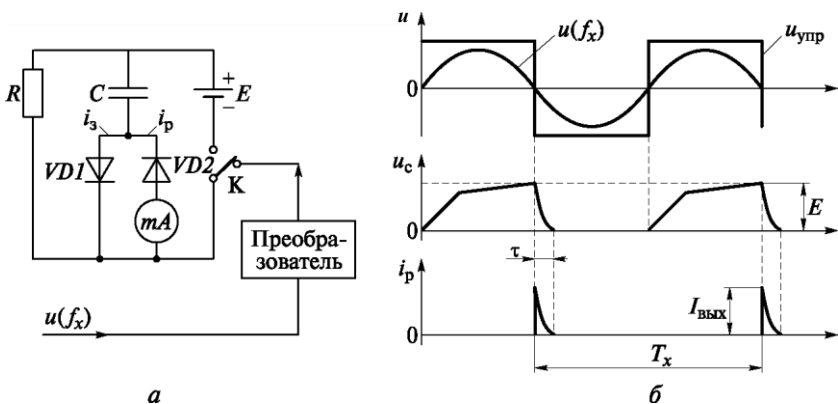
Резонанстық жиілік өлшегіштердің (толқын өлшеуіштер) өте қарапайым құрастырылымы болады және пайдалануға ыңғайлы. Олардың ішіндегі ең дәлі $10^{-3}-10^{-4}$ қателікті жиілік өлшемін қамтамасыз етеді. Өлшем қателіктерінің негізгі көздері резонансқа келтіру қателігі, шкала қателігі және деректерді есептеу қателігі болып табылады. .

10.5. Конденсаторды зарядтау және ажырату әдісімен жиілік өлшеу

Конденсаторды зарядтау және ажырату әдісін қолдану пайдалану кезінде қарапайым және $0,02$ бастап, $1,0$ МГц дейінгі диапазонда жұмыс істейтін арзан жиілік өлшегіштерді жасауға мүмкіндік береді. Оларды салыстырғанда өлшеу дәлдігі шамалы болады. Олардың келтірілген қателікке қатысы 5% жетуі мүмкін. Осындай жиілік өлшегіштің әрекет ету қағидасын 10.8, а суретте бейнеленген сызбаның көмегімен түсіндіруге болады. Сызбадағы кіру периодты сигналының кез келген формасындағы $u(f_x)$ белгісіз жиілік сол жиілікте болатын, «Меандр» түріндегі $I_{\text{баск}}$ импульстік басқарушы сигналға түрленеді.

Сызбадағы 10.8, б суретте кіру синусоидалық тербелістің осы процеске ілесетін сигналдармен бірге $I_{\text{баск}}$ «Меандр» түріндегі тербеліске түрлену қағидасы көрсетілген.

$I_{\text{баск}}$ сигналы K кілтпен басқаруды қамтамасыз етеді (10.8, а суретті қараңыз): оң полярлық кезінде кілт жабық, ал теріс кезінде — ашық болады.



10.8-сурет. Конденсаторды зарядтау және ажырату әдісімен жиілікті өлшеу:

Кілттің жабық қалпы кезінде $VD1$ диод арқылы өтетін, C сыйымдылықты i_3 тоғымен зарядтау өтеді. Ашық кілт кезінде сыйымдылық $VD2$ диоды, өлшеу аспабы mA және R кедергісі арқылы өтетін i_p тоғымен ажыратылады. Осы жиілік өлшегіш түрлерінің міндетті жұмыс шарты конденсатордың зарядталуы уақыты бойы кейбір E тұрақты мәніне дейін толық зарядталып үлгеру қажеттігі, ал сыйымдылықтағы кернеуді ажырату кезінде іс жүзінде нөл болуы қажеттігі болып табылады. Сонда i_p ажырату тоғының максималды мәні өзгермей қалатын болады, яғни I_{max} , а ажырату уақытында тұрақты болады. Бұл ретте, ИТ арқылы өтетін токтың орташа мәнін мына формула бойынша анықтауға болады

$$I_{ср} = \left(\frac{1}{T_x} \right) \int_0^{\tau} I_{max} dt,$$

мұндағы T_x — өлшенетін уақыт аралығы.

Осылайша, өлшеу аспабының көрсетуі $f_x = 1/T_x$ жиілігіне тең көрсетіледі, ал орташа ток:

$$I_{ср} = f_x I_{max} \tau. \quad \text{болады.}$$

Қазіргі кезде бұл әдісті сирек қолданады және мұнда тек таныстыру үшін келтірілген.

10.6. Жиілік өлшеудің цифрлық әдісі

Жиілік өлшеудің цифрлық (электрондық-есептік) әдісі цифрлық немесе электрондық-есептік, жиілік өлшегіштермен (ЭЖӨ) іске асырылады. Аталған өлшеу құралдары пайдалануға ыңғайлы, өлшенетін

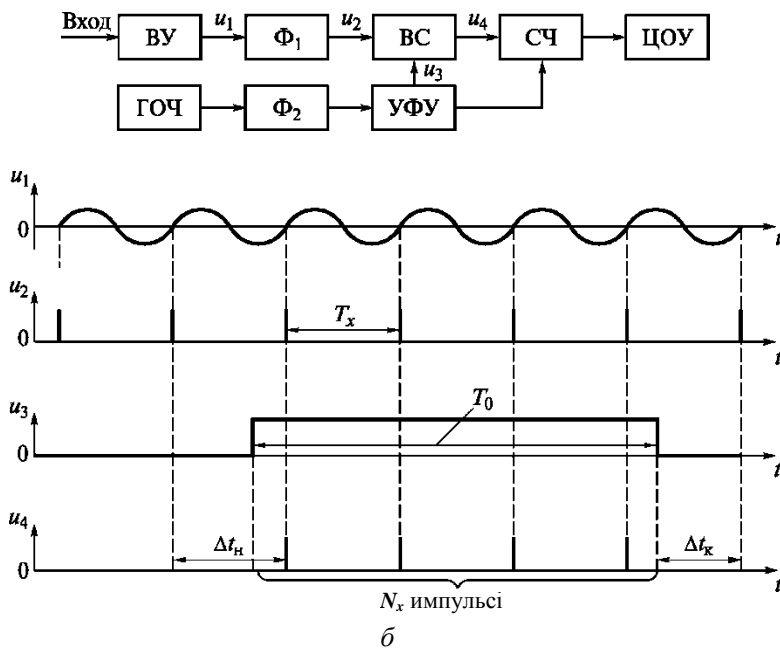
жиіліктің кең диапазонын меңгерген (бірнеше герцтен жүздеген мегагерцке дейін) және жоғары дәлдіктегі өлшеу нәтижесін алуға мүмкіндік береді (жиілік өлшемiнiң қателiкке қатысы 10^{-6} бастап 10^{-9} дейiн құрайды).

Белгiлi болғандай, цифрлық жиiлiк өлшегiштер көп функционалды өлшеу құралдары болып табылады. Оларды жұмыс тәртiбiне байланысты, тек жиiлiк өлшеми мен екi жиiлiктiң қатынасын ғана емес, сонымен бiрге, уақыт аралығын да (периодты сигналдарды қолдану периоды және екi импульстiк уақытша қалпымен берiлген аралық) өлшеу жүргiзуге болады.

Цифрлық әдiстiң көмегiмен гармоникалық сигналдың жиiлiгiн өлшеу процесi 10.9-суретте түсiндiрiлген, мұнда жиiлiк өлшеу режимiндегi цифрлық жиiлiк өлшегiштiң құрылымдық сызбасы (10.9-сурет, а) және оның жұмысының уақытша диаграммасы (10.9-сурет, б) келтiрiлген.

f_x жиiлiкпен зерттелетiн гармоникалық сигнал кiру құрылғысына КҚ берiледi, оның мiндетiне жиiлiк өлшегiштiң соңғы құрылғысының жұмысы үшiн қажеттi мәнiне дейiн сигналды күшейту немесе әлсiрету енедi.

КҚ шығуынан алынған гармоникалық сигнал u Φ_1 импульсiнiң бiрiншi қалыптастырғышқа түседi, онда оны бiртiндеп, u_2 қысқа



10.9-сурет. Цифрлық жиілік өлшегіш :
а — құрылымдық сызба; б — уақытша диаграммалар

бір полярлық импульстерге, келесілерін бірінен кейін бірін *есептік* деп аталатын периодпен түрлендіреді:

$$T_x = \frac{1}{f_x},$$

Бұған қоса, осы импульстердің алдыңғы фронты іс жүзінде уақыт осіндегі нөлдік мән арқылы оның өсуі кезіндегі *и* сигналына көшу моментіне сәйкеседі. Φ_3 қалыптастырғышына күшейткіш – шектеуіш және компаратор (Шмитг триггері) енеді.

u_2 есептік импульстері уақытша селектордың УС кіруінің біреуіне түседі. Селектордың басқа кіруіне қалыптастыру құрылғысынан және басқарудан ҚҚБ тік бұрышты пішіндегі және $T_0 > T_x$ калибренген ұзындықтан u_3 строб-импульсі беріледі. T_0 уақыт аралығы *есептеу уақыты* деп аталады. Уақытша селектор u_3 строб-импульспен ашылады және нәтижесінде оның кіруіне u_2 импульстер тобы түседі. Осылайша есептеуішке u_4 импульстерінің N_x пакеті түседі.

10.9, б суреттегі сызбадан шығатын уақыт аралығы:

$$T_0 = N_x T_x - \Delta t_n + \Delta t_k = N_x T_x - \Delta t_d, \quad (10.1)$$

мұндағы Δt_n , Δt_k — уақыт аралығының басы мен аяғын дискреттеу, сәйкесінше строб-импульстің u_2 есептік импульстеріне қатысты кездейсоқ жағдайлармен туындаған қателік; Δt_d — дискреттеудің жалпы қателігі, $\Delta t_d = \Delta t_n = \Delta t_k$.

Өрнектегі (10.1) Δt_0 қателігін елемей отырып, пакеттегі импульстердің санын аламыз

$$N_x = \frac{T_0}{T_x} = T_0 f_x.$$

Нәтижесінде өлшенетін жиілік есептеуішке түсетін есептік импульстердің тең санын көрсетеді,

$$f_x = \frac{N_x}{T_0}. \quad (10.2)$$

ҚҚБ строб-импульстерді қалыптастыру мақсатында, үлгілік жиіліктегі генератор ҮЖГ және Φ_2 импульстерінің екінші қалыптастырғышы Φ_3 импульстеріне ұқсас келетін қалыптастырғыш енетін сызбадағы T_0 периодты қысқа импульстер (10.9, а суретте жеңілдету үшін көрсетілмеген) түседі. Өз кеегінде, ҮЖГ құрамына үлгілік жиіліктегі кварцтық генератор $1/\mu\text{с}$ және K_0 бөлгіш коэффициентімен (әр декада жиілікті $1/\mu\text{с}$ 10 есе азайтады) бірге Д декадалық бөлгіш енеді. Φ_2 қалыптастырғышындағы импульстер.

периоды және строб-импульстің ұзындығы жиілік бөлгіштің шығуындағы сигнал периодына тең болады:

$$T_0 = \frac{K_d}{f_{кв}}$$

Осындағы (10.2) өрнекті келесідей түрде елестетуге болады:

$$f_x = \frac{N_x f_{кв}}{K_d} \quad (10.3)$$

(10.3) өрнектен шығатыны, жиілік арасындағы қатынастарды дискретті түрде K_d коэффициентін түрлендіру жолымен, яғни бөлгіш декадасындағы сандарды өзгерту есебінен ауыстыруға болады.

СЧ есептеуіште N_x импульстерінің саны анықталады және цифрлық есептік құрылғыға ЦЕК берілетін тиісті код қалыптастырылады. $f_{кв}/K$ қатынасы 10^n Гц тең болуы қажет, мұндағы n — бүтін сан. Бұл ретте, ЦЕК таңдалған бірліктегі f өлшенетін жиілікке сәйкес келетін N_x саны бейнеленеді. Мысалы, егер K_d өзгерту есебінен $n = 6$ таңдалса, онда ЦЕК бейнеленген N_x саны мегагерцпен өрнектелетін f_x жиілігіне сәйкес келеді. Өлшеуді бастау алдында ҚҚБ есептеуішінің көрсетуін нөлге түсіру қажет.

f_x жиілігін өлшеу жүйелік және кездейсоқ қателіктермен сүйемелденеді.

Жүйелік қателік негізінен f^{\wedge} кварцтық генератордың ұзақ мерзімдік тұрақсыздығымен белгіленген. Оны азайтуға кварцты термостаптау жолымен немесе кварцтық генераторға термокомпенсация элементтерін қолдану есебінен жетуге болады. Бұл ретте $f_{\%S}$ жиілік өзгеруінің тәулікке қатысы әдетте $5_{кв} = 5 \cdot 10^{-9}$ шамасынан аспайды. $f_{\%S}$ жиіліктің номинал мәнін белгілеу дәлсіздігінен шығатын қателікті радио бойынша берілетін жиіліктің эталондық мәндерінің сигналдары бойынша кварцтық генераторды калибрлеу есебінен немесе жиіліктің ауыспалы кванттық стандарттары көмегімен едәуір азайтуға болады. Кварцтық генераторды калибрлеуге қатысты қателік $(1-5) \cdot 10^{-10}$ шамасынан аспайды.

Бұдан басқа, қажетті жиілік тұрақтылығына кварцтық генератордың сызбасына жиіліктің фазалық автобаптау жүйесін (ЖФАЖ) енгізу есебінен жетуге болады.

Кездейсоқ қателік дискреттеу қателігімен анықталады

$$\Delta t_d = \Delta t_H - \Delta t_K$$

Себебі строб-импульсті және есептік импульсті өзара синхрондау болмайды, сонда көрші екі есептік импульстер арасындағы строб-импульстің басы мен соңының қалпын анықтаушы Δt_H және Δt_K қателіктері (10.9, б суретті қараңыз), уақытқа 0 бастап T_0 дейінгі бірдей ықтимал мәнді қабылдайтын болады.

Осының әсерінен Δt_H және Δt_K қателіктері кездейсоқ болып табылады және оларды бөлу қалыпты заңға сәйкес келеді. Осы қателіктердің тәуелсіздігінен АгД дискреттеудің жалпы қателігі $\pm T_0$ шекті мәндермен бөлудің үшбұрышты заңға бағынады. Агд $= \pm T_0$ қателігінің максималды мәнін импульстік $N_x \pm 1$ есептік импульстерінің санын эквивалентті кездейсоқ өзгерту арқылы есептеу қабылданған. Бұл ретте, дискреттеудің максималды абсолюттік қателігі $N_x \pm 1$ және N_x кезінде (10.2) немесе (10.3) формулаларына сәйкес, f_x жиілік мәнінің айырмасы арқылы анықталуы мүмкін:

$$\Delta f_x = \pm \frac{1}{T_0}.$$

Тиісті максималды салыстырмалы қателік

$$\delta = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \frac{1}{N_x} = \pm \frac{1}{T_0 f_x}.$$

Осы баяндалғандарды ескере отырып, жиілік өлшемінің салыстырмалы жиынтық қателігі цифрлық жиілік өлшегіштің көмегімен қатынасқа сәйкес пайызбен нөмірленуі мүмкін

$$\delta_{f_x} = \pm \left(\delta_{\text{КВ}} \pm \frac{1}{T_0 f_x} \right) 100.$$

Бұдан көріп отырғанымыздай, дискреттеу қателігінен шығатын өлшеудің жиынтық қателігі f_x өлшенетін жиіліктің азаю шамасы бойынша ұлғаяды. f_x жиіліктің жеткілікті аз мәні кезіндегі қателік әдетте цифрлық жиілік өлшегіштегі 1 немесе 10 с аспайтын, тіпті T_0 максималды есептеу уақыты кезінде де ұйғарынды мәннен асып түсуі мүмкін. Бұл жағдайда ең бірінші $T_x = 1/f_x$ периодын өлшеу, одан кейін ізделіп отырған f_x жиілікті есептеп шығаруды жүргізу тиімді.

f_x жиілік өлшеу нәтижесіне арналған дискреттеу қателігіне әсерін азайтуға жиілікті үнемі бақылау және соңғы өлшем нәтижесін статистикалық өңдеу есебінен жетуге болады.

Цифрлық жиілік өлшегіштермен өлшенетін жиілік диапазоны төменнен дискреттеу қателігімен, ал жоғарыдан — пайдаланатын есептеуіш-бөлгіштердің ақырғы тезерекеттігімен шектеледі. Жиілік өлшеудің жоғарғы шегі әдетте 200 МГц аспайды.

Жиіліктік диапазонды кеңейту үшін өлшенетін жиілікті ең төменгі жиілік аясына гетеродинді түрлендіруді (тасымалдауды) қолданады. Бұл үшін жиілік өлшегіштің құрылымдық және қағидаттық сызбаға күшейтуді автоматты реттеу және сыртқы бөгеттерді басу блоктары қосылады. Кіру сигналының аз деңгейі кезінде

(милливольттан төмен) өлшеу тоқтатылады және есептеуіштің көрсетуі нөлденеді. Бұдан басқа, мұнда салмақтан қорғау шаралары қажет.

Қазіргі цифрлық жиілік өлшегіштерде сигналды жиіліктік дискретті тордан құрауға арналған жиілік синтезаторларын кең қолданады. Цифрлық жиілік өлшегіштер бағдарламалық-басқарушылық синтезаторларымен және кіріктірілме микропроцессорлармен бірге өлшеу құралдарын дамытудың жана буындары болып табылады. Осындай құралдардың құнын жоғарғы дәлдікпен өлшеуге, өлшенетін жиіліктік кең диапазонына және оларды автоматтандырылған өлшеу кешендерімен бірге түйіндістіру ыңғайлығымен бағалауға болады.

10.7. Уақыт аралығын өлшеудің цифрлық әдісі

Уақыт аралығын өлшеудің цифрлық әдісіне келесідей кезендер жатады: ең бірінші T_x өлшенетін уақыт аралығы T_0 периодпен бірге бірінен кейін бірі келетін импульстермен толтырылады, одан кейін осы импульстердің N_x саны есептеледі. Цифрлық осциллограф негізіндегі техникалық іске асыру әдісі 10.10, *a* суретте түсіндірілген.

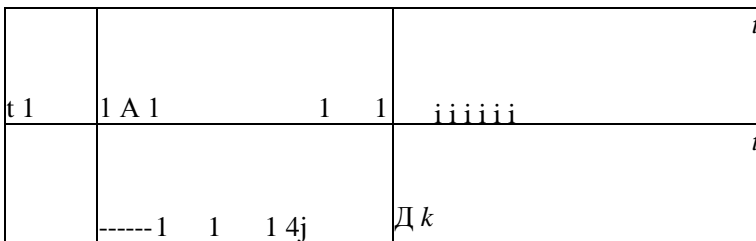
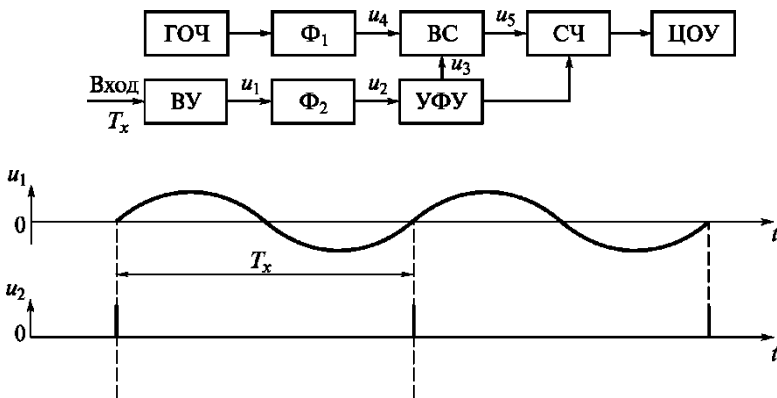
Барлық сызба блоктары мен олардың әрекет ету қағидатын белгілеу 10.6-бөлімшесінде сипатталған. Периодты өлшеу кезінде тірек жиілігі генераторының құрылымдық құрамы бұдан әрі қарастырылатын болады.

T_x периодын өлшеуге қажет болатын гармоникалық сигнал u_1 кіру құрылғысына (шығу сигналы ШС) және Φ_2 импульстерін қалыптастырғышқа өткеннен кейін сол периодтың өзімен біртіндеп u_2 қысқа импульстеріне түрленеді. Қысқа импульстерден шығатын қалыптастыру және басқару құрылғысында тікбұрышты формадағы u_3 строб-импульсі және уақытша селектордың кірулерінен шығатын біреуіне түсетін T_x ұзындығы қалыптастырылады. Осы селектордың басқа кіруіне тірек жиіліктік генератордың тербелесінен шығатын, Φ_3 қалыптастырғышынан құрылатын, T_0 периодымен ілесетін u_4 қысқа импульстер беріледі. Уақытша селектордағы u_4 есептік импульстері T_x уақыты ішінде u_3 строб-импульсінің ұзындығына тең импульстер санының есептеуішіне түседі.

10.10, *b* суретте көргеніміздей, T_x өлшенетін периоды формула бойынша анықталады

$$T_x = N_x T + \Delta t_d, \quad (10.4)$$

Мұндағы Δt_d — дискреттеудің жалпы қателігі, $\Delta t_d = \Delta t_n - \Delta t_k$; Δn және Δt_k — сәйкесінше T_x еприодының басы мен соңын дискреттеу қателігі.



N_x импульстері

б

10.10-сурет. Уақыт аралығын өлшеудің цифрлық әдісі:

a — құрылымдық сызба; b — уақытша диаграммалар

Егер формуладағы (10.4) Δt_d қателігін елемесек, онда есептеуішке түсетін импульстер саны $N_x = \frac{T_x}{T_0}$,

тең болады, ал өлшенетін N_x импульстер санына шамалас болады :

$$T_x = N_x T_0. \quad (10.5)$$

Цифрлық есептеуішке берілетін есептеуіштің шығу коды олармен есептелген N_x есептік импульстеріне, ал цифрлық өлшемдік құрылғысының көрсетуі — T_x периодына сәйкес келеді. Есептік импульстердің ілесу периоды $T_0 = 10^{-n}$ қатынасынан таңдалады, мұндағы n — бүтін сан. Әсіресе, $n = 6$ кезінде цифрлық өлшемдік құрылғы T_x периодына сәйкесетін N_x импульстерінің санын бейнелейді.

T_x периодын өлшеу қателігінде, жиілікті өлшеу кезіндегі сияқты жүйелік және кездейсоқ құрастырушылар болады.

Жүйелікті құраушы қателіктер үлгілік жиіліктік генератордың (оның кварцтық генераторы) $5_{кв}$ тұрақтылығына, ал кездейсоқ — негізінен 10.5-бөлімшесінде қарастырылған А/д дискреттеу қателігімен

анықталады. Осы қателіктің максималды мәнін есептік импульс тер санын N_x на ± 1 есептік импульске эквивалентті өзгерту арқылы есептеуге ыңғайлы. Бұл ретте, дискреттеудің максималды абсолюттік қателігі $N_x \pm 1$ және N_x кезінде, (10.5) формула бойынша алынатын, T_x периодының екі мәнінің айырмасы арқылы анықталуы мүмкін және ол келесідей түрінде болады:

$$\Delta T_x = \pm T_0.$$

Тиісті максималды салыстырмалы қателік мына формула бойынша жазылады:

$$\delta = \pm \frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \frac{1}{N_x} = \pm \frac{1}{T_x f_0},$$

мұндағы f — генератордың үлгілік жиіліктік мәні, $f = 1/T_0$.

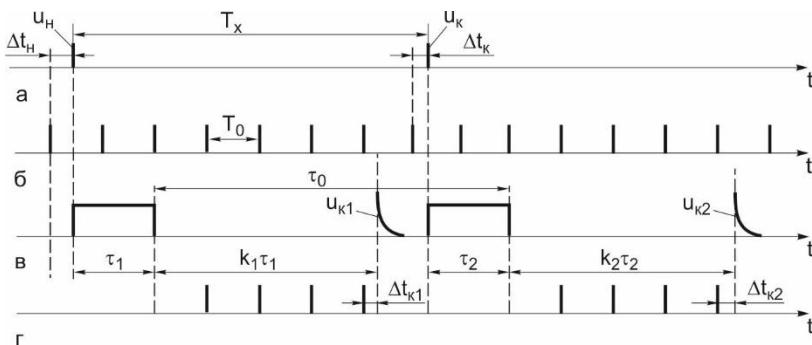
Сондай-ақ, өлшеу қателігіне кездейсоқ заң бойынша оларды уақтыша модуляциялау қалпына енетін из строб-импульстерін және u_4 есептік импульстерін (10.10, а суретті қараңыз) қалыптастыру каналдарындағы шу әсер етеді. Алайда, сигнал/шудың үлкен қатысымен нақты аспаптардың қателігін өлшеу каналдардың шуынан дискреттеу қателігімен салыстырғанда аз ескеріледі.

Пайызбен өрнектелген уақыт аралығы өлшемінің жиынтықтық салыстырмалы қателігі формула бойынша анықталады:

$$\delta_{T_x} = \pm \left(\delta_{\text{кв}} + \frac{1}{T_x f_0} \right) 100. \quad (10.6)$$

(10.6) өрнектен көргеніміздей, өлшеудің жиынтық қателігі T_x уақыт аралығының азаюы кезінде өседі және өлшеу дәлдігі үлгілік жиілік генераторындағы f_0 жиілігінің ұлғаюы кезінде, яғни N_x есептік импульстерінің ұлғаюы есебінен артады. Осы мақсатпен өлшеу сызбасына кіру құрылғысынан кейін K бөлу коэффициентімен бірге зерттелетін сигналдың жиілік бөлгіші енгізіледі (10.10, а суретте бұл көрсетілмеген). Бұл ретте, өлшеу процесі T_x периодтарының K коэффициентінің мәнін анықтауға алып келеді. Нәтижесінде салыстырмалы қателік K есе азаятын болады.

Бұдан басқа, дискреттеу қателігін өлшеу нәтижелерін статистикалық өңдеумен бірге бір және сол уақыт аралығын көп рет қайталап өлшеу есебінен азайтуға болады. Алайда, бұл ретте өлшеу процесінің уақыты едәуір ұлғаятын болады, сондықтан қазіргі кезде өлшеу процесінің дұрыс уақыты кезінде, дискреттеудің қателігін азайтуға мүмкіндік беретін әдістер әзірленген. Осындай әдістерге нониустық әдіс пен интерполяциялық әдіс жатады.



10.11-сурет. Уақыт аралығын интерполяция әдісімен өлшеу:

а — өлшенетін аралық; б — есептік импульстер; в — кеңейткіштердің шығу импульстері; г — кеңейтілген аралықтарды бейнелейтін есептік импульстер тобы

Интерполяциялық әдіс өлшенетін уақыт аралығын толтыратын есептік импульстер периодының бүтін санымен есептелуден басқа тіреуші және бірінші есептік импульстер арасында, сондай-ақ соңғы есептік және аралықтық импульс арасында жасалған периодтың бөлшектік бөліктерінен тұрады.

Уақыт аралығын өлшеуге арналған интерполяциялық әдістің мәні 10.11-суретте түсіндірілгендей, келесімен қорытындылады. Басы мен соңы u_n және u_k екі импульспен берілген T_x уақыт аралығы өлшенеді делік (10.11, а суретті қараңыз). Бұл ретте, өлшенетін уақыт аралығының басы есептік импульстермен бейсинхронды деп топшыланады (10.11, а және б суреттерін қараңыз).

T_x аралығының басында және соңында ($A1_n$ және $A1_k$) дискреттеу қателігін құрайтындарды азайту үшін, аралықты осы қателіктерге сәйкес k есе кеңейтеді және оны есептік импульстермен толтыра отырып, әр аралықты өлшейді. Кеңейткіштердің қателігін ескере отырып, тәжірибеде үлкен ұзындықтың аралығын, мысалы: $T_x = 2T_0 - A^{\wedge}$ және $T_2 = 2T_0 - A4$ аралықтарын кеңейтеді (10.11, в-сурет). Кеңейткіштер әдетте конденсаторларды әртүрлі жылдамдықпен зарядтау және ажырату тәсілін пайдалана отырып құрады.

10.11-суретте кеңейтілген аралықтардың ұштарын белгілейтін, i_{k1} және i_{k2} кеңейткіштердің шығу импульстері келтірілген, ал кеңейтілген аралықтардың өздері k_{11} және $k_2 T_2$ арқылы белгіленген.

Кеңейтілген аралықтарды, сондай-ақ T_1 және T_2 импульстерінің ұштары арасындағы T_0 аралықтарын уақытша селекторды және есептеуішті баяндайтын каналдарды пайдалана отырып, цифрлық әдіспен өлшейді. Кеңейтілген аралықтарды өлшеу кезінде, әр есептеуіштің кіруіне түсетін есептік импульстері 10.11, г-суретте көрсетілген. Сонымен, өлшенетін аралықтарды келесідей түрінде елестету мүмкін (10.11-суретті қараңыз).

$$k_1\tau_1 = N_1T_0 + \Delta t_{k1}; \quad k_2\tau_2 = N_2T_0 + \Delta t_{k2}; \quad \tau_0 = N_0T_0, \quad (10.7)$$

мұндағы k_1, k_2 — кеңейту коэффициенттері; N_0, N_1 и N_2 — белгіленген аралықтарды толтыратын есептік импульстердің саны; $\Delta t_{k1}, \Delta t_{k2}$ — кеңейтілген аралықтарды өлшеу кезінде, дискреттеу қателігі.

10.11-суреттен көріп отырғанымыздай, ізделіп отырған аралық T_x - $t_0 + t_1 - t_2$ тәуелсіздікпен анықталады. Осы формула бойынша (10.7) есептеп шығарылған өрнектің t_0, t_1 және t_2 параметрлерін қоятын болсақ, табатынымыз:

$$T_x = N_0T_0 + \frac{N_1T_0 + \Delta t_{k1}}{k_1} - \frac{N_2T_0 + \Delta t_{k2}}{k_2}.$$

$(k_1 - k_2 - k)$ кеңейту коэффициенттерін теңдестіру жағдайында алатынымыз:

$$T_x = T_0 \left[N_0 + \frac{N_1 - N_2}{k} \right] + \frac{\Delta t_{k1} - \Delta t_{k2}}{k_1}.$$

Δt_{k1} және Δt_{k2} дискреттеу қателігі 0 бастап, T_0 дейін шектерді тең бөлу, ал олардың айырмасы $(\Delta t_{k1} - \Delta t_{k2}) \pm T_0$ шектерімен үшбұрышты заң бойынша бөленетін болады. Осыған байланысты, T_x уақытының аралығын өлшеу кезінде, дискреттеудің максималды қателігі T_0/k тең болады, ол k кеңейту коэффициентінің өсуі шамасы бойынша азаяды. Тәжірибеде кеңейту коэффициенті 128 немесе 256 тенді таңдайды, себебі оны бұдан әрі ұлғайту аралық кеңейткіштерінің қателігі мәнді өседі.

Микропроцессорлар негізіндегі қазіргі дәл ΘK уақыт пен жиілік аралықтарын бірыңғай негізде өлшеу функциясын орындайды. Соңғысы уақыт аралығын қалыптастыру және өлшеу процестерінің бір құрылғыда толық қоса атқаруына байланысты. Дискреттеу қателігін азайту үшін, осындай жолмен қалыптастырылған аралықты интерполяцияны қолдана отырып, цифрлық әдіспен өлшейді.

Нәтижесінде k_1T_1 және k_2T_2 кеңейтілген аралықтарын және t_0 аралықтарын өлшеу кезінде (10.11-суретті қараңыз) есептік импульстер (N_0, N_1 и N_2) осы аралықтарды толықтырады және жекелеген тіркелімдерге жинақтайды.

Бұл ретте, T_x жалаң аралықтың ұзындығы формулаға сәйкес микропроцессормен есептеп шығарылады:

$$T_x = T_0 \left[N_0 + \frac{N_0 - N_2 - \Delta N_{cp}}{k} \right],$$

мұндағы ΔN_{cp} — кеңейткіштердің өзара үйлесімсіздігін есептейтін және микропроцессордың көмегімен оларды автоматты калибрлеу процесінде анықталатын түзету саны.

Қайталанатын аралықтарды өлшеу (орташалаумен бірге) кезінде қосымша аралықтарды өлшеу уақытында орташаланған, N_E импульстерінің саны есептеледі. Бұл жағдайда уақыт аралығы өрнекке сәйкес есептеп шығарылады:

$$T_c = \frac{T_0}{N_E} [N_0 + (N_1 - N_2 - N_E \Delta N_{cp}) / k].$$

T периодын өзгерту жағдайында N_E саны орташаланған периодтардың саны болып табылады. Бұл ретте, период формула бойынша есептеп

$$T = \frac{T_0}{N_E} [N_0 + (N_1 - N_2 - \Delta N_{cp}) / k].$$

Осылайша, цифрлық әдіс уақыт аралығын жоғары дәлдікпен және шынайылықпен жүргізуге мүмкіндік береді.

Бақылау сұрақтары

1. Тербелмелі электромагниттік жиілік өлшегіш қалай жұмыс істейді?
2. Ферродинамикалық логометр көмегімен жиілікті қалай өлшеуге болады? Жиілікті өлшеуге арналған құрылымдық ерекшелігі неде?
3. Жиілікті өлшеуге арналған жиілікке тәуелді көпірлер қалай құрылған?
4. Жиілік пен уақыт интервалын өлшеуге қандай әдістер қолданылады?
5. Резонансты жиілік өлшегіштің жұмыс қағидасы неде?
6. Сыйымдылық жиілік өлшегішінің жұмыс қағидасы неде?
7. Цифрлық жиілік өлшегіштің жұмыс қағидасы неде?
8. Уақыт интервалын өлшеудің цифрлық әдісінің мәні қандай?

БЕЙЭЛЕКТРЛІК ШАМАЛАРДЫҢ ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕМІ

11.1. Негізгі мағлұматтар

Бейэлектрлік шамаларды өлшеуге арналған әртүрлі электрлік аспаптардың негізгі бөлігі өлшеу түрлендіргіші немесе өлшенетін бейэлектрлік (кіру) шаманы электрлік (шығу) шамасына түрлендіру үшін пайдаланатын түрлендіргіш болып табылады.

Түрлендіргіштер олардың әрекет ету қағидаты бойынша, яғни бейэлектрлік шаманы электрлікке түрлендіру үшін пайдаланатын физикалық шама бойынша жіктеледі.

Өлшенетін шаманы R кедергі, L индуктивтілік, M өзара индуктивтілік немесе C сыйымдылық сияқты электрлік параметрлерге түрлендіретін түрлендіргіштерді *параметрлік* деп атайды. Өлшенетін бейэлектрлік шаманы ЭҚК түрлендіретін түрлендіргіштерді *генераторлық* деп атайды.

Параметрлік түрлендіргіштерді қолдану кезінде электр энергиясының көмекші көзінің болуы міндетті, сонда қалай генераторлық түрлендіргіштердің өздері электр энергиясының көзі болып табылады және оларды пайдалану кезінде көмекші көз тек түрлендіретін шаманы күшейту үшін қажет болады.

Бір және сол түрлендіргіш әртүрлі бейэлектрлік шамаларды өлшеу үшін қолданылуы мүмкін.

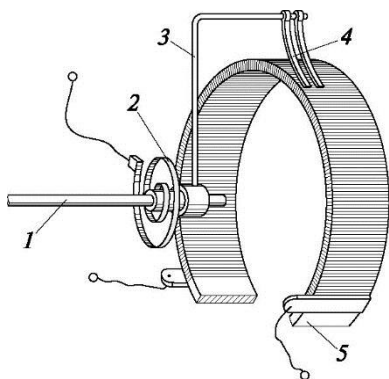
11.2. Реостаттық түрлендіргіштер

Реостаттық түрлендіргіштер тәуелсіздік құра отырып, X өлшенетін бейэлектрлік шаманың әсерінен қозғалтқышы ауыстырылатын реостатты құрайды

$$R = f(X),$$

мұндағы R — түрлендіргіш кедергісі

11.1-суретте иілген пластина түріндегі 50кшаулау материалдарынан (текстолит, пластмасса, лак жағылған алюминий) орындалған, салыстырмалы үлкен кедергілік және температуралық коэффициенті аз



11.1-сурет. Реостаттық түрлендіргіштің құрылғысы:

- 1 — ось; 2 — шөткеге апаратын токжолы;
3 — бау; 4 — түйспелік қылшақ - ка; 5 — оқшаулау материалынан

кедергілік сыммен оралған, платиноиридийлік қорытпа мангиннен әзірленген реостаттық түрлендіргіш құрылғысы ұсынылған. Кедергіні барынша бірқалыпты өзгерту және шөткенің білік санының байланыс қабатына үйкелуі моментін азайту үшін үлкен болуы мүмкін. Платиноиридийлік қорытпадан орындалған 4 түйспелік қылшақ немесе өлшеу объектісімен байланысты, 1 оське бекітілген, 3 бау делдалдығымен ораманы оқшаулаудан тазаланған күміс бойынша ауыстырылады.

Қуат шөткеден 2 шөткеге апаратын токжолы (шиыршық серіппе) арқылы шешіледі.

Сымды шөткеден сенімді байланыс алу үшін байланыс күшейткішін 5...10 г қамтамасыз ету қажет. Қазіргі кезде 0,5 бастап, 2,0 г дейін байланыс күшейтетін түрлендіргіштер бар.

Реостаттық түрлендіргіштерді сызықтық және бұрыштық жылжуды өлшеуге, сондай-ақ сызықтық және бұрыштық жылжуға механикалық түрлендірілуі мүмкін, басқа шамалар қатарын өлшеуге арналған аспаптарда қолданады.

11.3. Индуктивтік және индукциялық түрлендіргіштер

Индуктивтік түрлендіргіш. 11.2-суретте индуктивтік түрлендіргіштердің принципті сызбалары көрсетілген. Индуктивтік түрлендіргіштер (11.2, а суретті қараңыз) ауа саңылауымен бірге шамасы (ұзындығы) 5 F өлшенетін механикалық шаманың функциясына өзгертін Іэлектромагнитті құрайды.

Әсіресе бір мезгілде әрі әртүрлі белгілермен екі электромагниттің екі саңылауына өзгертін дифференциалдық түрлендіргіштерді (11.2, б суретті қараңыз) кең қолданады, бұл сезімталдықты ұлғайтады және түрлендіргіштің басқа сипаттамасын жақсартады.

Саңылауды 5 өзгерту кезінде, электромагниттің магнит өткізгішінің Y_M , оның белгілі тәуелділікті мөлшеріне байланысты, магниттік кедергіге өзгереді

$$R_M = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{I_i}{\mu_i S_i} + \frac{\delta}{\mu_0 S^2}$$

мұндағы l_b , s_b , Π — көлденең кесінді алаңының ұзындығы және магнит тізбегінің болат бөлігінің сәйкесінше i -учаскесіне магниттік өткізгіштігі; μ_0 — ауа магниттік өткізгіштігі; δ , s — ауа саңылауының көлденең кесіндісінің алаңы.

R_M магниттік кедергісінің өзгеруі 3 шарғының Z толық кедергісінің шамасы бойынша бағаланады (11.2, а суретті қараңыз), себебі 2 якорьді ауыстырған кезде белсенді ретінде де, сонымен бірге шарғының реактивті кедергісі ретінде де өзгереді. Бірінші гистерезистің және құйынды токтардың кемуін өзгерту нәтижесінде, ал екіншісі — шарғының индуктивтілігінің өзгеруінен өзгереді.

Шарғының индуктивтілігі келесідей тәуелділікпен R_M магниттік кедергісіне байланысты:

$$L = \frac{\Phi w}{I} = \frac{I w}{R_M} \frac{w}{I} = \frac{w^2}{R_M},$$

мұндағы Φ — магниттік ағын; w — шарғы біліктерінің саны; I — шарғыдағы ток.

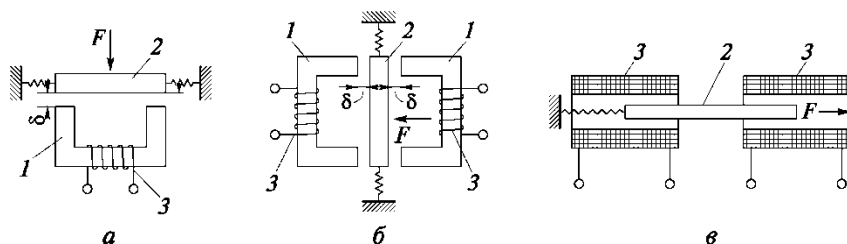
P_{Fe} кемуіне эквивалентті R_{Fe} кедергісін келесідей формуламен жазуға болады:

$$R_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{I^2}.$$

Алайда, біріншіге жуықтағанда P_{Fe} кемуі Φ ағынының квадратына тең болады, сондықтан

$$R_{Fe} = \frac{K \Phi^2}{I^2} = K \frac{w^2}{R_M},$$

мұнда K - түрлендіргіш құрастырылымына тәуелді коэффициент ғы



11.2-сурет. Индуктивтік түрлендіргіштердің принципті сызбалары:

a — аз жылжуларды өлшеуге арналған; b — дифференциалдық түрлендіргіш; $в$ — үлкен жылжуларды өлшеуге арналған; 1 — электрмагниттер; 2 — якорь;

3 — шарғылар

Ауа саңылауын 5 өзгерту кезінде белсенді ретінде де, сонымен бірге шарғының реактивті кедергісі ретінде, демек, оның Z толық кедергісі өзгереді.

Осылайша, индуктивтік түрлендіргіштерде: $F \rightarrow \Delta\delta \rightarrow R_M \rightarrow Z$ тізбекті түрлендіргіштер болады.

Түрлендіргіштердің суреттелген түрлерін якорьдың білікке қатысты шағын жылжуымен салыстырған кезде қолданады. Якорьдың үлкен жылжуларын өлшеу кезінде, якорь 2 шарғының 3 ішінде, оның толық кедергісін өзгерте отырып, жылжитын ашық магниттік тізбекпен (11.2-сурет, в) бірге дифференциалды индуктивтік түрлендіргіштерді пайдаланады.

Индуктивтік түрлендіргішті аспаптар жылжуларды ретіндегі, сондай-ақ якорьдың жылжуына атқарымдылықпен байланысты, мысалы: күш, қысым, айналу кезі және т.б. кез келген механикалық шараларды өлшеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Индукциялық түрлендіргіш. Бұл өлшенетін бейлектрлік (механикалық) шама индукцияланған ЭҚК түрленетін түрлендіргішті құрайды. Электрмагниттік индукцияның заңына сәйкес, индукцияланған электр қозғаушы күш E білік шарғысына тіркескен Φ магниттік ағынды өзгерту жылдамдығымен анықталады:

$$E = -w \frac{d\Phi}{dt}.$$

Индукциялық түрлендіргіш тікелей сызықтық немесе бұрыштық жылжулардың жылдамдығын өлшеуге арналған аспаптарда ғана қолданылуы мүмкін.

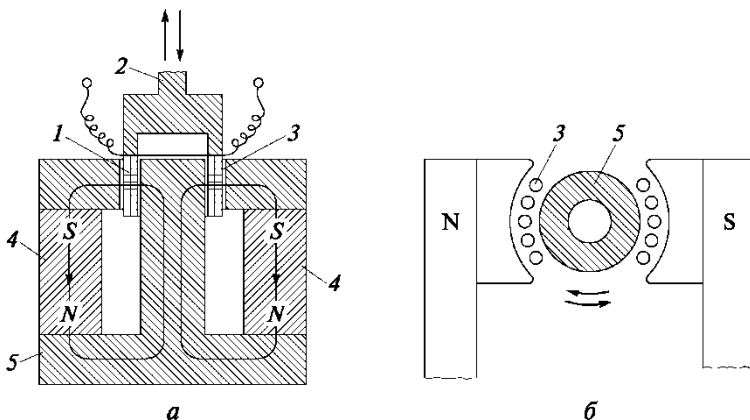
Тәжірибеде индукциялық түрлендіргіштерді айналдыру жылдамдығын өлшеуге арналған аспаптарда (тахометрлерде), сондай-ақ, діріл параметрлерін өзгертуге арналған, яғни сызықтық және бұрыштық жылжулар және үдеткіштер уақытында (дірілөлшегіштерде және үдеуөлшегіштерде) ауыспалыларды өлшеуге арналған аспаптарда қолданады.

Тахометрлерге арналған индукциялық түрлендіргіштер білігі зерттелетін қозғалтқыштың білігімен механикалық байланысты, тұрақты немесе ауыспалы токтың шағын генераторларын құрайды. Көбінесе, ауыспалы токтың генераторларын қолданады. Генератордың электр қозғаушы күші E теңдеумен өрнектеледі:

$$E = c\Phi \frac{pn}{60},$$

мұндағы c — біліктер санымен және қатарлас тармақтарының жұп сандарымен белгіленетін құрастырылмалы тұрақтылық; Φ — әдетте тұрақты магниттермен жасалатын қозу ағыны; p — полюстар жұбының саны; n — айналымдар саны минутына (айналу жылдамдығы).

$pn/60 = /$ шамасы генераторда индукцияланатын ЭҚК ауыспалы жиілік болып табылады.



11.3-сурет. Діріл және үдету параметрлерін өлшеуге арналған индукциялық түрлендіргіштердің құрылу қағидаты: а — сызықтық дірілді өлшеуге арналған; б — бұрыштық дірілді өлшеуге арналған; 1 — магнит өткізгіштің саңылауы; 2 — шарғыны өлшеу объектісіне байланатын білік; 3 — цилиндрлік шарғы; 4 — тұрақты магниттер; 5 — темір магниттік білік

Осылайша, өлшенетін айналу жылдамдығының өлшемі не болмаса E генераторының ЭҚК, не болмаса f жиілігіне қызмет етуі мүмкін. Діріл және үдету параметрлерін өлшеуге арналған индукциялық түрлендіргіштердің құрылу қағидаты 11.3-суретте көрсетілген.

11.3, а суретте сызықтық дірілді өлшеуге арналған аспаптардың индукциялық түрлендіргіштердің құрылу қағидаты ұсынылған. 2 Біліктік делдалдығымен өлшеу объектісіне байланысты және 1 магнит өткізгіштің айналма саңылауында орналасқан 3 цилиндрлік шарғы нұсқағыштермен көрсетілген бағыт бойынша сызықтық жылжуды (тербелісті) жасайды. Цилиндрлік 4 тұрақты магниттер құраушылар бойына магниттеліп, саңылауда радиал өрісін құрады. Тікелей бұрышпен шарғы орамасын өзінде жылжыту кезінде магниттік өріс сызығын қиып өтеді және ондағы ЭҚК индукцияланады.

Егер сызықтық жылжу Ax бірқатар уақыт функциясы болып табылатын болса $Ax = f(t)$, онда ЭҚК лездік мәні

$$E = wBl_a \frac{df(t)}{dt},$$

мұндағы w — шарғы біліктерінің саны; B — саңылаудағы индукция; l_a — біліктің белсенді ұзындығы.

Дәл осылай ЭҚК 5 ферромагниттік білікшеде орналасқан 3 цилиндрлік шарғыда, ол нұсқағышпен көрсетілген бағытта бұрыштық жылжулар жасайтын шарғымен бірге индукцияланады (11.3-сурет, б).

11.4. Сыйымдылықтық түрлендіргіштер

Сыйымдылықтық түрлендіргіштер сыйымдылығы өлшенетін бейэлектрлік шама өзгерісімен бірге өзгертін жазық немесе цилиндрлік конденсатор болып табылады.

Белгілі болғандай, жазық конденсатордың сыйымдылығы формуламен өрнектеледі

$$C = \frac{\epsilon S}{\delta},$$

мұндағы e — диэлектрлік өтімділік; s — астар алаңы; ϵ — астарлар арасындағы арақашықтық.

Өлшенетін бейэлектрлік шама не болмаса бейөткізгіш, не болмаса алаңмен, не болмаса астарлар арасындағы арақашықтықпен атқарымдылық байланысты болуы мүмкін.

11.4, *a* суретте сұйықтық деңгейін өлшеуге арналған аспаптың сыйымдылықтық түрлендіргіш әрекетінің қағидаты суреттелген. Ол коаксиалды конденсаторды құрайды.

Түрлендіргіш сыйымдылығы деңгейінің әр мәні үшін екі қатарлас қосылған конденсатор сыйымдылығы ретінде анықталуы мүмкін. Бір конденсатор электродтардың бөлігімен және деңгейі өлшенетін бейөткізгішпен- сұйықтықпен жасалған, ал екіншісі электродтардың қалған бөлігімен және бейөткізгіш-ауамен жасалған.

Егер түрлендіргіштің трубкасы ауамен толтырылған болса, онда конденсатордың сыйымдылығын келесідей формуламен жеткілікті дәл өрнектеуге болар еді:

$$C_0 = al_0\epsilon_0,$$

мұндағы a — трубканың ішкі қабаты мен электродтар арасындағы арақашықтық, ішкі өзекшенің үстіне тәуелді түрлендіргіштің құрастырымдылық параметрі; l_0 — түрлендіргіштің (трубканың); толық ұзындығы; ϵ_0 — ауаның диэлектрлік өтімділігі.

Егер ұзын трубканың бөлігі l диэлектрлік өтімділіктің сұйықтығымен толтырылса, онда түрлендіргіштің осы бөлігінің сыйымдылығы мынаны құрайды

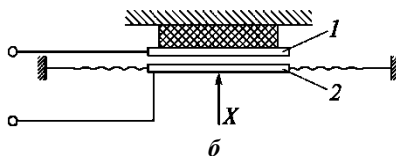
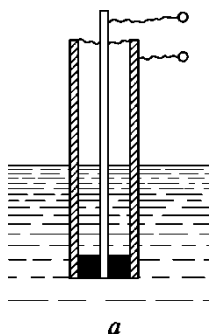
$$C_l = ale,$$

ал түрлендіргіштің толық сыйымдылығы:

$$C = ale + a(l_0 - l)\epsilon_0.$$

Осылайша, $C = f(l)$.

11.4, *b* суретте X шағын жылжуды немесе l жылжымайтын астарға қатысты 2 қозғалмалы астардың жылжуын туындататын басқа механикалық шамаларды (күш,қысым және т.б.) өлшеуге арналған сыйымдылықтық түрлендіргіштерді пайдалану қағидаты көрсетілген.



11.4-сурет. Сыйымдылықтық түрлендіргіштердің принциптік сызбасы :

a — сұйықтық деңгейін өлшеуге арналған; *б* — шағын жылжуларды өлшеуге арналған; 1 — конденсатордың жылжымайтын астары; 2 — қозғалмалы астары

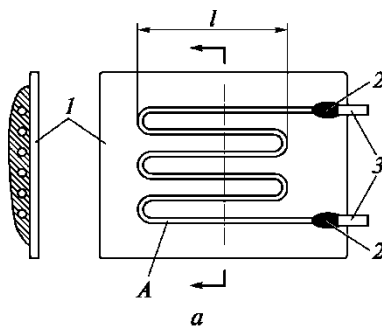
Сыйымдылықтық түрлендіргіштерді пайдалану кезінде зиянды сыйымдылықтар, басты бейнеде жерге қатысты жалғағыш сымдар (сызықтарының) сыйымдылығы әсеріне ерекше назар аудару қажет. Көптеген жағдайларда зиянды сыйымдылықтарды түрлендіргіштік сыйымдылықтармен салыстырады, сондықтан жалғағыш сымдарды экрандау және өлшеу тізбегін жерсіндіру нүктесін дұрыс таңдау мәселесіне зор көңіл бөлу қажет.

Түрлендіргіштің өзін электрлік өрістердің әсеріне экрандау өте маңызды, әдетте экран түрлендіргіштің металл корпусы болып табылады.

11.5. Тензорезисторлер

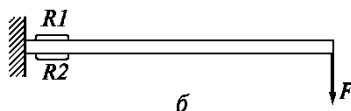
Тензорезисторлер өзгерулерді және осы өзгерулермен анықталған механикалық кернеулерді өлшеуге арналған.

Олар жұқа (диаметрі 0,02-0,04 мм) ирнедеумен жинақталған l қағаз жолағына желімделген



11.5-сурет. Тензорезистор (сымдық түрлендіргіш):

a — тензометр сызбасы; *б* — күш пен өзгеруді өлшеуге арналған тензометрдің орналасу сызбасы; А — сым; 1 — қағаз; 2 — дәнекерлеу; 3 — шығару



(11.5-сурет, а), жоғарғы салыстырмалы кедергі материалынан әзірленген, А сымды құрайды. Күтілетін өзгертудің бағыты сымның ұзын жағына ілмекпен сәйкес келетіндей, қағаз сыммен тығыздалып, зерттелетін детальдың үстіне желімделеді. Сонда детальдың өзгеруі кезінде, мысалы: оны тарту немесе қысу кезінде сым осы өзгеруді қабылдайтын болады, осының салдарынан оның l ұзындығы және диаметрі өзгертін болады. Бұдан басқа, тәжірибе көрсеткендей, демек оның салыстырмалы кедергісі де өзгеруі мүмкін. Нәтижесінде, детальдың өзгеру функциясы, сәйкесінше ондағы механикалық кернеудің функциясы болып табылатын R сым кедергісінің өзгеруі өтеді.

Кедергінің өзгеруімен салыстыру келесідей бейнеде өрнектелуі мүмкін:

$$\frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right) = f(\sigma),$$

мұндағы $\frac{\Delta l}{l}$ — салыстырмалы өзгеру; σ — детальдағы кернеу.

Тәжірибе көрсеткендей, $f(\sigma)$ функциясы шамалы өзгеру кезінде сызықтық болып табылады:

Тензорезисторларды тиімді әзірлеу үшін, үлкен сезгіштікті меңгертін, яғни K коэффициентінің үлкен мәні мүмкін болатын сымды пайдаланады. Көбінесе бұл үшін $K = 1,9-2,1$ үшін, константа сымын пайдаланады.

Себебі $\Delta l/l$, салыстырмалы өзгертулер, мысалы: болапт детальдардың илгіштік өзгертулер шегінде $2,5 \cdot 10^{-3}$ аспайды, онда $\Delta R/R = K \Delta l/l = 5 \cdot 10^{-3}$, яғни, 0,5 %. аспайды. Аспап көрсетуінің өзгеруін туындататындай желімделіп, зерттелетін детальдың үмкін болатын температура тербелісінен шығатын кедергіні өзгерту үшін, түрлендіргіштің кедергісін тым аз жұмыстыққа өзгерткен маңызды. Осы сымның әсерінен кедергі температуралық коэффициентті аз иеленуі мүмкін. Константалық сымда 10°C 0,02 бастап, 0,05 % дейін кедергінің шағын температуралық коэффициенті болса жеткілікті. Бірақ, температураның өзгеруі кезінде, мысалы 20°C , осындай сым кедергісінің салыстырмалы өзгеруі 0,1 % жетуі мүмкін, бұл өлшенетін өзгертумен белгіленген, кедергінің жұмыстық өзгеруімен өлшемдес болады.

Аз температуралық коэффициент көзқарасынан алғанда, манганинді пайдаланған дұрысырақ, алайда манганиндік сым коэффициентінің салыстырмалы сезгіштігі, константадан әзірленген сымның сезгіштігіне қарағанда, үш-төрт есе аз болады.

Тензорезисторды пайдалану кезінде, температуралық қателікті өтемдеуге арналған шараларды қабылдау қажет.

Түрлендіргіш ілмегінің ұзындығын *I түрлендіргіш негізі* деп атайды. Тензорезисторлардың өлшемдері ұзындығы бойынша 2,5 - 150 мм және ені бойынша 3 - 60 мм дейін тербеледі. Түрлендіргіштің кедергісі көбінесе 100-200 Омды құрайды. Қағазға ирендеп жатқызыған сымның ұштары ерітіп жабыстырылады немесе 3 қорытындыға балқытып жабыстырылады. (11.5, а суретті қараңыз). Тензометр біліктерінің санын ұлғайту оның сезгіштігін арттыратын болады.

Қазіргі кезде тензорезисторларды жұқа жұқалтырдан әзірлейді. Бұл үшін жұқалтыр лентасына өңдек жолымен материалдың қалған бөлігі тензорезистор пішінінде болатындай бейнеде металл бөлігі таңдалады.

Сымдық түрлендіргіштерін тікелей өзгеруді өлшеу үшін қолданады. Алайда, оларды өлшенетін механикалық шаманы қабылдайтын, көмекші детальды (әдетте иілгіш элемент деп аталатын) өзгертуге түрлендіретін, басқа механикалық шамаларды өлшеу үшін де пайдаланады. Мысалы, тензо- резисторлар желімделген *R1* және *R2* (11.5-сурет, б) аралықты *F* күшін өлшеу үшін немесе егер өлшеу объектісі өзінің жылжуы кезінде аралықтың бос ұшына әсер ететін жылжу, яғни оның иілуін туындататын жылжу үшін, пайдаланылуы мүмкін. Сонда, аралықтың өзгеруі өлшенетін шамамен атқарымдылықтық байланысатын болады.

11.6. Электрлік кедергілер термометрлері

Терморезисторлар температура өлшеуге арналған құралдарда жиі қолданылады. Олар *электрлік кедергі термометрлері* немесе *кедергі термометрлері* деп аталады. Бұндай терморезисторлар олардан бөлінетін жылу температурасы өзгертін ортадан алған жылумен салыстырғанда аз болуы үшін тоқ күші аз кезінде жұмыс жасайды.

Платина немесе мыс сымнан орындалған кедергі термометрлерінің түрлендіргіштері өте кең тараған.

Платина терморезисторлары 183-тен +500 °С дейін (оттегінің қайнау температурасы -182,97 °С) интервалдағы температураны өлшеуге қолданылады.

0-ден 660 °С дейінгі диапазондағы температурадан *t* пластина кедергісінің тәуелділігі мына өрнекке бағынады:

$$R_t = R_0(1 + \beta_1 t + \beta_2 t^2),$$

бұнда D — 0°C температурадағы кедергі; ρ , ρ_2 — температуралық коэффициенттер.

0-ден-183 $^{\circ}\text{C}$ дейінгі интервалдағы платина кедергісінің температурадан тәуелділігі зависимость мына теңдеумен өрнектеледі

$$R_t = R_0[1 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 (t - 100)t^3].$$

Келтірілген формулада көрсетілген температуралық коэффициенттердің мәндері мынадай:

$$\beta_1 = 3,940 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}; \beta_2 = -5,8 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}; \beta_3 = 4 \cdot 10^{-12} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}.$$

Мыс сымнан түрлендіргіші бар кедергілер термометрлері 100-150 $^{\circ}\text{C}$ жоғары температураны өлшеуге қолданылады, өйткені тым жоғары температура кезінде мыс едәуір қышқылданады.

Мыс кедергісінің температураға тәуелділігін мына формула бойынша анықтауға болады

$$R_t = R_0(1 + \beta_{Cu} t),$$

бұнда Δ_0 — 0°C температура кезіндегі кедергі; ρ_{Cu} — мыстың температуралық коэффициенті, ол $4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ тең.

Кедергі термометрінің түрлендіргішінде жұмыс тоғы әдетте 10-15 мА аспайды. Бұндай түрлендіргіштердің (0°C кезінде) бастапқы кедергісі 50 Омды, сирек 100 Омды құрайды. Бұндай параметрлер кезінде кедергілердің өндірістік термометрлерінде тоқтан бөлінетін жылу өлшемнің дәлдігінде көрсетілмейді. Кедергінің платина термометрлерінде изоляциясыз сым қолданылады, ол слюдалық пластинадан жасалған, қаңқаға оралған; кедергінің мыс термометрлерінде эмаль немесе жібекпен оқшауланған сым қолданылады, ол пластмасса немесе керамикадан жасалған, қаңқаға оралған. Кейінгі уақытта кедергі термометрлерінің түрлендіргіші ретінде кейде 0,03.0,04 $1/^{\circ}\text{C}$ теріс температуралық коэффициент кедергісі 0,03.0,04 $1/^{\circ}\text{C}$ болатын жартылай өткізгіш термокедергілер қолданылады, ол металл сымнан түрлендіргіш сезімталдығына қарағанда, 8-10 есе үлкен түрлендіргіштің сезімталдығын қамтамасыз етеді. Бұл терморезисторлар аз мөлшерімн және үлкен кедергісімен ерекшеленеді (1 000 бастап 200 000 Ом-ға дейін). Олар -100 -ден +120 $^{\circ}\text{C}$ дейін температура диапазонындағы жұмысқа жарамды.

Жартылайөткізгіш терморезисторларының кемшілігі олардың сипаттамаларының бірдей еместігі болып табылады, ол манганиннан кедергіге ретті немесе параллель қосылу жолымен берілген мәнге олардың әрқайсысының температуралық коэффициентін тығыстыруды талап етеді. Бұл температураны өлшеу үшін жартылайөткізгіш терморезисторларды кеңінен пайдалану мүмкіндігін шектейді.

11.7. Термоэлектрлік түрлендіргіштер

Термоэлектрлік түрлендіргіш дегеніміз әректі материалдардан жасалған А және В екі өткізгішті, термобу (11.6-сурет, а), олар бірімен-бірі 1 нүкте (термобудың жұмыс шегі — «ыстық дәнекер») және 2 нүкте (термобудың еркін шегі— «суық дәнекер»).

Егер осы нүктелердің бірінің температурасын өзгертсе, онда тізбекте термоЭҚК пайда болады, ол өткізгіштердің қосылу орнының температуралық функциясының айырмашылығы болып табылады:

$$E_{AB} = f(t_1) - f(t_2).$$

Егер температураны тұрақты қосылудың бір нүктесімен ұстап тұрса, мысалы нүкте 2, онда

$$E_{AB} = f(t_1) - C = f_1(t_1).$$

Кейінгі өрнек термобу көмегімен температураны өлшеу негізіне салынған.

ТермоЭҚК өлшеу милливольтметрмен (11.6-сурет, б) немесе компенсатормен жүргізіледі. 1 қосылу нүктесі термобудың жұмыс аяғы, ал 2 қосылу нүктесі термобудың бос аяғы деп аталады.

Осы термобуы бар милливольтметр термоэлектрлік термометрді құрайды. Осындай термометрді межелеу бос ұштардың 0°C тең температурада жүргізіледі.

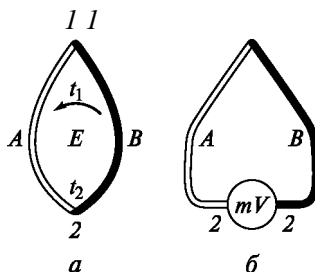
Термометрді тәжірибелік қолдану кезінде еркін шектердің температурасы нөлден жоғары, сол кезде өлшемнің қателігі пайда болады: құрал шын температурамен салыстырғанда азды көрсетеді.

Бс шектер температурасына түзету енгізу құрал көрсеткішіне бос шектер температурасын қосуға әкеледі.

Бос шектердің тұрақты температурасын қамтамасыз ету мен түзету енгізуді жеңілдету үшін еркін шектерді жоғары температура аймағынан алыстату қажет.

Термобу әдетте қатты қорғаныш арматурасына орналастырылады (зерттелетін ортаның химиялық әсерінен және механикалық зақымынан), сондықтан оны бір жағынан термобу қысқыштарының қорабына, ал екінші жағынан милливольтметрге апаратын өткізгішке қоса отырып, икемді термоэлектродтармен ұластыру керек.

11.6-сурет. Термоэлектрлік-түрлендіргіштің әрекет ету қағидасы (термобу): а — термоЭҚК жасалу сызбасы; б — термоЭҚКөлшеу сызбасы; 1 — тер-мобудың жұмыс шегі; 2 — термобудың еркін шегі; А және В — өткізгіштер



Кең таралған термобулардың сипаттамасы

Термобу	ТермоЭҚК 100°С ($\theta = 0$ °С), мВ кезінде	Температура өлшемiнiң жоғарғы шегi, °С	
		Ұзақ қолданғанда	Аз қолданғанда
Платинородий (90 % Pt + + 10 % Ph) — платина	0,64	1 400	1 600
Медь — копель (56 % Cu + + 44 % Ni)	4,75	350	500
Темір — копель	5,75	600	800
Хромель (90 % Ni + 10 % Cr) — копель	6,90	600	800
Хромель — алюмель (94,83 % Ni + 2 % Al + 2 % Mn + + 1 % Si + 0,17 % Fe)	4,10	1 100	1 250

Бұндай термоэлектродтарды компенсациялық өткізгіштер деп аталады, бірақ бұл атау нақты емес, өйткені термоэлектродтар ештеңені компенсацияламайды.

Кең тараған термобу сипаттамалары 11.1-кестесінде келтірілген.

Платинородий-платина термобу сипаттамалары сызықтық болып табылмайды: 1 600°С температура кезінде бұл 16,76 мВ тең термобу термоЭҚК дамытады. Қалған термобулардың сипаттамалары іс жүзінде сызықтық.

11.8. Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер

Тура және кері пьезоэлектрлік әсерлер болады. Тура *пьезоэлектрлік әсерлер* кейбір диэлектриктер мен электрлік поляризациялаудың бетінде механикалық кернеулер немесе деформация әсерімен электр зарядтарының пайда болуынан тұрады.

Диэлектрик кернеуінің жоғалуы кезінде тағы бейэлектрлік күйге келеді. Бұндай диэлектриктер *пьезоэлектриктер* деп аталады.

Кері пьезоэлектрлік әсер дегеніміз электр өрісінде орналасқан пьезоэлектриктерде деформацияның пайда болуы.

Ең күшті пьезоэлектрлік әсер сегнетоэлектрлікте көрсетілген.

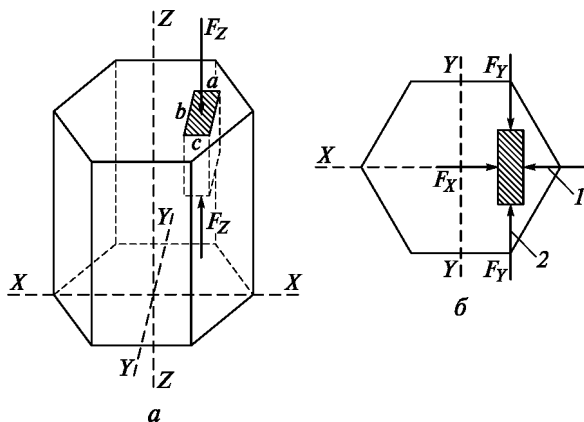
Сегнетоэлектрліктер деп жоғары диэлектрлік өткізгіштігі мен күшті пьезоэлектрлік әсері бар кейбір кристалды заттар мен поляризациялық керамиканы түсінеді. Кең қолдау тапқан типтік сегнетоэлектрик сегнет тұзы болып табылады. Кейінгі уақыттарда өлшеу техникасында сегнетоэлектрліктер, барий титанаты мен аммоний фосфаты қолданылады.

Кварц. Өлшеу үшін пьезоэлектрлік қасиеттері жоғары механикалық мықтылығы және изоляциялық сапасымен, сонымен қатар кең шектерде пьезоэлектрлік сипаттамалардың тәуелсіздігімен үйлесетін кварц кең тараған.

11.7-суретте кристалл кварцында симметрия остерінің орналасуы көрсетілген: изометриядағы кристалл сызбасы (11.7-сурет, а); кристалдың үстінен қарағандағы түрі (11.7-сурет, б).

Кварц кристалдарында мынадай басты остер бар: бойлық ось Z — Z , ол оптикалық деп аталады; *оптикалыққа* перпендикуляр призманың алтықырлы қабырғасы арқылы өтетін, *электрлік ось* X — X ; қырларына перпендикуляр ось Y — Y , — *бейтарап*, немес *механикалық*.

Егер a , b , c қырлары электрлік оптикалық және механикалық остерге параллель болуы үшін кварцтың кристалынан параллелепипед кесіп алса, онда оптикалық оске перпендикуляр күштерінің әсерінен кристалл электрленеді, сонымен бірге жазықта, перпендикуляр электр осінде зарядтар пайда болады.



11.7-сурет. Кварц кристалында симметрия осьтерінің орналасуы

a —изометриядағы кристалл сызбасы ; b —кристалдың үстінен қарағандағы түрі;
 1 — бойлық пьезоәсер; 2 — көлденең пьезоәсер

Оптикалық ось бойы бағытталған күш әрекеті кезінде, кварцты электрлендіру бақыланбайтын болады. Егер параллелепипедке X осі бойына (1бойлық пьезоэффект) қысатын F_x күші әрекет ететін болса, онда полярлау векторы X осі бойынша бағытталатын болады. Бұл ретте, Π полярдың қарқындылығы өзгертуге немесе төзімді өзгерту шегінде қысымға тең болады:

$$\Pi = d_1 p_x = d_1 (F_x / s_x),$$

мұндағы d_x — пьезоэлектрлік тұрақты немесе пьезоэлектрлік модуль деп аталатын тұрақты коэффициент; p_x , F_x — bc қырының ауданындағы қолданыстағы қысым мен күш; s_x — bc қырының ауданы. Сонда X электрлік осіне перпендикуляр, әр қырында туындайтын q зарядын, полярлау қарқындылығының анықтамасына сәйкес, былай есептеуге болады

$$q = \Pi s_x, \text{ или } q = d_1 F_x \quad (11.1)$$

(11.1) теңдеу көрсеткендей, электр осі бойы бағытталған күш әрекеті кезінде bc қырында туындайтын зарядтар шамасы, кристалдың геометриялық өлшеміне байланысты болмайды. Электр осі бойы бағытталған күшке кварцты қысқан кезде bc қырында пайда болған зарядтардың, оларды тарту кезінде туындаған зарядтармен салыстырғанда қарама-қарсы белгісі болады.

Егер механикалық ось (поперечный пьезоэффект 2) бойы бағытталған қолданыстағы кварцқа F_y күші қысылса, онда зарядтар тек электрлік оське перпендикуляр bc қырларында ғана туындайды, алайда полярлау векторының бағыты бойлық пьезоэффект кезінде оның бағытымен салыстырғанда қарама-қарсы болады. 11.7, a суреттегі F_z — F_z — Z — Z осі бойы бағытталған қысылатын күш

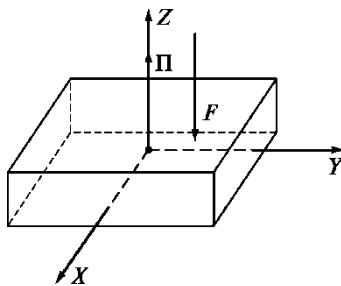
Кварцтың пьезоэлектрлік тұрақтылығы:

$$d - 2,110^{-12} \text{ Кл/Н} - 2,110^{-11} \text{ Кл/кг.}$$

Кварцтың пьезоэлектрлік тұрақтылығы d_1 іс жүзінде $0 - 470-500^\circ\text{C}$ диапазондағы температураға байланысты емес.

Барий титанаты. Оны пьезоэлектрик ретінде пайдаланады және керамика түрінде орындалады. Алайда барий титанаты керамикасының пьезоэлектрлік қасиетін алу үшін, оны полярлау керек, яғни шамамен үш сағат ішінде $20 - 30 \text{ кВ/см}$ кернеуліктегі тұрақты электрлік өрістің әсеріне ұшырауы тиіс. Барий титанатының керамикасын полярлауды әдетте Z ось бағытында жүргізеді. (11.8-сурет). Барий титанатының керамикасының өзгеру уақытын, яғни оның ескіруін ескеру қажет. Екі жылдың ішінде оның өзіндік пайдалы сапасы 20% дейін төмендейді.

11.8-сурет. Барий титанатын полярлау



Егер F механикалық күші Π полярлау осі бойынша әрекет ететін болса, онда зарядтар полярлау бағытына перпендикуляр қырында туындайды. Бұл ретте, пьезоэлектрлік модуль $d_3 = 107 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$, яғни, бұл кварцқа қарағанда шамамен 50 есе артық. Диэлектрлік өтімділігі $\epsilon = 1240 \cdot 10^{-11} \text{ Ф/м}$, яғни бұл кварцқа қарағанда шамамен 350 есе артық.

Барий титанаты керамикасының пьезоэлементтері жоғары механикалық төзімділікті иеленеді және оның қасиетіне ылғал әсер етпейді. Тәжірибеде барий титанаты керамикасы параметрлерінің температураға тәуелділігіне үлкен мән береді. Шамамен $-80, +10$ және $+120^\circ\text{C}$ температура кезінде барий титанаты бір кристалдық құрылымнан екіншісіне ауысады, демек, осындай температура кезінде барий титанатының параметрлері (қасиеті) күрт өзгерістерге ұшырайды. Осының салдарынан тұрақты пьезоэлектрлік тек $80 - 0^\circ\text{C}$ және $15 - 100^\circ\text{C}$ дейін тар температуралық диапазонмен салыстырғанда ғана аз өзгереді.

Бірнеше жақсы температуралық қасиеттерін кальций титанатының қоспасы бар барий титанаты (CaTiO_3) немесе қорғаныс титанаты (PbTiO_3) иеленген. Мысалы: барий титанатының қоспасындағы 12% қорғаныс титанат $120 - 180^\circ\text{C}$ құрылымдық ауысу нүктесін жылжытуға мүмкіндік береді.

Бакылау сұрақтары

1. Реостаттық түрлендіргіштердің тағайындалуы және оның жұмыс қағидаты қандай?
2. Сызба сызыңыз және индуктивтік және индукциялық түрлендіргіштердің жұмыс қағидаттары туралы айтып беріңіз.
3. Сыйымдылықтық түрлендіргіштер қалай жұмыс істейді және олардың қандай түрлері бар?
4. Тензорезисторларды қолдану саласы және тағайындалуы қандай?
5. Электрлік кедергі термометрлерінің жұмыс қағидаты мен тағайындалуы қандай?
6. Термоэлектрлік түрлендіргіштерді қолдану саласы қандай және жұмыс қағидаты неден тұрады?
7. «Пьезоэлектрлік эффект» дегеніміз не, оларды өлшеуіш

ӨЛШЕУ ДАБЫЛДАРЫНЫҢ ГЕНЕРАТОРЛАРЫ

12.1. Негізгі мағлұматтар

Өлшеу дабылдарының генераторлары (автогенераторлар) радиоэлектрондық аппаратураларды баптау және реттеуге арналған әртүрлі формадағы және жиіліктегі дабыл көздері болып табылады. Шығу дабылдарының формаларына байланысты генераторларды синусоидалды және релаксациялды (импульсті) тербелістер деп бөледі.

Синусоидалдық тербелістер генераторының дабыл спектрінің бір немесе бірнеше үйлесімділігі бар. *Релаксациялық тербелістер генераторының шығу* дабылдарында әртүрлі амплитудалы үйлесімділігінің кең спектрі бар.

Жиілікті диапазон бойынша генераторлар:

инфратөменжиілікті (0,01-20 Гц);

төменжиілікті, немесе дыбыстық диапазон генераторлары (20-300 000 Гц)

жоғары жиілікті генераторлар (0,3-300 МГц);

тым жоғары жиілікті генераторлар (300 МГц жоғары) болып бөлінеді.

Жеке топты *кездейсоқ тербелістер генераторлары*- шу генераторлары ұсынады. Сызықтық өзгеретін кернеулі генераторлар (СӨКГ) сондай-ақ релаксациялық генераторларға жататын есте сақтау керек. Генератордың бұл түрі ұңғы генераторы, сонымен қатар ӨҚ ретінде пайдаланылады.

Міндетіне, қағидасына және сызбасына байланысты жоғарыда көрсетілген тербелістердің кез келген генераторы (генерацияның параметриялық сызбасынан басқа) сызықсыз күшейткіштен, КБ оң тізбесінен және тұрақты тоқтың қуаттану көзінен тұрады. Шығыс дабылдарының формасы мен жиілігі тек генератордың өзінің параметрімен анықталады.

Үйлесімді тербелістер генераторы өз құрамында міндетті түрде таржолақты тербеліс жүйесі болу керек. Релаксациялық генераторлардың әрекет ету қағидасы қуаттау-қуатсыздандыру немесе КБ оң кеңжолақты тізбегінде өтетін жинақтаушы-жұтушы құбылыстарға негізделген.

Синусоидалдық тербелістердің өздігінен қозу шарттары мынада. Тербелістердің қозуы мен генерациясы үшін күшейткіштің шығысынан (дәлірек, тербеліс жүйесінен) энергия бөлігі бұл жағдайға ұйымдастырылған КБ оң тізбегі бойынша оның кірісіне беріледі.

Басқа сөзбен айтқанда, бұндай құрылғы «өзін өзі қоздырады» және сондықтан өздігінен *қоздырушы генератор* деп аталады.

Тербелістердің автогенераторда қозу механизмін қарапайым түрде былай ұсынуға болады.

Іске қосу кезінде автогенератордың тербеліс жүйесінде қуаттану көзімен, тізбектің тұйықталуымен, электр флукуацияларымен және т.б. шартталған бос тербелістер пайда болады. Оң КБ болуының арқасында бұл бастапқы тербелістер күшейеді және амплитуда бойынша өседі. Бұған қоса бірінші кезеңде, әзірше амплитуда аз болғанда күшейткіш іс жүзінде сызықтық сипатта және автогенератор сызықтық жүйе ретінде қарастырылады.

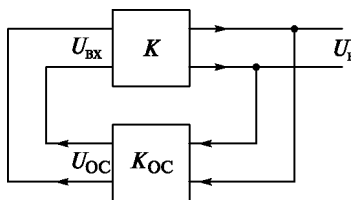
Амплитуда өсуінің энергетикалық үдерісін бір кезеңде күшейткіш контурға энергияны оның осы уақыт ішінде контурда шығындалатынынан артық береді.

Амплитуданың өсуімен жүйенің бейсызықтығы пайда бола бастайды (күшейткіштің вольт-амперлі сипаттамасының қисықтығы) және күшейткіш контурда тек тербеліс басылысы компенсацияланатын деңгейге дейін түседі, яғни, бір кезеңде контурға күшейткіш арқылы берілетін энергия тербеліс контурында осы уақытта шығындалатын энергияға тең болады.

Нәтижесінде автогенератордың шығыс тербелістерінің амплитудасы орнатылған деңгейге біршама жетеді және кейін іс жүзінде тұрақты болып кетеді, сондықтан автогенератор жұмысының стационарлық тәртібі туралы айтады.

Синусоидалды тербелістер генераторын (кез келген формадағы және жиіліктегі тербеліс сияқты) жалпылама құрылымдық сызба түрінде ұсынуға болады (12.1-сурет), ол күшейткіштің кешенді коэффициенті K бар бейсызықты резонансты күшейткіштен және кернеу $K_{КБ}$ бойынша берілістің кешенді коэффициенті бар тізбектің оң КБ тұрады.

Жалпылама құрылымдық сызба сипатына кешенді амплитуданың мына кернеулер қатысады: кіріс кернеу — $U_{кір}$; шығыс кернеу — $U_{шығ}$; кері байланыс кернеуі — $U_{кб}$.



12.1-сурет. Генератордың жалпылама құрылымдық сызбасы

Генерацияның кез келген жиілігіндегі КБ кернеуі үшін өрнекті мына түрде жазамыз:

$$U_{oc} = U_{BX} = K_{oc} U_{вых}. \quad (12.1)$$

Онда шығыс кернеу $U_{шығ} = \frac{KU_{кп}}{K_{oc}}$ немесе мына өрнектен (12.1)

$$U_{шығ} = K_{oc} K U_{BX}. \quad (12.2)$$

(12.2) өрнегінен мынаны жорамалдаймыз: автогенератор стационарлық тәртіпте жұмыс жасайды, шарт бойынша

$$KK_{oc} = 1. \quad (12.3)$$

Егер $KK_{oc} > 1$, онда шығыс тербеліс амплитудасы өседі, ол генератордық өздігінен қозуына қажетті шарттарды анықтайды. Формуланы (12.3) былай құруға болады:

$$K(\omega) e^{j\varphi_k(\omega)} K_{oc}(\omega) e^{j\varphi_{koc}(\omega)} = KK_{oc} e^{j(\varphi_k + \varphi_{koc})} = 1, \quad (12.4)$$

бұнда $K(\omega) = K$ және $K_{кб}(\omega) = K_{oc}$ — күшейткіш коэффициентінің шын мәні (КБ тізбегінсіз) және КБ оң тізбегіндегі коэффициентіне сәйкес; $\varphi_k(\omega) = \varphi_k$ және $\varphi_{koc}(\omega) = \varphi_{koc}$ — күшейткіш арқылы енгізілген фазалық жылжытулар және ағымды жиілікте ю кб оң тізбегіне сәйкес.

Формуладан (12.4) тұйық контурда тұрақты автотербелістердің пайда болуы үшін мына шарттарды орындау қажет екенін көрсетеді:

1) Дұрыс КБ дабылын қамтамасыз ету:

$$KK_{oc} = 1, \quad (12.5)$$

Онда $K_{кб}$ — кері байланысы бар күшейткіштің күшейту коэффициенті;

2) Тұйық контурда пайда болған фазаның жылжуы теңдікке жауап береді

$$\varphi_k + \varphi_{koc} = 2\pi m, \quad (12.6)$$

бұнда m — натурал бүтін сандар 1, 2, 3 және т.б.;

3) автотербеліс амплитудасының тұрақтылығы үшін күшейткіштің статикалық сипаттамасының сызықтық учаскесі мен шегі боуы тиіс.

автогенераторда амплитуда теңгерімінің шарттарын қатынасы (12.5) анықтайды. Одан кері байланысты $K_{oc} = 1$ күшейткіштің күшейту коэффициент генераторлық жиілікте стационарлық тәртіп болады деп есептейміз.

Теңдік (12.6) фазалардың теңгерім шарттарын сипаттайды. ω^{TM}

Ол стационарлық тәртіпте күшейткішпен және дұрыс кб тізбекпен жасалған дабылдың жиынтық фазалық жылжуы нөлге тең немесе 2π еселі болуы тиістігін көрсетеді. Тек фазалардың теңгерім шарты тудырылған тербелістер жиілігін анықтауға септігін тигізеді.

Стационарлық тәртіпте жұмыс жасайтын синусоидалды тербелістер генераторларының сызбасында (12.5) және (12.6) қатынастары таржолоқты тербеліс жүйесіне арналған резонансты болып табылатын белгіленген бір жиілікте орындалады.

Үйлесімсіз тербелістер автогенераторларының жұмысы кезінде (12.5) және (12.6) шарттары жиіліктің кейбір жолағы үшін орындалуы тиіс.

Синусоидалды тербелістердің генераторларында тербеліс жүйесі ретінде резонансты LC-контурлар (ТЖЖ –генераторында бұл мақсат үшін резонансты жүйелер пайдаланылады) және жиілікті – тәуелді (фазалық) RC-тізбектер қызмет етеді.

LC-контурлары бар синусоидалды тербеліс генераторлары LC-генераторлары деп, RC-тізбектерімен фазаланатын RC-генераторлар деп аталады. LC-генераторлары тым жоғары жиілікті (100 кГц астам), тербелістерді өндіреді, ал RC-генераторлар төмен жиілікті синусоидалды тербелістерді жасауға қолданылады (бір герцтен он килогерцке дейін).

12.1. Синусоидалды тербелістер генераторлары

Синусоидалды тербелістер генераторлары өлшеу құралдары үшін екі түрде орындалады: дабылдар генераторлары (ДГ) және стандарттық дабылдар генераторлары (СДГ).

Кейінгісінің жиілік тұрақтылығы мен тербеліс формаларының ең жоғарғы көрсеткіші бар, бірақ амплитуда бойынша ДГ қарағанда аз деңгейді көрсетеді. Дабылдар генераторларының Г3 таңбасы, ал стандарттық генераторлардың Г4 таңбасы бар.

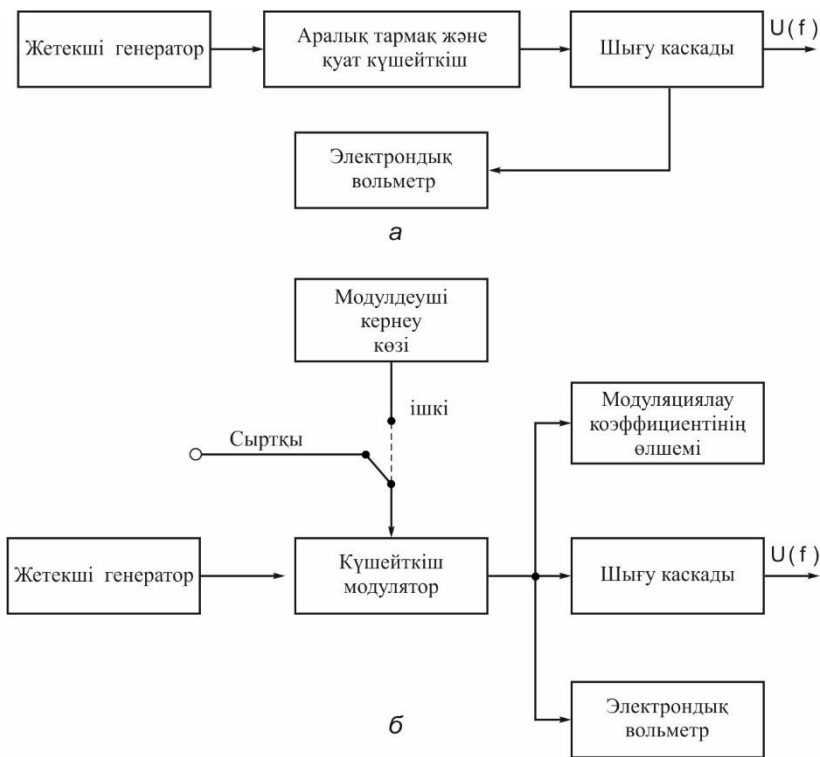
Синусоидалды дабылдардың ДГ және СДГ түріндегі өлшеу генераторларының жалпылама құрылымдық сызбасы 12.2-суреттегі сызбада көрсетілген. 12.2, а-суретте дабыл генераторының құрылымдық сызбасы, ал 12.2, б суретте стандарттық дабылдар генераторы көрсетілген. Параметр $U(f)$ кернеудің тербеліс жиілігін көрсетеді.

Амплитуда теңгерімі мен фаза шарттары орындалатын LC-генераторларында жиілік негізінен тербеліс контурының резонансымен анықталады, бұл мысалы, 12.3, а суретте көрсетілген. 12.3, а және б суреттерінде $U(f)$ — кернеудің жиілік тербелісі; Z_L және Z — кешендік кедергілер. Тербелістер жиілігі

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (12.7)$$

LC-генераторына кварцты тұрақты жиілікті генераторлар жатады. Бұл тұрақтандыру әдісі кварцты резантордың LC – контур орнына қолданылуға негізделген, ол жиіліктің тұрақсыздығын 10^{-7} (тудырылған $\Delta f = 1$ МГц-тен $\Delta f = 0,1$ Гц ауытқу жиілігі) дейін төмендетеді.

Кварцты резантор дегеніміз белгілі кварцтұтқышта орналасқан белгілі мөлшердегі, қырлары тиісті үлгіде кристалл осіне бағытталған жіңішке тікбұрышты пластина.



12.2-сурет. Синусоидалды дабылдардың өлшеу генераторларының жалпылама құрылымдық сызбалары: а — ДГ түрі; б — СДГ түрі.

Кварцтың тура және кері пьезоэлектрлік әсерлері бар (пьезоәсерлер). Тура пьезоәсер кварц пластинасының механикалық қысылуы немесе созылу кезінде пайда болады және оған элек зарядтарының қарама-қарсы қырының пайда болуы себеп болады.

Бірақ LC-генераторлардың барлық түрлері өлшеу техникасында шектеулі қолданыс табады, өйткені олардың жиілігі кең аралыққа қиын ауысады, ал төмен жиілікте тым үлкен көлемді индуктивтік және сыйымдылық талап етіледі.

Синусоидалды тербелістердің өлшеу генераторларында LC-тізбектері - әдетте Вин көпірі қолданылады (12.3-сурет, б), ол дабыл фазасын 180° жылжытуға арналған. Бұнда генератор сызбасы күшейткіш базасында құрылады, оның кең диапазонда берілістің жиілік коэффициенті K заттық көлем болып табылады, ал фазалық жылжу $\phi = 2\pi$ Вин көпірі және каскадтағы күшейткішінде дабыл түрленуі есебінен қатамасыз етіледі.

(12.5) шарты орындау үшін, оң КБ тізбегін беру коэффициенті заттық шама болуы қажет.

12.3, б суреттегі сызбадан көріп отырғанымыздай, $K_{кб}$ коэффициенті келесідей қатынасты құрайды:

$$K_{OC} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2},$$

мұндағы Z_1 және Z_2 — кешенді кедергілер;

$$Z_1 = R + \frac{1}{j\omega CR};$$

$$Z_2 = \frac{R}{1 + j\omega CR}.$$

Осы қатынастардың жай түрлендіргеннен кейін келесідей формуланы аламыз:

$$K_{OC} = \frac{1}{3 + j\left(\omega CR - \frac{1}{\omega CR}\right)}.$$

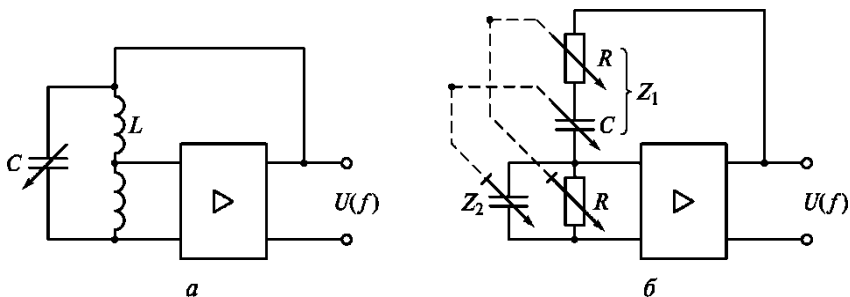
K_{OC} шамасы заттық болады, қашан

$$\omega CR - \frac{1}{\omega CR} = 0.$$

Демек, синусоидалық тербелістің жиілігі

$$\omega = \frac{1}{RC}, \text{ или } f = \frac{1}{2\pi RC}.$$

Мұнда параметр $K_{OC} = 1/3$, а $K = 3$.



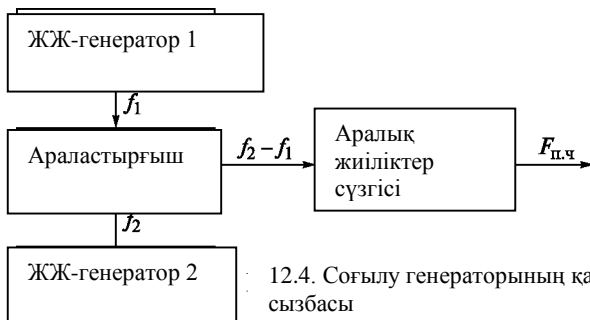
12.3-сурет. Құрылымдық сызбалар:
а — LC-генератор; б — RC-генератор

Автогенераторлардың нақты сызбаларында күшейту коэффициенті үлкен K күшейткіші қолданылады, ал оның жиілігін тұрақтандыру үшін оны ОС қосымша теріс тізбегімен қаусырады.

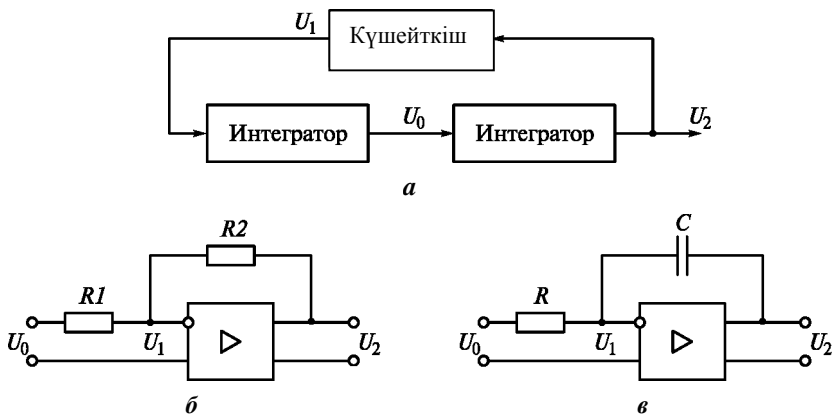
Генераторлардың дыбыстық сипаттамалары. **Дыбыстық жиілік диапазон** генераторларының (жиілігі төмен генераторлар) әдетте шығыс сигналының қуаттылығы жоғары болады (5-10 Вт дейін). Алайда мұндай қуаттылық тек келісімделген жүктемеде, 60, 600, 6 000 Ом жүктемесінде белгіленетін болады, сондықтан генератор шығысында келістіруші трансформатор жиі қосылады. Электронды вольтметрдің шығыс кернеуінің көрсеткіштері генератордың жүктемесі келісілген жағдайда ғана дұрыс болады. Генератор жиілігін орнату дәлсіздігін 1%-дан кіші шамаға дейін түсіруге болады. Жиіліктің тұрақтылығын арттыру үшін прецезиялық сыртқы элементтер (конденсаторлар, индуктивтілік шарықтары, резисторлар) қолданылады.

Сонымен қатар, өлшеу генераторларында мұндай сызбаның жиілігінің тұрақтылығын арттыру үшін соғылу арқылы шамасы берілетін генераторлар жиі қолданылады. Мұндай генератордың қарапайым құрылымдық сызбасы 12.4-суретте көрсетілген. Бұл жерде төмен жиіліктің тербелістері түрлендіргіштегі f және f синустық тербелістерді араластыру жолымен түзіледі (12.4-суретте жеңілдету үшін ол араластырғыш түрінде бейнеленген). Сонымен бірге f жиілігі f бастап $f + F$ дейін өзгеріп тұрады), мұндағы F — жұмыс диапазонының ең үлкен жұмыс жиілігі. Араластырғыштан шыға берісте комбинациялық жиіліктер, соның ішінде аралық жиілік $F^{\Delta} = \pm f_2 - f_1$ алынады. Аралық жиіліктің тербелісі F^{Δ} аралық жиіліктің сүзгісі 1 бөлінеді.

Жиілігі жоғары генераторлардың сипаттамалары. Радиожиілік диапазонына арналған өлшеу жүйелерінде сигнал генераторларымен қатар, стандартты сигналдар генераторлары пайдаланылады. Сигнал генераторларының шығыс сигналының қуаттылығы орташа (3 Вт дейін) және өлшеуіш жетекші антенналар мен басқа қуатты құрылғыларды қоректендіру үшін қолданылады. Стандартты сигналдар



12.4. Соғылу генераторының қарапайым құрылымдық сызбасы



12.5-сурет. Тербеліс буынының құрылымдық сызбалары:
a — электронды модель; *б* — күшейткіш буын; *в* — кіріктіруші буын

шығыс кернеуінің деңгейі төмен (1 В дейін) қуаттылығы аз сигнал көздері болып табылады. Олар радиоаппаратураны сынау кезінде және түйіндерін ретке келтіру кезінде қолданылады.

ССГ қойылатын негізгі талаптарға шығыс сигналының жиілігінің жоғары тұрақтылығы, шығыс сигналының амплитудалары, сызықтық емес бұрмалаулардың шағын коэффициенті жатады.

Стандартты сигналдар генераторларында сыртқы және сонымен қатар ішкі кернеу көздерін пайдалану есебінен амплитудалық модуляция алу мүмкіндігі қарастырылған. Ішкі модуляцияның жиілігі әдетте 400 және 1000 Гц.

Инфратөмен жиілік генераторлары. Инфратөмен жиілік генераторының қарапайым құрылымдық сызбасы дыбыстық жиіліктердің СГ сызбасына ұқсас (12.2-сурет, а). Оның басты айырмашылығы сол –соңғы сызбаға жетекші генераторының сызбасы қосылған. Берілім генераторы соғылым генераторы сызбасымен немесе сөнбейтін тербеліс буынының электронды моделінің сызбасы бойынша да орындалуы мүмкін.

12.5-суретте (*a*) инфратөмен жиілік автогенераторы оң ОС тізбегіне қосылған тербеліс буынының электронды моделінің құрылымдық сызбасы көрсетілген. Электронды модельде күшейткіш пен біртіндеп қосылатын екі интегратор қосылған.

Күшейткіш және кіріктіруші буындар (12.5-сурет, б және в) келесі теңдеулермен сипатталады:

$$U_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_0 = -K U_0; \quad \frac{dU_2}{dt} = -\frac{U_0}{\tau}$$

мұндағы K — күшейткіштің үдету коэффициенті; τ — RC -тізбегінің тұрақты уақыт шамасы, $\tau = RC$.

12.5-сурет: U_0 — интегратордың кернеуі; U_1 — кіріс кернеу, ал U_2 — шығыс кернеу; R_1 және R_2 — резисторлар; RC — ток тізбегі.
Генератор тербелістерінің жиілігі

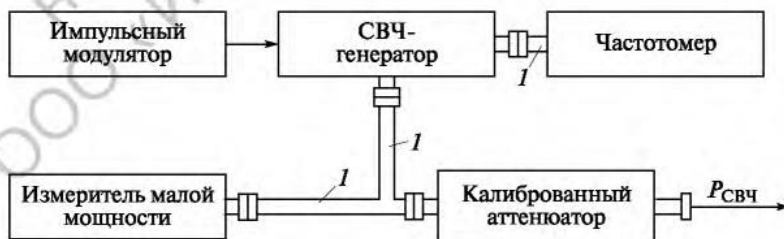
$$\omega_0 = \frac{\sqrt{K}}{\tau}.$$

Стандартты жағдайларда (температура, ылғалдылығы, т.б.) жұмыс жасаған кезде мұндай генераторлардың параметрлері келесідей болуы мүмкін: жиіліктің тұрақсыздығы 0,25% шамасын құрайды, шығыс кернеуі амплитудасы 25 В жетеді.

Аса жоғары жиілік генераторлары. Аса жоғары жиілік генераторлары немесе АЖЖ-генераторлары 1,0 -40 ГГц аралығындағы жиілік диапазонында жұмыс жасайды. Шығыс жалғағышының зерттелетін сызбасының типі бойынша олар коаксиальді және толқынжолды болып бөлінеді, сонымен қатар соңғылары жоғары жиілікті болып есептеледі. АЖЖ-генераторларға жиілігі аз жабындалатын бір диапазонды құрылым (октава шамасында – екі рет) тән. Өлшегіш АЖЖ-генератордың калибрленген шығыс қуаттылығы бірнеше ватт құрайды, ал калибрленген бірнеше микроваттқа жатады. АЖЖ-генератордың калибрленген аттенюаторларының шкалалары децибелдермен, ал ССГ генераторларында децибелмен және микроваттармен бөлінеді.

Аса жоғары жиілік генераторлары радиоқабылдағыш құрылғылардың, радиолокациялық және радионавигациялық станциялардың, ғарыш байланысы мен жерсеріктік хабар тарату жүйелерін, антенна параметрлерін және т.б. ретке келтіруге және реттемелеуге арналған. АЖЖ-генератордың жалпы құрылымдық сызбасы 12.6-суретте келтірілген.

Өлшеу генераторларының ерекшелігіне электронды сызбаның қарапайымдылығы мен механикалық түйіндердің күрделілігі жатады. Аса жоғары жиілік генераторларының сызбасына жетекші АЖЖ-генератор, импульстік модулятор, қуаттылығы аз өлшегіш, жиілік өлшегіш және калибрленген аттенюатор жатады. Генератордың барлық жоғары жиілікті түйіндері



12.6-сурет. АЖЖ-генератордың жалпы құрылымдық сызбасы:

I — толқын жолдар

толқынжолдармен жалғанған (12.6-суретте $\underline{1}$ цифрымен көрсетілген).
12.6-суретте:

$P_{\text{АЖЖ}}$ — АЖЖ-генератордың қуаттылығы.

ІП жетекші АЖЖ-генераторлары ішкі және сыртқы резонаторы бар шағылыстырғыш клистрондар, Ганн диодтары, көшкінді-аралық диодтар (ЛПД) немесе жүгірме толқын лампалары (ЖТЛ) түрінде жасалады.

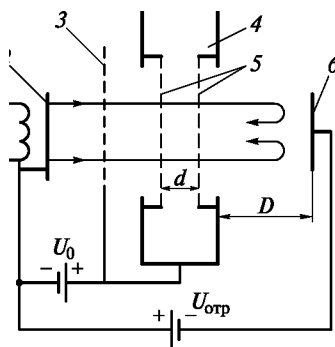
Өлшегіш АЖЖ-генераторларда мұқият экрандау қажет, өйткені жиілік артқан сайын сәулелердің қуаты азая береді. Қоректендіру сымдары арнайы толықтырғышы бар коаксиаль кабельдер түрінде жасалады, ол АЖЖ-сәуленің қуатын жұтып алады. Қоректендіру көздеріне аса жоғары талаптар қойылады, өйткені АЖЖ-диапазонның белсенді элементтері қоректендіруші кернеулердің тұрақсыздығына апарып соқтырады.

Мысал ретінде шағылыстырғыш клистрон негізінде жетекші АЖЖ-генератордың әрекет ету қағидасын қарастырайық. Оның қарапайым сызбасы 12.7-суретте көрсетілген.

Клистрон көлемді АЖЖ-резонаторы 4 мен электронды лампа үйлесімінен тұратын электронды электр-вакуумдық құрал болып табылады. Оның құрамына қыздырғышы бар 1 катод, тездетуші электрод 3, шағылыстырғыш 6, кіріктірілген торлары бар көлемді резонатор 5 және тездетуші кернеу көздері U_0 және шағылыстырғыш кернеуі $U_{\text{шаг}}$ жатады. 12.7-суретте (d) — басқару зонасының кеңістігі; D — дрейф кеңістігі.

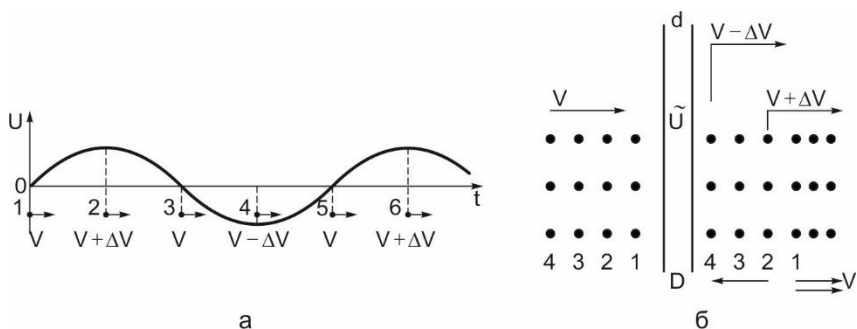
Клистронда электронды агынды динамикалық басқару, яғни жекелеген электрондардың ұшу жылдамдығын басқару жүзеге асырылады (12.8-сурет).

Тербеліс генераторының әрекет етуі келесідей. Электрондар шоғыры тездетуші электродқа немесе көлемді резонаторға салынған оң потенциалмен қуатталады, кейбір конструкцияларда үдеуші анодтың рөлін атқарады. Содан соң электрондар резонатор-анодтың саңылауынан немесе торынан өтіп, теріс қуатталған шағылыстырғыш электродтың тежеу өрісіне барып түседі. Егер бұл өрістің шамасы жеткілікті болса, онда электрондар өзінің қозғалыс бағытын өзгертіп, резонатор-анодқа қарай кері қайтады.



12.7-сурет. Шағылыстырғыш клистрон сызбасы:

1 — қыздырғыш; 2 — катод; 3 — үдеуші электрод; 4 — көлемді АЖЖ-резонатор; 5 — резонатор торлары; 6 — шағылыстырғыш



12.8-сурет. Электронды ағынды динамикалық басқару механизмі:

a — ағымның шартты таңбасы, *б* — дрейф және басқару кеңістігі

Резонатор арқылы шағылыстырғышқа қарай өткен кезде электрондар тор арасындағы ретсіз қозғалысы ықпалымен өзінің жылдамдығын өзгертеді. Бұл резонатор мен шағылыстырғыш арасынан өткен кезде кеңістікте әрі қарай қозғалған кезде жартылай топтастырылуына алып келеді.

Қайтатын электрондар резонатордың жоғары жиілікті өрісімен баулайды, яғни олар өз қуатының бір бөлігін резонаторға бере отырып, осылайша саңылаудағы айнымалы кернеу шамасын ұлғайта түседі. Кернеудің ұлғаюы өз кезегінде модуляция жылдамдығының тереңдеуіне, электрондардың топтасуының жақсара түсуіне, резонаторға берілетін қуаттың ұлғаюына, т.б. апарып соқтырады. Нәтижесінде резонаторда басылмайтын тербелістер орнығады.

Генератордың шағылыстырғыш клистронындағы тербелістер анод пен шағылыстырғыштағы кернеулер арасында белгілі бір қатынас орныққанда басталады.

Түзілетін жиілік негізінен резонатордың реттелген жиілігімен анықталады. Ол сонымен қатар электрондардың баяулаушы зонада ұшып өту жылдамдығы мен уақытына, яғни белгілі бір дәрежеде анод пен шағылыстырғыштағы кернеулерге байланысты. Анодтағы кернеу тұрақты кезде шағылыстырғыштағы кернеуді өзгерте отырып, клистронды 1% шамасында жиілікпен қозғайды.

12.8-суретте (*a*) шартты ағынның жекелеген электрондарының басқару өрісіндегі U орны көрсетілген. Осы өрістегі электрондар ауытқымайды, тек жылдамдығын өзгерте алады, бұл уақыт мезетінде кернеу нөлге тең болмайды (2, 4, 6 электрондар). 1, 3, 5 электрондар бастапқы жылдамдығын V өзгертпейді. Егер енді электрондарға одан әрірек қашықтыққа ұшу мүмкіндігі беріледі (D дрейфі кеңістігінде), онда үдетілген электрондар (олардың жылдамдығы $V + \Delta V$ құрайды) бұдан бұрын ұшып шыққан және өз жылдамдығын өзгертпеген V (2 электрондар 1 электрондарды қуып жетеді) электрондарды қуып жетеді.

Баяулатылған электрондар 4 (олардың жылдамдығы $V = AV$) соңынан ұшып шыққан 5 электрондарға жақындайды. Басында бірдей болған электрондар ағынында олардың қоюлатылған және сиретілген саны тығыздығы бойынша D дрейфі кеңістігінде электрондар санына тең болады (12.8-сурет, б).

Мұндай үрдіс клистронда да жүреді. Үдеуші электрод пен резонаторға салынған оң кернеулі U_0 , у, электронды ағын катодтан шығып, резонатор торлары арасынан өтеді. Резонанстық жиіліктегі резонатордағы ағым флукутациясының әсерінен әлсіз АЖЖ-кернеу пайда болады. Бұл флукутация нәтижесінде пайда болатын кернеу өз кезегінде электрондардың жылдамдығын өзгертетін болады.

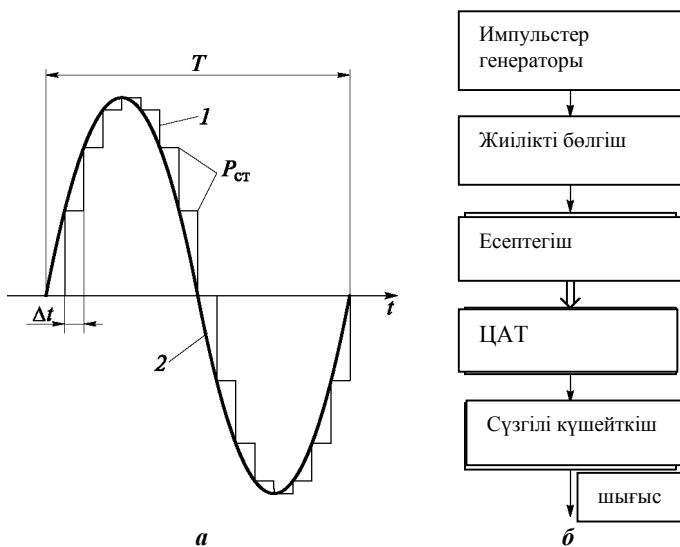
Электрондардың жылдамдығының бұлай өзгеруі көлемді резонатордың d торлары арасында басқару зонасының кеңістігінде жүреді. D дрейфі кеңістігінде резонатор артында жылдамдығы өзгертілген электрондар ағыны тығыздығы өзгертілген ағынға айналады. Электрондардың бұл қойылтымдары теріс қуатталған шағылыстырғыштың тежеу өрісіне барып түседі (ол $U_{\text{шағ}}$ кернеуімен құрылады), ол электрондарды кері бұрады, олар қайтадан көлемді резонатор саңылаулары арасынан өтеді.

Электрондар ағынының торлар арасынан кері өтуі егер шағылысқан электрондар шоғыры резонаторға $3T/4$, $(3T/4 + T)$, $(3T/4 + 2T)$ уақыт интервалдары арқылы келетін болса, АЖЖ-тербелістер қуатын арттыра түседі. Бұл уақытты U_0 және $U_{\text{шағ}}$ кернеулерінің аясында өзгертуге болады. Демек, дәл осылай клистрон генерациясы жиіліктерінде $f = 1/T$ өзгертуге болады.

12.2. Цифрлық өлшегіш төмен жиілік генераторлары

Цифрлық төмен жиілік генераторларының ұқсас генераторлармен салыстырғанда метрологиялық сипаттамалары тиімдірек. Атап айтқанда, олардың жиілігі тұрақты, дәлдігі жоғары, сызықтық бұрмалану коэффициенті төмен (тек синустық пішінді) және шығыс сигналының деңгейі тұрақты.

Цифрлық генераторлар көп қолданылады, өйткені ұқсас генераторлармен салыстырғанда пайдалануға ыңғайлы, әрекеті тез, индикациясы көрініп тұрады. Оларда талап етілетін жиілік орнатылған. Сонымен қатар цифрлық генераторларда автоматты түрде берілген бағдарлама бойынша жиілікті қайта құрып, алайда ақпаратты өңдеудің цифрлық құралдарымен оңай жалғастырылады.



12.9-сурет. Цифрлық төмен жиілік генераторы:

a — сатылы сигналдар аппроксимациясы; *б* — қарапайым құрылымдық сызба; 1 — сатылы (аппроксимацияланған) көлбеу сызық; 2 — аппроксимацияланған көлбеу сызық

Цифрлық генераторлардың әрекет ету негізіне соңынан ұқсас үйлесім сигналына айналатын сандық кодтың қалыптастырылуы алынады. Соңғысы цифрлық аналогтік түрлендіргіш (ЦАТ) көмегімен модельденетін функциямен аппроксимацияланады.

Аппроксимацияның ең қарапайым түрі — сатылы (12.9-сурет, *a*). Ол синустық көлбеу сызықтан өзгеше сатылы пішінді кернеудің үйлесімді тербелістерінің ауысуына негізделеді.

Сигналдардың сатылы аппроксимациясының мәнін түсінейік. Егер үйлесімді аппроксимацияланатын кернеу келесідей болатын болса:

$$u(t) = U_m \sin \omega t$$

t_j және t_{j+1} екі көршілес уақыт мезетін бөліп тұратын уақыт интервалында дискреттеледі (тең дискреттелу адымы Δt). Бұл синустық тербелісті тұрақты ток кернеуімен, яғни биіктігі t_j уақыт мезетінде аппроксимацияланатын кернеу мәніне тең сатысымен алмастырылады.

$$u(t) = U_m \sin \omega t_j.$$

Мұндай алмастыру нәтижесінде синус пішінді көлбеу сызықтың орнына 12.9-суретте (*a*) көрсетілген сатылы сызық алынады.

Синустық тербеліс мерзімі T кезінде бір мерзімге келетін сатылар саны p дискреттеу адымымен анықталады: $p = T/\Delta t$. Егер техникалық пайымдауларға сүйеніп, сатылар саны берілетін болса, онда дискреттеу адымын өзгерту қалыптасатын мерзімге қатысты, өйткені $T = p\Delta t$.

Егер $t_i = i\Delta t$ болатын болса, онда сатылы көлбеу сызықты келесі түрде көрсетуге болады:

$$u(i\Delta t) = U_m \sin(i\omega\Delta t),$$

немесе, p мәні мен ω ара қатынасын ескеретін болсақ: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ — былай жазылады:

$$u(i\Delta t) = U_m \sin\left(\frac{i2\pi}{p}\right).$$

Сонымен қатар, саты саны көбейген сайын, сатылы сызық синустық пішінге жуықтайды, аппроксимация дәлсіздігі азаяды. Бұл сан үлкен болатын болса, қалыптасқан сатылы кернеу төмен жиілікті жоғары жиілікті аддитивті кедергімен бұрмаланған синустық кернеу болып табылады.

Сатылы аппроксимация жолымен алынған спектрлік талдау көрсеткендей, оның спектрі негізгі жиіліктің үйлесімінен тұрады. Фурье қатарына бөліп көрсететін болсақ, оның ең жоғары үйлесімділігі $(p - 1)$ құраушысы болса, келесі үйлесімділік $(p + 1)$ болады, содан соң $-(2p - 1)$ және $(2p + 1)$ үйлесімділіктері және т.б. Мысалы, $p = 25$ кезінде негізгі үйлесімділіктің кернеуінің f жиілігіне ең жақын 24, 26 және 49 және 51-ші үйлесімділіктер болып табылады, яғни жиілік кернеулері 24f, 26f 49f және 51f.

Мұндай негізгі және жоғарғы үйлесімділіктер арасындағы қатынастар оны күрт әлсірететін жоғары сапалы сүзгілеуге мүмкіндік береді, яғни сызықтық емес бұрмаланудың ең төменгі коэффициентімен (үйлесімділік коэффициентімен) сипатталатын синустық кернеу алуға болады.

Сатылы көлбеу сызық түзетін цифрлық генератордың қарапайым құрылымдық сызбасы 12.9-суретте (б) көрсетілген. Импульстік кварцтық генератор қысқа импульстердің мерзімдік ретін T қозғалу мерзімімен түзеді. Реттелмелі бөлу коэффициенті g болатын жиілік бөлгішінің шыға берісінде дискреттеу адымына негіз болатын $\Delta t = gT$ қозғалыс мерзімі бар импульстер реті алынады.

Импульстер сыйымдылығы p есептегішке келіп түседі. Есептегіште жинақталған i импульстер санымен анықталатын кодтық комбинациясы

ЦАТ жүйесіне беріледі. Соңғысы i санына сәйкес келетін кернеуді түзеді, яғни $u(iAt) = U_m \sin(i2n/p)$. Осылайша аппроксимацияланатын көлбеу сызық $p_{ст}$ сатылары қалыптасады. p импульстер жинақталғаннан кейін есептегіш толып қалады да, қайтадан 0 мәніне оралады. $(p + 1)$ -ші импульс оралғанда сатылы көлбеу сызықтың жаңа мерзімінің қалыптасуы басталады.

$p_{ст}$ сатылар саны белгілі болған жағдайда қалыптасатын тербеліс жиілігін реттеу үшін At дискреттеу адымын өзгертеді, бұл үшін жиілік бөлгішінің реттелмелі бөлу коэффициенті g өзгертіледі.

12.3. Шу сигналдарының генераторлары

Шу сигналдарының генераторлары (шу генераторлары) белгілі бір ықтималдық (жетекші) сипаттамаларына ие флуктуациялық кернеу қалыптастыруға арналған. 12.10-суретте шу генераторының құрылымдық сызбасы берілген, оған жетекші генератор, түрлендіргіш, шығарғыш аттенюатор, қолданыстағы кернеу вольтметрі кіреді. (Af) параметрі тербеліс жиіліктеріне қарай кернеудің өзгергенін көрсетеді.

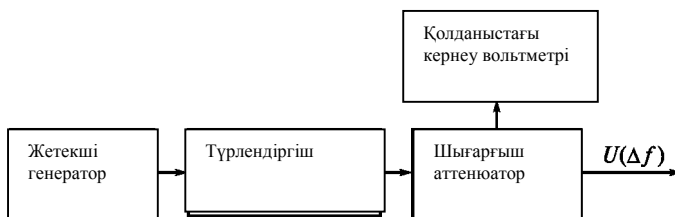
Шу генераторы сызбасының негізгі түйіні жетекші генератор болып табылады. Оның сигналдарының жиіліктердің талап етілетін жолағының ұзына бойына спектрлік тығыздығы бірдей болуы тиіс (теорияда – ақ шуыл деп аталады).

Жетекші генераторда статикалық сипаттамалар мен параметрлермен көрсетілетін қарқынды шулар, математикалық талдаумен зерттелуі қиын физикалық құбылыстар пайдаланылады.

Мұндай шу көзінің мысалы ретінде қызып тұрған сым резисторды алайық, оның қолданыстағы кернеуі физика курсынан бәрімізге белгілі формула бойынша есептеп шығарылады:

$$U^2 = 4kTR\Delta f$$

мұндағы k — Больцман тұрақты шамасы, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T — резистордың абсолютті температурасы, К; R — резистордың қарсыласу күші; Δf — өткізу жолағы.



12.10-сурет. Шу генераторының құрылымдық сызбасы

Резистордың конструкциясы керамикалық каркасқа оралған вольфрам спираль түрінде жасалған, оның температурасы тұрақты болуы тиіс.

Жылу шу қуаттылығы көздеріне болометриялық генератор да жатады. *Болометр* ішіне вольфрам жіп тартылған вакуумдық шыны баллоннан тұрады.

Жылу шу көздері шу кернеуінің үлгілік генераторлары ретінде қолданылады, өйткені олардың сипаттамалары эксперимент нәтижелерімен сәйкес келеді. Сонымен қатар шу генераторларында сонымен бірге фотоэлектронды көбейткіштер, газ-разрядты түтіктер, шу диодтары, т.б. қолданылады.

Шу генераторларында спектр түрлендіргіштері ретінде күшейткіштер, сүзгілер, шектегіштер, қайта құрылатын жиілік генераторлары қолданылады. Нақты элементтің қолданылуы қандай шу түрлендіру қажеттігіне байланысты таңдалады.

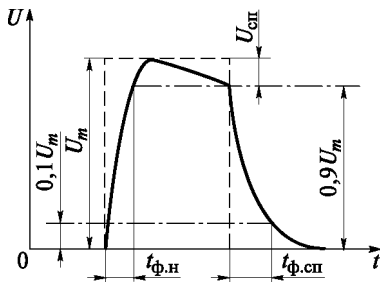
Айталық, түрлендіргіш ретінде белгілі бір берілім коэффициентіне ие сүзгіні таңдайтын болсақ, ақ шуыл генераторынан спектрлік қуаттылық тығыздығы белгілі бір жиіліктер диапазонында өзгеріп тұратын стационарлық кездейсоқ үрдіс генераторын алуға болады. Генератордың шығару құрылғысының маңызды элементі калибрленген аттенуатор болып табылады, ол шудың барлық жолағы бойына қуаттылықты бөлудің бірдей коэффициентін қамтамасыз етуі тиіс. Шығару қуаттылығының деңгейін бақылап отыру үшін генератор сызбасына қолданыстағы кернеу вольтметрі енгізіледі.

Төмен жиілікті шу генераторлары Г2 деп таңбаланады. Олар 20 Гц - 10 МГц аралығындағы диапазонда жұмыс жасайды және 5 Вт дейінгі қуаттылықты өндіреді; АЖЖ-генераторларының жұмыс диапазонының ең жоғарғы жиілігі 37 ГГц дейін барады, синустық тербелу генераторлары сияқты жиілігі аз жабындалатын бір диапазонды етіп шығарылады, АЖЖ шу генераторлары төмен жиілік генераторлары сияқты Г2 деп таңбаланады.

12.4. Импульстік генераторлар

Импульстік (релаксациялық) генераторлар импульстері бірізді генераторлар және импульстердің кодтық топтарының генераторлары болып бөлінеді. Тікбұрышты импульстердің мерзімдік реті бар генераторлар кеңінен қолданылады.

Импульстердің нақты пішіні тік бұрыш деуге келмейді, ол 12.11-суретте көрсетілген. Бұл жағдайда техникалық құжаттарда көрсетілген мәндерден аспауы тиіс ауытқушылықтар орын алуы мүмкін.

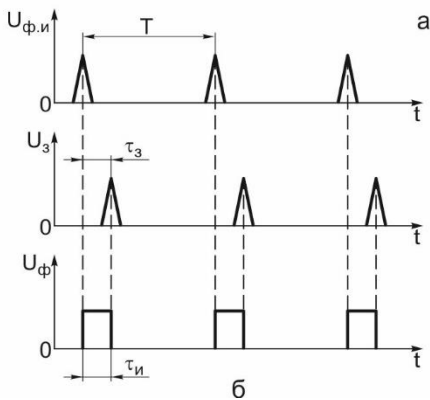
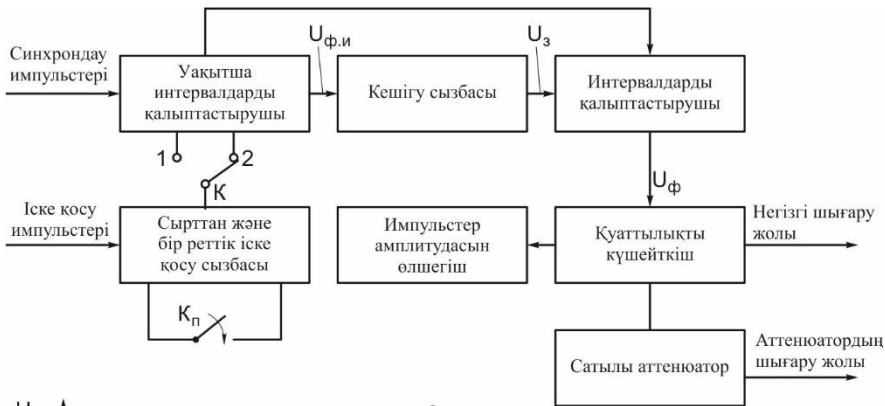


12.11-сурет. Нақты тікбұрышты импульстердің параметрлері

Әдетте тікбұрышты импульстердің негізгі параметрлері келесідей болуы тиіс:

1) Амплитуда мәні U_m және шыңының құлау кернеуі $U_{сп}$ $0,05 U_m$ мәнінен аспауы тиіс;

2) Қарқындау фронтының ұзақтығы $t_{ф.н}$, яғни уақыт интервалы, бұл кезде лездік мәні $0,1$ бастап $0,9$ амплитудалық U_m мәніне дейін өседі (бұл уақыт импульстің барлық ұзақтығының $0,1-0,2$ құрайды);



12.12-сурет. Импульстік генератор: а — құрылымдық сымбасы; б — уақыт диаграммалары

3) Құлау фронтының ұзақтығы $t_{ф.сп.}$, яғни кернеудің $0,9-0,1 U_m$ аралығында құлау уақыты (бұл уақыт импульс енінің $0,2-0,3$ құрайды).

Импульстің басты параметрі импульс ұзақтығы болып табылады.

Тұрақты қозғалатын, фронттары тік және шыңы жалпақ тікбұрышты импульстерді қалыптастыруды автотербелісті және күту режимдерінде жұмыс жасайтын мультивибраторлар мен блокинг-генераторлар жүзеге асырады. Мультивибраторларда бұл сипаттамаларға жиіліктің кварцтық тұрақтандырғышын қолдану есебінен қол жеткізіледі.

Импульстік генератордың қарапайым құрылымдық сызбасы мен уақыт диаграммалары 12.12-суретте берілген.

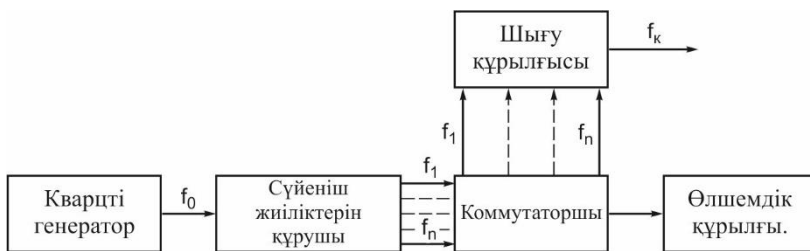
12.12-суретте (а) уақыт интервалдарын қалыптастырушы автогенератор (Кв кілті 1-қалыпта) немесе күту режимінде (Кв кілті 2-қалыпта) жұмыс жасай алады. Бір реттік қосып көру іске қосу батырмасының K_n (қолмен қосу) көмегімен жүзеге асырылады. Т интервалы импульстердің қозғалу жиілігін $f = 1/T$ анықтайды. Импульстердің ұзақтығы сонымен атауы бірдей сызбадағыдай кешігу уақытына байланысты болады, яғни $t_{и} = t_3$ (12.12-суретті қараңыз, б).

Тікбұрышты импульстерінің ұзақтығына қарай импульстік генераторлар микро- және наносекундтық болып бөлінеді. Импульстік генераторлардың дәлдігінің класы амплитудасына, қозғалу жиілігіне және импульстің ұзақтығына қарай бөлек анықталады. Сонымен қатар генераторды пайдалану жөніндегі құжаттарда қарқындау фронтының ұзақтығы $t_{ф.н}$ және құлау фронтының ұзақтығы $t_{ф.сп.}$ ескеріледі. Амплитуда мәніне қарай дәлдік класы келтірілген дәлсіздік бойынша анықталып, ал қалған параметрлері бойынша өлшенетін шамадан салыстырмалы түрде ауытқушылыққа қарай анықталады. Оның үстіне уақыт параметрлерін орнату дәлсіздігі орташа есеппен бірнеше пайызға жетеді. Мерзімдік тікбұрышты импульстер генераторы Г5 деп таңбаланады.

12.6 Жиіліктің стандарттары. Жиіліктің синтездеуіші.

Жиілігі және өлшеуіш сигнал фазасы бойынша тұрақтылықты құру кварцті генераторлардың көмегімен жүзеге асырылады. Бұл жерде шығу сигналының ұзақ уақыт бойы тұрақсыздық жиілігі элементтердің тозуымен негізделген және ол кварцті генераторларда келесі көрсеткіштерді құрайды: жұмыстың бірінші аптасында – шамамен 10^{-7} , ал екі айдан кейін – шамамен – 10^{-6} . Жиіліктің кварцті стандарттары тұрақтылық жағынан одан көп жоғарғы көрсеткіштерді иеленеді, және олардың тұрақсыздығы $10^{-8}-10^{-9}$ шамасында орын алады.

Жиіліктің аса жоғарғы тұрақтылығын (тұрақсыздығы шамамен 10^{-12}) жиіліктің квантті-механикалық стандарттары қамтамасыз етеді,



12.13-сурет. Ұқсас синтезатордың жеңілдетілген құрылымдық схемасы.

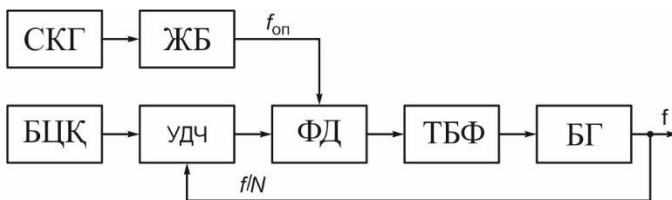
олардың бір энергетикалық жағдайдан екінші жағдайға ауысу кезінде белгілі бір химиялық элементтер атомдарының электромагниттік сәулелендіруін пайдалануға олардың қызметі негіз болған. Дәл осы электромагниттік сәулелендіру негізінде сутектік, цезийлік және рубидийлік генераторлары ойлап табылды.

Атап өтетін жайт, кварцті генераторлар мен жиіліктің стандарттары тек бірнеше (шамамен 3) жиілікке ғана арналған жоғары тұрақтылық сигналдарды құруды қамтамасыз етеді. Қажеттілік кезінде түрленгіш жиіліктердің үлкен жинағын жиіліктің кварцті синтезаторлары пайдаланады.

Жиіліктің кварцті синтезаторлары – бұл жиіліктің дискреттік қайта құрылуымен үйлесімді ауытқудың көпжиілікті генераторлары. Ұқсас жиілік синтезаторының жеңілдетілген құрылымының схемасы 12.13-суретінде ұсынылған. Схема өзіне жиіліктің кварцті генераторын /0/, қажетті жиілікке сигналды шығысқа қарай қосатын жиілік коммутациясы /к/, құрылғыны ауыстыратын сүйеніш жиіліктерінің /ь/,/п/, құрылу құрылғысын, өлшемдік және шығыс құрылғысын енгізеді.

Синтезаторлар оншақты және жүздеген герцтерге дейін дискреттікпен (жиілік торымен) бекітілген жиіліктің қысымын алуға мүмкіндік береді.

Заманауи жоғары сапалы кеңдиапазонды өлшеуіш генераторларына жиіліктің жоғарғы тұрақтылығының талаптары және оны тез арада қайта құру мүмкіншілігі үйлесімділік таппайды.



12.14-сурет. Цифрлық басқарумен ұқсас жиілік синтезаторының жеңілдетілген схемасы в

Осының салдарынан жиілік синтезаторларды дайындау кезінде жиілік дискреттік жабындының жиілік диапазонына ауысады, осы жағдайда дискреттік тордың қадамы деп аталатын белгілі бір бекітілген ара-қашықтығымен бір-бірінің соңынан жүретін көптеген жиіліктің кез келгеніне сигналдарды түрлендіру рұқсат етіледі.

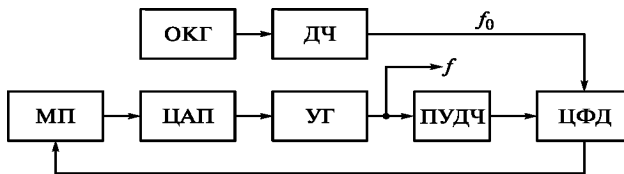
12.14-суретте цифрлік басқарумен ұқсас жиілік синтезаторының құрылымдық схемасы көрсетілген. Синтезатор сүйенішті кварцті генераторынан СКГ, жиілікті бөлгіштен ЖБ, бағдарламаушы цифрлік құрылғыдан БЦҚ, басқарушы жиілік бөлгішінен БЖБ, жиілікті фазалы автоматты түрде ыңғайластыру кезеңімен фазалы детекторынан ФД, төменгі бөліктің фильтрінен ТБФ, басқарушы генераторынан БГ тұрады.

Фазалы детекторға екі ауытқу келіп түседі: біріншісі сүйенішті кварцті генератордан тұрақты жиілікпен $f_{оп}$; екіншісі – басқарушы генератордан N бөлгіш коэффициентімен басқарушы жиіліктің бөлгіші арқылы $f_{оп} / N \sim f_{оп}$ жиілігімен. ТБФ арқылы фазалы детектор шығу жағынан қысым басқарушы генераторға әсерін тигізеді және оны жиіліктің $f_{оп} / N$ и $f_{оп}$ - теңдігіне дейін қамтамасыз етеді. БЦҚ көмегімен N бөлгіш коэффициентін өзгерте отырып, $f_{оп}$ тең қадамымен қажетті жиіліктің торын алуға мүмкіндік береді. Синтезатордың шығу жиілігі $f_{ан} = N / f_{оп}$ формуласы бойынша сүйенішті кварцті генератордың жиілігімен байланысты болғандықтан, осы жиіліктердің қатысты тұрақсыздықтары да тең болып келеді. Егер де осындай синтезаторда өте төмен жиілікті тұрақтандыру қажет болған жағдайда, сүйенішті кварцті генератор мен фазалы детектордың арасындағы жиілікті бөлгішті ЖБ қосымша енгізу қажеттілігі туындайды.

Синтезатордың қарастырылған қарапайым нұсқасы бірқатар кемшіліктерді иеленеді. Олардың бірі басқарушы генератордың үйлесімділік сызығының соңғы кеңдік шамасымен байланысты, ол генератордың басқарушы элементтеріне және ФД және ТБФ қозғалтқыш коэффициенттеріне тәуелді болып келеді. Осыған байланысты жиіліктің кең торын алу мақсатында басқарудағы генератордың өзіндік жиілігін / өзгертуге тура келеді.

Басқа кемшілігі әдетте, импульстер есептегішінің негізінде жасалынған БЖБ шектеулі мүмкіншіліктерімен түсіндіріледі. Егер КБ жиіліктің бөлгішіне енгізетін болсақ, онда оның бөлгіш коэффициентін өзгертуге болады, осының арқасында есептеуіштің разрядтылығымен рұқсат етілген кез келген бүтінсанды мағынаны қабылдауға мүмкіндік туады.

Заманауи қозғалтқыштарда жиіліктің бөлгіш коэффициентінің бөлшек мағынасын жиі пайдалануды қажет етеді. Жиіліктің бөлшекті қайта түрлендіру тәсілі базалы схема (12.15-сурет) бойынша жүзеге асырылатын заманауи цифрлік синтезаторларының тың туындыларында қолданылады.



12.15-сурет. Жиіліктің цифрлік синтезаторының құрылымдық схемасы.

Осындай синтезаторда жиіліктің бағдарламалық-басқарушы бөлгіші ЖБББ бөлгіш коэффициенті белгілі бір ұзақтылықтың уақытша циклінің тізбегін түзе отырып, уақыт бойынша өзгереді. Пайда болған циклді бірнеше кіші циклге бөлуге болады, бөлгіш коэффициенті тұрақтылығының әрбір кезеңінде жүзеге асырылады. Бөлгіш коэффициентінің өзгеруі бір кіші циклден екінші осындай циклге ауысу сәтінде жүзеге асырылады, тек ортаншысы бөлгіш коэффициенті циклінің уақыты аралығында көрсетілгенге тең болу қажет.

Жиіліктің цифрлік синтезаторының схемасында цифрлік фазалық детектор ЦФД, ұқсас цифрлік қайтақұрушы ҰЦҚ және микропроцессор МП қолданылады. Шығу жиілігін ыңғайластыру әр циклдің соңында жүргізеді. Осыған басқарушы генератор арналған, жиілікті ыңғайластыру қысымы ҰЦҚ беріледі. Басқару сигналы (қателіктер, келіспеушіліктер) ЦФД әзірленеді және СКГ және БГ алатын фазалар ауытқуының әртүрлілігі циклі кезеңінде ортаңғы мағынаға сәйкес келеді. Кейіннен басқару сигналы ФД –нен МП-ға беріледі, ол ҰЦҚ арқылы жиіліктің қажет ететін берілген коды бойынша ЖБББ схемасымен бағдарламалық басқаруды жүзеге асырады.

Қорытынды сұрақтар

1. Өлшегіш генераторларды қандай белгілері бойынша топтастырады?
2. Кедергілі-сыйымдылықты икемдеуімен генераторда үйлесімді ауытқуды тудыруға қандай жағдайлар қажет етеді?
3. Аса жоғарғы жиіліктегі генераторлардың құрылу ерекшеліктері қандай?
4. Цифрлік өлшегіш генераторлардың негізгі артықшылықтары қандай?
5. Цифрлік өлшегіш генераторлардың жұмыстарында жуықтату қандай принциптен тұрады?
6. Гуіл генераторларын құру кезінде берілетін генератордың принципіальды ерекшеліктері қандай?
7. Жиіліктің ұқсас және цифрлік синтезаторларын құрудағы ерекшеліктері қандай?
8. Заманауи жиілік синтезаторларында жиіліктің жоғарғы тұрақтылығы не арқылы қол жеткізіледі?

13-тарау СИГНАЛ ФОРМАСЫ МЕН ПАРАМЕТРІНІҢ АНАЛИЗИ

13.1. Негізгі ақпарат

Қазіргі уақытта сигнал формасының анализіне көбінесе электрлі-сәулелі түтігі бар осциллографтар – электронды-сәулелі осциллографтар қолданылады. Электронды-сәулелі осциллограф көбінесе электрлі сигналдарды және олардың параметрлерін өлшеуді көзбен бақылауға арналған әмбебап ӨҚ бірі болып келеді. Қазіргі уақытта ЭСО әр түрлі типтері дайындалған және қолданылуда: әмбебап, жылдамдықты, стробскоптық, есте сақтаушы, арнайы.

Әмбебап осциллографтың (ол С1-CN белгіленеді) алғашқы схемасының негізінде бірқатар мамандандырылған құралдар құрылды: С7- жылдамдықты стробскоптық, С8 – есте сақтаушы, С9 – арнайы, соның ішінде цифрлік.

Олардың ішінде кеңінен танылғандары әмбебап осциллографтары. Олар бір наносекундан бірнеше секунд диапазонында милливольт шамасынан жүздеген вольттерге дейін ұзақтығымен электрлік сигналдардың кең классын зерттеуге мүмкіндік береді.

Заманауи әмбебап осциллографтары жиілігінің өткізгіш сызығы 300.400 МГц құрайды. Экрандағы сигналдың бейнесі кіре берісте сигналдың пайда болуымен бір уақытта көрінеді, сондықтан да осындай құрылғыларды шынайы уақыттың осциллографтары деп атайды. Көбінесе әмбебап осциллографтар ауыспалы блоктармен орындайды, ол өз кезегінде олардың қызметтік мүмкіншіліктерін кеңейтеді.

Жылдам өтетін процесстерді (мысалы, нано және пикосекундты жылдамдық) зерттеу мақсатында жылдамдықты осциллографтарды қолданады, олардың негізгі түйіні болып жүргінші толқынның арнайы ТЭС қызмет етеді. Жылдамдықты осциллографтарда, әдетте, кіре беріс сигналының алдын ала күшейтуі жүргізілмейді, сондықтан да олардың сезімталдығы жоғары емес. Осы құралдар жекелеген және кезеңді сигналдарды бақылауға және суретке түсіруге мүмкіндік беретін шынайы уақыттың осциллографтары болып табылады.

Қысқа уақыттағы қайталанатын процесстер стробскоптық осциллографтар көмегімен зерттеледі. Қызмет ету принципі бойынша стробскоптық осциллографтар уақытша масштабты түрлендіре алатын құралдарға жатады және жоғарғы сезімталдығымен және жиіліктің жұмыс сызығының кеңдігімен (25 ГГц дейін) ерекшеленді.

Арнайы ТЭС қолданылатын есте сақтаушы осциллографтар, оның кіре берісінен сигналды алып тастағаннан кейінгі ұзақ уақыт кезеңінде сигналдардың бейнесін сақтау және жаңғырту қабілеттілігін иеленеді. Есте сақтаушы осциллографтардың негізгі мақсаты бірреттік және сирек қайталанылатын уақытша процесстерді зерттеуге арналған. Есте сақтаушы осциллографтар әмбебап осциллографтар сияқты бірдей сипаттамаларды иеленеді, алайда олар кең функционалды мүмкіншіліктерімен ерекшеленеді.

Арнайы осциллографтар мақсатты міндетінің қосымша блоктарымен жабдықталған. Осы топқа бекітілген бейнелер тізімінің бейнесигналын көрсетуге мүмкіндік беретін телефизиялық осциллографтар жатады; одан әрі өңдеуге арналған компьютерге сигналдарды цифрлік түрде берумен қатар, оларды бақылауға мүмкіндік беретін цифрлік осциллографтар жатады. Арнайы осциллографтар қысым, токтар және қарама-қайшылықтар (мультиметрлермен) өлшемдерінің блоктарымен жабдықталады, сондай-ақ жартылай өткізгіш құралдардың вольт-амперлік мінездемелерін зерттеуге арналған құрылғыларымен де жабдықталған.

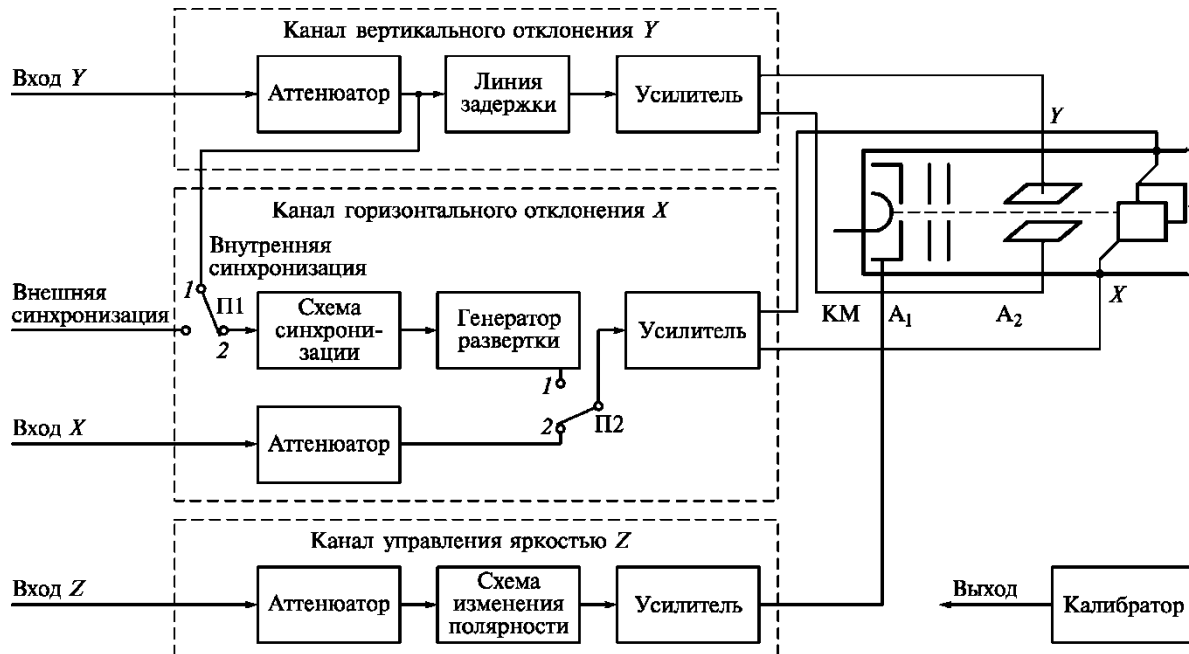
Экранда біруақытта бақылайтын сигналдардың саны бойынша осциллографтар бірканалды және көпканалды болып бөлінеді. Экранда бірнеше кіру сигналдары бейнелерінің біріктірілуі арнайы көпсәулелі түтіктердің пайдалануымен, немесе электронды коммутатордың көмегімен осциллографтың әр түрлі кіре беріске кезеңді түрде қайта қосылу арқылы қол жеткізіледі.

13.2. Әмбебап осциллографтың құрылымдық схемасы

Әмбебап осциллограф деп өлшегіш құралды атайды, онда зерттелетін электрлі сигнал вертикальді қабылдамау каналы арқылы ТЭС вертикальді қабылдау жүйесіне беріледі, түтіктің электронды сәулесінің горизонтальді қабылдамауы горизонтальді ұңғысы қысымының көмегімен жүзеге асырылады.

Әмбебап осциллографтың жеңілдетілген құрылымдық схемасы 13.1-суретінде ұсынылған. Осциллографқа ТЭС және вертикальді және горизонтальді қабылдамау каналдарынан басқа келесідей функционалды блоктар кіреді: үйлесімділік құрылғысы және ұңғыны жіберу, сәулені модуляциялау каналы МК, қосалқы құрылғылар және қоректену көзі. ТЭС шынылы баллонда жылытатын катод К, модулятор (тор) М, фокусты анод А, жылдамдатқыш анод А2, пластинаны өзара-перпендикулярлы қабылдамаушы екі жұп, горизонтальді – Х, ал Y – вертикальді пластиналар.

Сәулені вертикальді қабылдамау каналы Y аттенуаторды, кідіргіш сызығын және күшейткішті иеленеді (13.1-сурет). Y каналы зерттеудегі сигналдың $uc(t)$ Y пластинаны беруге арналған, ол Y кіре берісіне өтеді. Каналдың аттенуаторы белгілі бір санда бір рет сигналды $i()$ әлсіретуге арналған. Кідірігіш сызығы реттелегіш болып келеді және горизонтальді аударғыш қысымның U_x басына қатысты



13.1-сурет. Әмбебап осциллографтың жеңілдетілген құрылымының схемасы.

кідіріспен Y пластинаға сигналды беруді қамтамасыз етеді. Күшейткіш пластинада Y экранда тіпті, аз зерттелуші сигналымен $u_c(t)$ сәуленің қажетті қабылдамауға арналған жеткілікті сигналдың амплитудасын алуды қамтамасыз етеді.

Вертикальді қабылдамау каналының Y күшейткіші өз кезегінде келесі буындарды өзіне қосады (13.1-суретте көрсетілген): $K_{күш}$ күшейткіш коэффициентінің өзгеруімен кіру күшейткіші, кідіргіш сызығын және зерттеуші сигналдардың болмаған жағдайында экранның орталығында жарықтық дақтың орнын қамтамасыз ететін қосфазалы (қарама-қарсы фазалы шығу сигналдарымен) күшейткіш. Сәулені вертикальді қабылдамау каналына амплитуданың калибраторы кіруі мүмкін (13.1-суретте көрсетілмеген). $K_{күш1}$ бекітілген күшейткіш коэффициентін орнатуға арналған калибратордан келетін сигнал бірінші күшейткіштің кіре берісіне түседі. Сонымен қатар масштабты тордың бөлу бағасын, $V/бөлу$, осциллографтың экранындағы келесі формуласы бойынша анықтауға болады:

$$m = \left| \frac{U_k}{K_{ycl} n_k} \right|,$$

$и_k$ - калибратордың қысымы; $K_{күш1}$ – күшейткіш реттегішінің бір жағдайда кезіндегі күшейткіш коэффициенті; n_k – калибрлі сигналдың бейнесімен торды бөлу саны.

Аттенюатор бөлу k_6 коэффициенті есебімен масштабты тордың бөлу бағасы $s_d \cdot ck_d$.

Егер де жұмыс барысы кезінде параметр c тұрақты болып қалған жағдайда, онда үлкендігі s_d аттенюатордың дискретті қайта қосқышында көрсетілген, практика жүзінде де қолданылады. Вертикальді қабылдамау каналының негізгі сипаттамалары 100 МГц шамасындағы жоғарғы шекті жиілігі және күш сезімталдығы болып саналады.

$$S_y = k_d K_{yc} S_{yc},$$

$S_{күш}$ - күшейткіштің сезімталдығы.

Егер де $k_d=1$ болған жағдайда, сезімталдық шамамен 1 мм/мВ құрайды.

Сәулені горизонтальді қабылдамау каналы X аудартқыш генератор қысымының көмегімен горизонтальді қабылдамаушы-аударушы қысымын U_x құру үшін қызмет етеді және осциллографтың кіре берісіне X жақындатылатын зерттеудегі сигналдың пластинасына X беруге арналған. Ұңғы генераторына (нақты қозғалмайтын осциллограмманы алу үшін) түсетін үйлесімділіктің схемасы

үйлесімділік сигналының құрылуын қамтамасыз етеді. Каналдың күшейткіші X ұңғы сигналын күшейтеді және U_p -ны U_x -ға жаңғыртады.

Горизонтальді қабылдамау каналы сезімталдығымен және вертикальді қабылдамау каналымен салыстырғанда, екі рет кем түсетін жиілікті өткізгіш сызығымен сипатталады. Каналда негізгі блок болып ұңғы генераторы болып табылады, ол үздіксіз режимде де, сондай-ақ күту режимінде де жұмыс атқара алады.

Генератордың ара тәріздес қысымының формасына келесідей талаптар қойылады:

1) Сәуленің қайтар жүрісінің уақыты түзу жүрістің уақытынан біршама аз болуы қажет $T_{\text{қайт}} \ll T_{\text{түз}}$. Ондай болмаған жағдайда, бейненің кейбір бөлігі көрінбей қалады.

2) Экранда бейненің қозғалыссыз қалыпта болуы үшін, осциллограмма әр уақытта экранның және сигнал фазасының бірдей нүктесінен басталуы қажет. Ұңғы қысымы сигнал қысымымен үйлесімділігінің арқасында қол жеткізіледі, сондықтан да ұңғы кезеңі тең болуы қажет немесе зерттеудегі сигналдың кезеңінен қысқа болуы шарт:

$$T_p = nT_c,$$

$n=1,2,3,\dots$; T_c – сигналдың кезеңі;

3) Ұңғының қысымы сәуленің түзу жүрісі кезінде сызықты болуы қажет, себебі сәуле экран бойынша әр түрлі жылдамдықта қозғалуы мүмкін және ось X бойынша уақытша масштабтың біркелкілігі бұзылуы мүмкін. Бұл сигналдың қисаюына алып келуі мүмкін.

Z осциллограф каналы (жарықты басқаратын каналы) Z кіре берісінен ТЭС басқарушы кіре берісіне беру үшін қызмет етеді, оның сәулесін, өз кезегінде люминофор жарқырауының жарығын тоққа модульдайды. Осы каналдың құрамына мыналар кіреді: аттенюатор, қысымдылықтың схемасы және Z күшейткіш.

Калибратор осциллографтың калибрлеуіне анықталған амплитудасымен, ұзақтығымен және жиілігімен кезеңді импульсті сигналдарды құруға арналған. Осылайша, зерттеудегі сигнал параметрлерін дұрыс өлшеуді қамтамасыз етеді.

Осциллографта ұңғылар түрлері. Электрлі-сәулелі түтік осциллографтың негізгі түйіндерінің бірі болып табылады, шығу элементтер қызметін екі жұп пластинасы атқарады. Пластиналар арнайы ұңғының көмегімен сәулені горизонтальді және вертикальді бағыттарда қайтарады.

Ұңғы тек бір айналымды қысымның нәтижесінде зерттелудегі сигналдардың болмаған жағдайында сәуленің экранда салатын түрлі сызықтарын иеленеді. Егер де ұңғылаушы қысым қабылдамайтын пластинаның (әдетте, X пластинасына) бір жұбына жалғанған бөже,

Егер де ұңғылау қысымы X қабылдамайтын пластиналар қатарына және осциллографтың Y түтігіне біруақытта жатқызылған болса, онда ұңғының атауы оның формасы бойынша беріледі, мысалы, айналмалы немесе эллиптикалық.

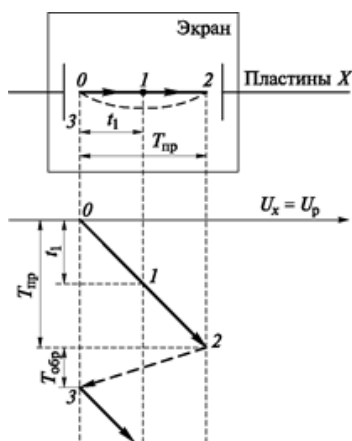
Көбінесе ұңғы генераторының ара тәріздес қысымымен u_{ψ} жасалынатын сызықты ұңғы кеңінен қолданылады. Осциллографтың жұмыстың әртүрлі режимін қамтамасыз ету мақсатында ұңғының бірнеше түрі қолданылады. Солардың кейбірін қарастырайық.

Автоауытқу ұңғысы ұңғы генераторының кіре берісінде қосу сигналының жоқ болуы кезінде кезеңмен қосылып тұратын ұңғыны сипаттайды.

Күтуші ұңғыны тек қосу сигналының көмегімен ұңғының генераторы қосылған кездегіні атайды.

Бірреттік ұңғы –келесі қадамымен тоқтатылатын тек бір рет ұңғы генераторы көмегімен іске қосылатын ұңғыны атайды.

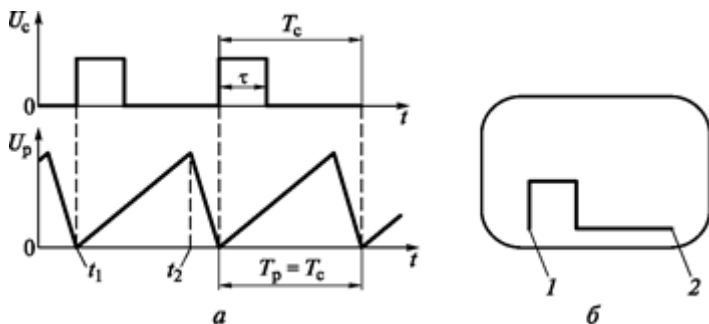
Горизонтальді қабылдамайтын пластинаны беру кезінде ара тәріздес (13.2-сурет) қысым U_x , фокусталған электронды сәуле осы қысымның әсерінен $T_{оң}$ интервалы бойынша солдан оңға қарай (0,1,2 нүктелер – сәуленің түзу жүрісінің ұзақтығы) және $T_{қайт}$ интервалында оңнан солға қарай (2,3 – сәуленің қайтар жүрісінің ұзақтығы) орын ауыстырады. Алайда сәуленің қозғалыс жылдамдығы қайтар жолындағы бағыт түзу бағытпен салыстырғанда біраз көбірек (әдетте, мұндайда сәуле өшеді) болып келеді.



Осциллографтың ТЭС (X пластина) горизонтальді қабылдамайтын пластинасына беретін ұңғы қысымының көмегімен экранда Y пластинасынан келетін және уақыт аралығында өзгеріп отыратын, яғни уақыт бойынша ауысып отыратын зерттелетін сигналды бақылауға болады.

Автоауытқу ұңғысы кезеңді сигналдарды зерттеу үшін қолданылады, сонымен қатар кішігірм бұрғыламалық импульсивті сигналдарды да зерттеуге пайдаланылады.

13.2-сурет. $Q = \frac{T}{\tau}$. Экранның горизонтальді осі бойынша уақытша масштабты құруды түсіндіретін диаграммасы: 0,1,2,3 – сәуленің түзу және қайтар жүрісінің ұзақтығын көрсететін нүктелері.

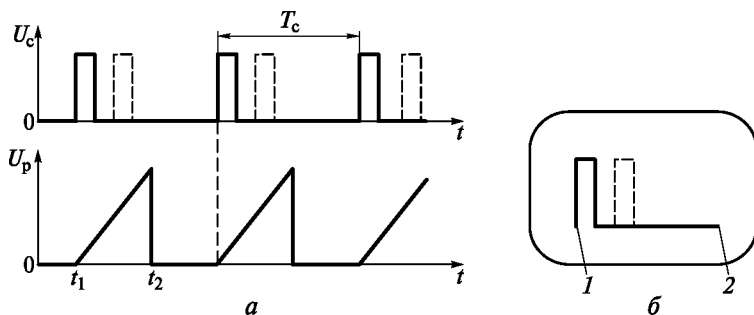


13.3-сурет. Автоауытқу ұңғысын қолдану мысалы: *а* – схема, *б* – экранда бақылайтын осциллограмма, 1 – ұңғының басы, 2 – ұңғының соңы.

Сондай-ақ, ол ішкі синхрондау кезінде де қолданылады. 13.3-суретінде автотербелмелі жаймалаудың қолданылу үлгісі көрсетілген. 13.3, *а* суретіндегі схемада зерттелетін сигнал U_c мен жайылмалы синхронды кернеу U_p , ал 13.3, *б* суретіндегі схемада – экранда бақыланатын осциллограмма бейнеленген.

Автотербелмелі жаймалау мерзімді емес сигналдардың сұлбаларын толық көрсетпейді, сонымен қатар Q қуыстылығы үлкен, мерзімді импульстік сигналдарды бақылау барысында да оның еш пайдасы жоқ (бұл импульстің алдыңғы және артқы шептерінің бірігетіндігіне байланысты). Мұндай жағдайда күтуші жаймалауды қолданған абзал.

Күтуші жаймалаудың әрекет ету принципі мен экранда бақыланатын осциллограмманың схемасы 13.4-суретінде көрсетілген. Бұл жағдайда жаймалау генераторы U_c импульстері келіп түскенде іске қосылады. Егер де жаймалау ұзақтығы ($t_2 - t_x$)-ге тең болып, зерттелетін импульстің ұзақтығымен өлшемдес болса, онда оның бейнесі экранда



13.4-сурет. Күтуші жаймалаудың әрекет ету принципі:
а — схема; *б* — экранда бақыланатын осциллограмма; 1 — жаймалаудың басы; 2 — жаймалаудың соңы

толық өлшемде көрсетіледі. Сигналдар кескіндерінің осциллограммада толыққанды, жақсы көрінуін қамтамасыз ету үшін, күтуші жаймалаудың басы U_c импульсінің шебіне қарай біраз кешеуілдетіледі. U_c сигналының қысқа шебін бақылау үшін оны кідірту жолының көмегімен Y каналында уақыт бойынша кідіртеді (13.4, *a* суретінде ол U_c штрихты импульстері түрінде бейнеленген). Сонымен қатар, мұндай жаймалау осциллограммасы 13.4, *б* суретінде экрандағы штрихты сызықпен бейнеленген.

Бір реттік жаймалау осциллограф экранынан қайталанбайтын сигналдарды суретке түсіру кезінде қолданылады. Бұл режимде жаймалау генераторы зерттелетін сигнал арқылы тек бір рет іске қосылады.

ЭСТ экранында айнала жаймалауды алу барысын қарастырайық. Ол үшін Y пластиналарына синусоидальдық сигнал беріледі

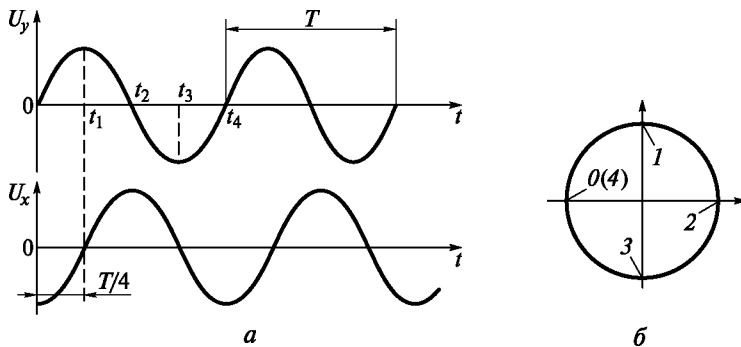
$$U_y = U \sin(\omega t) = U \sin(2\pi t/T),$$

ал X пластиналарына — формасы бойынша ұқсас, бірақ уақыт бойынша ширек периодқа кешеуілдетілген ($\phi = 90^\circ$ -дағы фаза бойынша) сигнал беріледі

$$U_x = U \sin[\omega(t - T/4)] = -U \cos(\omega t).$$

Айнала жаймалау осциллограммасының схемасы 13.5, *a* суретінде, ал осциллограф экранынан көрінетін айнала жаймалаудың түрі — 13.5, *б* суретінде көрсетілген.

U_y және U_x жаймалау кернеулерінің әсерінен, сәуле осциллографтың экранында T периодына тең уақыт ішінде шеңбер жасайды. $t = 0$ уақыт моментінде сәуленің экрандағы күйі 0 нүктесімен белгіленген, ал t_1 моментінде 1 нүктесімен белгіленеді. Егер U_y және U_x сигналдарының амплитудалары тең болмаса, эллипстік жаймалау жасалады, яғни



13.5-сурет. Айнала жаймалау осциллограммасы:

a — схема; *б* — экрандағы бейне; 0, 1, 2, 3 және 4 — ағымдағы уақыттағы

осьтегі нүктелер

экранда эллипс пайда болады. Мәселен, $U_y < U_x$ болғанда, эллипстің үлкен осі көлденең бағытта, ал кішісі тігінен орналасады.

Электронды-сәулелік түтік.

Шоғырланған сәулені алу тәсілі мен сәулені басқару процесін 13.6-суретінде көрсетілген схеманың көмегімен түсіндіруге болады.

Жоғарыда аталып өткендей, қарапайым бір сәулелік түтік вакуумдық әйнек баллон болып табылады, оның ішінде төмендегілер орналастырылған: жылытатын катод К; модулятор

(тор) М; фокустаушы анод А₁, үдетуші анод А₂; өзара перпендикулярлы ауытқытушы пластиналардың екі жұбы, мұндағы X — көлденең және Y — тік пластиналар. Баллон (экран) түбінің ішкі беті люминоформен қапталған, ол электрондармен бомбылау әсерінен жарқырайды. К, М, А₁, А₂ электродтарының жиынтығы называється *электрондық зеңбірек* деп аталады, ол электрондардың бір шок сәулесін шығарады. Ол үшін электродтарға кернеулер беріледі, олардың жуық шамалары 13.6-суретінде көрсетілген.

Жылынған катодтың жанындағы электрондық бұлт А₂ анодының жоғары потенциалының әсерінен үдеп, экранға қарай ұмтылады. Электронды сәуленің қарқындылығы М торының потенциалымен, ал оның фокустандырылуы — А₁ анодымен реттеледі.

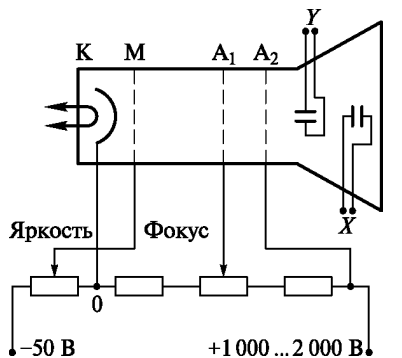
ЭСТ-нің басты сипаттамаларына сезгіштік, жиіліктерді өткізу жолағы, қалдық жарықтану ұзақтығы және экранның ауданы жатады.

Түтіктің сезгіштігі төмендегі формула бойынша анықталады

$$S_r = \frac{L_l}{U_r},$$

мұндағы L_l — ауытқытушы пластиналар жұбына қосылған U кернеуінің әсерінен түтік экранындағы сәуленің ауытқуы. Әдетте L_l сезгіштік шамамен 1 мм/В құрайды.

Зерттелетін сигналдың жиілігі артқан сайын, түтіктің сезгіштігі төмендейді. ЭСТ жиіліктерін өткізетін жолақтардың үстіңгі шекарасы сезгіштік шамамен 0,7 номиналды мәніне тең болған деңгейде орнатылады. Кең қоданыстағы эмбебап осциллографтарда бұл жиілік 100 МГц-ке дейін жетеді.



13.6-сурет. ЭСТ сәулесін басқару схемасы

Қазіргі заманауи осциллографтарда көпсәулелі түтіктер жиі пайдаланылады, онда электродтар саны артылған. Ауытқытушы пластиналарға екі сигналды кезек-кезек беріп отыру режиміндегі бірсәулелі осциллографты (екі арналы осциллографтар) пайдалану өте қолайлы деп есептеледі. Бұл жағдайда түтіктің қалдық жарықтануының әсері мен экрандағы көздің қасиеттеріне байланысты кезек-кезек берілетін екі сигналдың бір уақытта көрсетілуі байқалады.

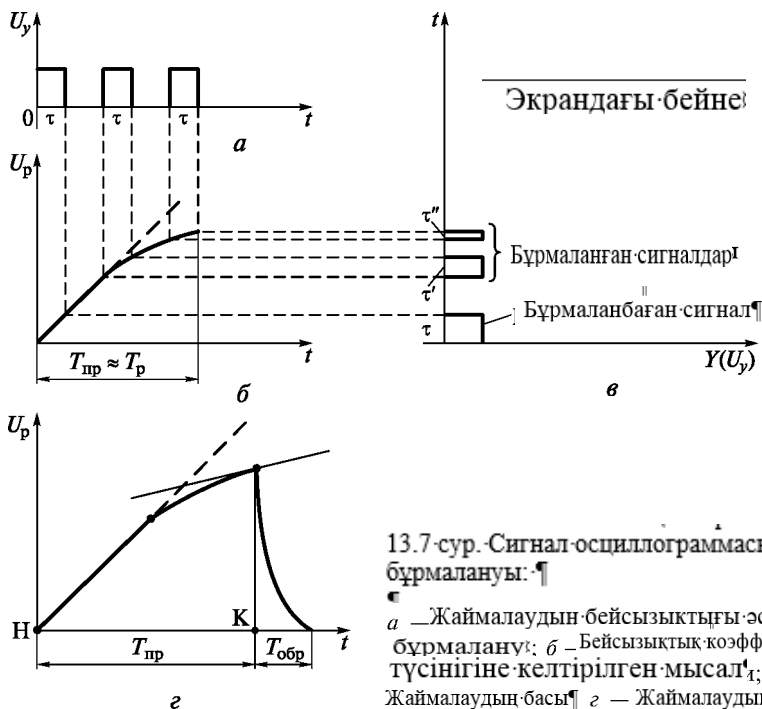
ЭСТ-тің маңызды параметрлері бірі – экранның жұмыс бөлігінің ауданы болып табылады, оның ішінде осциллограмманың бұрмалануы минималды деңгейде болады. Экранның аумағын пайдалануды жақсарту үшін заманауи ЭСТ экрандары тікбұрышты формада болады.

ЭСТ-тің анықтаушы параметрлеріне төмендегі жарық сипаттамалары жатады:

жарық таңбасының диаметрі, жарық деңгейі тиімді болғанда, ол ЭСТ-тің айыру қабілетін анықтайды;

экран жарықтануының максималды жарықтығы, ол электрондық шоктың тығыздығына тәуелді және ол модулятордағы теріс кернеуді өзгерту арқылы реттеледі;

экран жарығының түсі. Көбіне жасыл немесе сары түс қолданылады, себебі олар көзді аса шаршатпайды; экран бетінен суретке түсіріп алу үшін жарығы көк түсті ЭСТ қолданылады, көк түске фотоматериалдардың сезгіштегі жоғары болады;



13.7-сур. Сигнал-осциллограммасының бұрмалануы: а – Жаймалаудың бейсызықтығы әсерінен бұрмалануы; б – Бейсызықтық коэффициенті түсінігіне келтірілген мысал; в – Жаймалаудың басы; з – Жаймалаудың соңы.

қалдық жарықтану уақыты. Осциллограмманың визуалдық қабылдауын жақсарту үшін, экранның жарқырау уақыты оларға электрондардың әсер ететін уақытынан ұзақ болуы керек. егер де процестерді 10 Гц-тен астам жиілікте бақылау керек болса, онда қалдық жарықтануының орташа ұзақтығы 100 мс дейін болатын экрандар қолданылады. Фототіркеу үшін қалдық жарықтануы аз (0,01 с) люминофорды пайдаланған жөн. Жай өзгеретін процестерді зерттегенде, қалдық жарықтануы 0,1 с асатын экрандар қолданылады.

Сәуленің жүрісі тік болғандағы жамайлау кернеуінің өзгеру тәуелділігі сызықты болуы керек, әйтпесе зерттелетін сигналдың бұрмалануы мүмкін (13.7-сурет, а). U_y параметрі Y тік пластинасындағы кернеуді; U_p – жаймалау кернеуін; t , t' , t'' – импульстердің ұзақтығын және импульстер ұзақтығының туындыларын көрсетеді.

Электронды сәуленің тік жүрісін жаймалаудың жұмыс бөлігінің бейсызықтығы *бейсызықтық коэффициентімен* сипатталады,

$$\gamma = \frac{\left(\left(\frac{dU_p}{dt} \right)_H - \left(\frac{dU_p}{dt} \right)_K \right)}{\left(\frac{dU_p}{dt} \right)_H} 100,$$

оның физикалық мәнін 13.7, б суретінен көруге болады. Бейсызықтық коэффициенті жаймалау жұмысы жүрісінің

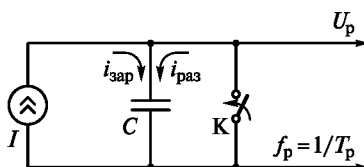
басы H мен $\left(\frac{dU_p}{dt} \right)_H$ соңындағы $\left(\frac{dU_p}{dt} \right)_K$

кернеу жылдамдығы өзгеруінің салыстырмалы үдеуін көрсетеді. Жаймалаудың жұмыс бөлігінің бейсызықтық коэффициентінің шамасы 1%-дан аспауы керек. 13.7, в суретінде жаймалау басының схемасы, ал 13.7, г суретінде — жаймалау соңының схемасы көрсетілген.

Жоғарыда аталып өткен талаптарға тек идеалды жаймалау генераторы ғана сай келеді, оның жеңілдетілген құрылымдық схемасы 13.8 суретінде көрсетілген.

I ток көзінен C шексіз үлкен сыйымдылығы $T_{пр}$ уақыт ішінде қуат алады ($\Gamma_{зар}$), содан соң өте қысқа уақыт ішінде K тұйықталған кілтте қуаттың бітуі (разряд) жүреді ($\Gamma_{раз}$). Кілттің тұйықталу уақыты $T_{обр}$ теріс жүріс уақытына сәйкес келеді.

13.8-сурет. Идеалды жаймалау генераторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы



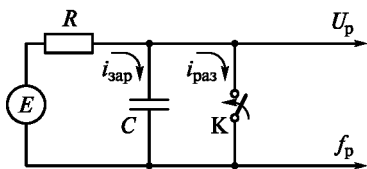
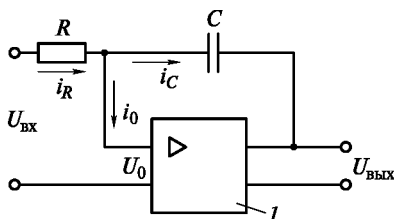


Рис. 13.9. Упрощенная структурная схема реального генератора раз-



13.10 сур. Генератор развертки на операционном усилителе: 1 — операционный усилитель

Онда жұмыс бөлігінің U_p жаймацау кернеуін төмендегідей түрде жазуға болады:

$$U_p = U_C = \frac{1}{C} \int_0^{T_{\text{пр}}} i_{\text{зап}} dt = \frac{1}{C} i_{\text{зап}} t \Big|_0^{T_{\text{пр}}},$$

яғни сызықтық тәуелділік орын алады.

13.9-суретінде нақты жаймалау генераторының жеңілдетілген құрылымдық схемасы бейнеленген.

13.9-суретіндегі схема үшін жұмыс уақыты ішіндегі конденсатордағы кернеудің өзгерісі төмендегі формула бойынша анықталады:

$$U_C = E (1 - e^{-t/\tau}),$$

мұндағы E — кернеу көзі; $\tau = RC$.

Басқаша айтқанда, конденсатордағы кернеудің өзгеруі экспоненттік сипатқа ие. Бұл тәуелділіктің ең сызықты бөлігіне бастапқы бөлік жатады, сондықтан сызықты өзгертін жаймалауға қол жеткізу үшін $t \gg \tau$ болғандағы конденсатордағы кернеу өзгерісінің бастапқы бөлігі таңдалады. Бұл дегеніміз, E кернеу көзінің жұмыс режимі ток генераторының жұмыс режиміне жуықтауы керек.

E керектендіруші кернеуінің деңгейі шектеулі болғанда, экранда сызықтық жаймалауды операциялық күшейткіштегі интеграторлармен жасауға болады (13.10-сурет).

13.10-суретіндегі схемада операциялық күшейткіштің мінсіздігінің арқасында, ток $i_0 = 0$ болғанда, i_R және i_C токтары үшін тәуелділік төмендегідей болады:

$$i_R = \frac{u_{\text{вх}}}{R}; \quad i_C = -C \frac{du_{\text{вых}}}{dt}.$$

Бұл токтарды теңестіріп, аса күрделі емес түрлендірулерден кейін мынадай формуланы аламыз

$$u_{\text{вых}} = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_{\text{вх}} dt,$$

яғни, берілген құрылғы операциялық күшейткіште жаймалау кернеуінің сызықтық біріктірілуін жүзеге асырады. Схемада мыналар бейнеленген: R — резистор, i_R — резистор арқылы өтетін ток; U_{BX} және $I_{ВЫХ}$ — кіріс пен шығыстағы жаймалау кернеуі; C — конденсатор; i_c — конденсатор арқылы өтетін ток; U_0 — эта-
лондық кернеу.

Жадтаушы электронды-сәулелік түтікшелер жеке сигналдар мен қуыстылығы үлкен сигналдарды зерттеуде қолданылады. Бұл түтіктердің құрамында кең қолданыстағы ЭСТ-теріндегідей элементтер бар, бірақ олар қосымша жад түйінімен және кескінді жаңғырту жүйесімен жабдықталған.

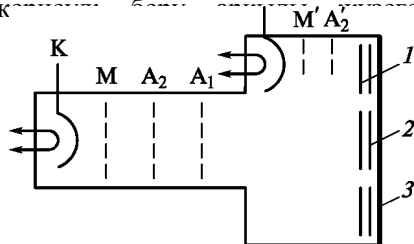
13.11-суретінде жадтаушы ЭСТ-тің жеңілдетілген схемасы көрсетілген. Жад түйіні екі торлы электродтан тұрады, олар экранға 3 параллель орналасқан. Экранда диэлектрик қабатымен жабылған нысана 2 бар. Нысананың жоғарғы жағында тор түріндегі, үлкен құрылымды тағы да бір электрод – коллектор 1 орналасқан.

Кескін жоғары қуатты электронды сәулемен (жазба сәулесі) жазылады. Сәуле электрондары нысанада орналасып, зарядтың мөлшері сәуле тогына пропорционалды болады. Сәулені жылжитқанда, осциллограмманың пішінін қайталайтын потенциалды рельеф жасалады. Сигнал әрекеті тоқтағаннан кейін, нысананың потенциалды рельефі ұзақ уақыт бойы сақталып қалады. Жазылған кескінді жаңғырту жүйесінің көмегімен бақылауға болады, ол қыздырғышты катод К пен модулятордан М' және анодтан А'₂ тұрады (13.11-суретке қараңыз).

К' түтігінің катоды қуаты төмен электродтардың ағынан жасайды, олардың тығыздығы модулятормен М реттеледі. Нәтижесінде электрондардың кең фокусталған шоғы құрылады, олар нысананы біркелкі сәулелендіреді. Нысананың потенциалы жазылған кескін болмағанда, жаңғырту шоғының баяу электрондары ол арқылы өтіп кетпейтіндей етіп тандалады. Нысананың бұл нүктелерінде потенциалды рельеф болғанында, осы нүктелердегі электрондардың бір бөлігі экранға қарай өтіп, осылайша оның жарықтануын тудырады. Экранда нысананың потенциалды рельефінің формасын қайталайтын осциллограмма пайда болады. Жазбаны өшіру коллекторға нысананың потенциалын тегістейтін теріс қарғалы баяу электрондар асырылады.

Мұндай ЭСТ-тің жұмыс режимінде үш моментті бөліп қарастыруға болады:

1) *сигналды жазбасыз бақылау*. Коллектордағы кішігірім оң кернеумен



13.11-сурет. Жадтау ЭСТ-тің жеңілдетілген схемасы:

1 — коллектор; 2 — нысана; 3 — экран

$U_{\text{кол}} = 50 \text{ В}$, нысанадағы нөлдік потенциалмен $U_M = 0$, тез ұшатын электрондар үшін нысананың мөлдірлігімен сипаттамалады;

2) *жазба режимі*. Онда коллектордағы кернеу $U_{\text{кол}} = 50 \text{ В}$, нысанадағы оң потенциал $u_m = 30 \text{ В}$ тең, нысанадағы мөлдірлік азырақ болады. Нәтижесінде тез ұшатын электрондар екінші реттік электрондарды қағып жіберіп, нысанада зарядтаушы оң рельефті тудырады, және ол ұзақ уақыт бойы сақтала алады;

3) *жаңғырту режимі*. Оның параметрлеріне нысанадағы нөлдік потенциал $u_m = 0$, рельеф жазылған тұстардан басқа; нысананы жаңғырту жүйесінен баяу ұшатын электрондар ағынымен сәулендіру жатады. Ол ағын үшін нысана рельефтің сигнал жазылған тұстарында ғана мөлдір болады.

Жадтаушы ЭСТ-тің басты параметрлеріне төмендегілер жатады:

1) жаңғырту режиміндегі экранның жарығы — жаңғырту жүйесінің модуляторымен реттеледі, жаңғырту үздіксіз жүретіндіктен, өте жоғары болуы мүмкін;

2) кескінді жаңғырту уақыты — негізінен потенциалды рельефтің ионды бомбылауға төзімділігімен шектеледі. Заманауи ЭСТ-те жаңғырту уақыты ондаған минуттарға дейін жетуі мүмкін;

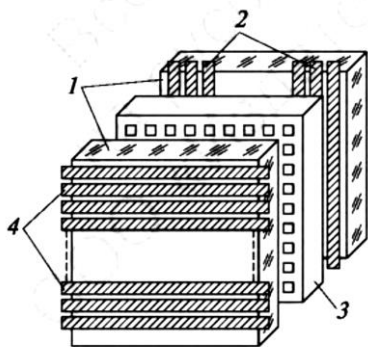
3) жазбаны сақтау уақыты — ЭСТ-тен кернеу түсірілгенде анықталады;

4) жазу жылдамдығы — хесте сақтау режиміндегі ЭСТ-тің тез әрекет етуін сипаттайды, және ол қажетті шамадағы потенциалды рельефті жасауға керекті уақытқа тәуелді болады.

Қазіргі заманауи жадтаушы ЭСТ-тің сигналдарды жазу жылдамдығы 2,5 - 4 000 км/с арасында болады.

Матрицалық индикаторлық панель.

- Аталған матрицалық құрылғы екі шыны тілімнен 1 тұрады, олардың сыртқы беттеріне жұқа тоқ жүретін жолақтар — анодтар 2 және катодтар 4 шаңдатылған. Анодтар беткі тілімде бейнелеу құрылғылары саласындағы соңғы жетістіктерінің бірі болып табылады. Ол белгілі бір тәсілмен орналастырылған жеке дискреттік сәуле таратқыштардың (газразрядты, сұйықкристалдық, қаты денелі және т.б.) жиынтығы болып табылады. 13.12-суретте матрицалық газразрядты панельдің құрастырылымы ұсынылған.



13.12-сурет. Матрицалық
Индикаторлық панель

1-шыны пластина; 2-матрица; 3-катод

орналастырылған, ол арқылы жарық сәулесі жүреді, сондықтан оларды мөлдір етеді. Тілімдердің арасында саңылаулары бар диэлектрикалық матрица 3 орналасқан, ол электродтардың қиылысу нүктелерінде газразрядты (немесе басқа) көздер түзеді. Панель гелий-неон қоспасымен толтырылады және сосын қымталады. Зерттелінетін сигналдың кескіні газразрядты көздердің кезектесіп сәулеленуі есебінен қайта жаңғыртылады. Ол үшін панельді басқару сұлбасынан әрбір сәтте пластиналардың анодтары мен катодтарына тиісінше өртеу кернеуінің оң және теріс импульстері беріледі. Өртеу кернеуінің импульсі жіберілетін анодтың нөмірі жайманың жолын, ал катодтың нөмірі— бағанды анықтайды. Жайма сәулесін басқарудың осындай принципі *матрицалық* деп аталады. Тәжірибеде ол цифрлық әдістер мен құрылғылармен іке асырылады.

Матрицалық индикаторлық панельдердің жетістіктеріне шағын габариттік өлшемдерін, аз салмағын, төмен жеткізу кернеуін және геометриялық бұрмаланулардың жоқтығын жатқызамыз. Цифрлық басқару принципі бір экранда сигнал кескінін оның цифрлық және әріптік индикацияларымен оңай қиыстыруға мүмкіндік береді.

Матрицалық индикаторлық панельдердің кемшіліктеріне схемалық шешу күрделілігін, жоғары емес айыру қабілетін және төмен тезерекеттігін жатқызған жөн.

Жадтайтын цифрлық осциллографтар. Соңғы жылдары өлшеу техникасында жадтайтын цифрлық осциллографтар (ЖЦО) кеңінен қолданылады. ЖЦО-ның жеңілдетілген құрылымдық сұлбасы 13.13-суретте келтірілген.

Осындай осциллограф екі режимде жұмыс істей алады. Атап атқанда, қосарланған ажыратып-қосқыш (А), 1-қалыпта тұрса, онда сұлба қарапайым әмбебап осциллограф болып табылады, ал егер 2-қалыпта тұрса, онда сұлба ЭЦО ретінде жұмыс істеді (13.13-суретке қараңыз). Оның әрекет қағидасы келесідей.

Зерттелінетін $U_c(t)$ сигнал Y кіруінен аттенуатор арқылы АЦТ-ның ақпараттық кіруі жіберіледі; АЦТ-ға контроллерден (басқарушы құрылғыдан) T жол кезеңімен U_T тактілік импульстері келіп түседі. Импульстердің бірі уақыттың қайсыбір сәтінде t , АЦТ сигнал амплитудасын $U_c(t)$ екілік кодқа $U(t)$, яғни 0 және 1 деңгейлерінің жиынтықтарына түрлендіреді. Осындай түрлендірудің соңында АЦТ контроллерге тиісті сигнал береді. Осы жолмен алынған цифрлық код жадтайтын құрылғының белгілі бір көзіне жіберіледі.

$U_c(t)$ сигналын зерттеу кезде жадтайтын құрылғыда $U_c(t)$, $U_c(t, + T)$, $U_c(t, ++ 2T)$ және т.б. жинақталады.



13.13-сурет. Жадтайтын цифрлық осциллографтың жеңілдетілген құрылымдық сұлбасы

Онда ол ұзақ сақтала алады, себебі энергияға тәуелсіз екендігі белгілі. Сақтаулы ақпаратты қайта жаңғырту үшін контроллердің пәрменімен СҚ жадысынан кодтар талап етілетін ретте және берілен қарқында таңдалады (оқылады) және оқылады және цифрлы-аналогті түрлендірушіге жіберіледі, ол әр кодтан оған тиесілі кернеуді қалыптастырады. Бұл кернеулер күшейткіш арқылы Y тілімдеріне жіберіледі. Нәтижесінде осциллограмма жарқыраған нүктелердің жиынтығы болып табылады. Зерттелінетін сигналдың үзіліссіз кескінің алу үшін жадтайтын құрылғыдан кейін тегістеу блогын орнатады (13.13-суретте ол көрсетілмеген).

ЖҚО артықшылықтарына ақпаратты шексіз сақтау уақыты, оны оқу жылдамдығының кең диапазоны, жадталған сигналдың жеке учаскелерін баяулатылған жаңғырту мүмкіндігі, ашық және анық осциллограммалар, ЭЕМ-да немесе осциллографтың ішінде ақпаратты цифрлық түрде өңдеу мүмкіндігі жатқызылады.

ЖҚО-ның негізгі кемшілігі – олардың көбісі 1 немесе 10 МГц жиіліктегі сигналдарды есте сақтай алады, себебі олар АЦТ-ның салыстырмалы түрде жоғары емес тезерекеттіне ие.

Жадтайтын осциллографтың құрылғысы ретінде электрон-сәулелі түтікшенің келесі кемшіліктері бар: үлкен габариттік өлшемдер (ұзындығы), жоғары қоректеуші кернеулер, салыстырмалы аз төзімділік, жоғары емес механикалық беріктік. Осылардың салдарынан соңғы жылдары көптеген ЖЦО-да жазық матрицалық газразрядтты және сұйықкристалдық панельдер қолданылады

Екі каналдық және екі сәулелі осциллографтар. **Екі каналдық** осциллографтардың тік ауытқудың екі барабар каналы (Y_1 кіруі және Y_2 кіруі) және электрондық ажыратып-қосқышы бар, ол каналдардың шығу сигналдарына кезекпен бірдей тілімдер Y жібере алады.

Электрондық ажыратып-қосқыштың жұмысын басқаруға қарай осциллографтың келесі негізгі жұмыс режимдерін жүзеге асыруға болады:

1) бір каналдық —экранда Y_1 кіруіне немесе Y_2 кіруіне берілетін бір сигнал көрінеді;

2) кезектік — жайманың әрбір кері жүрісі барысында электрондық ажыратып-қосқышты бір уақытта ауыстыру есебінен экранда бір мезетте екі сигнал көрінеді.

Екі каналдық құру қағидасының негізінде сегізге дейін каналы бар көпканалдық осциллографтар құрылып жатыр.

Екі сәулелі осциллографтардың екі каналы Y және арнайы екі сәулелі ЭСТ бар, оның құрамына екі электрондық дербес зеңбіректері және екі ауытқытушы тілімдер жүйесі кіреді. Бұл жағдайда электронды сәулелердің көлденең жаймасы— ортақ (жайма генераторынан), ал тік жайма— әрқайсысы «өзінің» каналынан Y . Бұл экранда екі сигналдың осциллограммаларын (екі каналдық осциллограммаларда сияқты оқтын-оқтын үзілусіз) бақылауға мүмкіндік береді. Осындай осциллографтар екі каналдықтардан анағұрлым күрделі және қымбат

13.3. Жылдамдық және стробоскопиялық осциллографтар

Қысқа импульстерді (наносекундтық диапазон сигналдарын) және АЖЖ-диапазоны ауытқуларын бақылау және зерттеу барысында кәдімгі осциллографтардың қолданылуын күрделендіретін проблемалар пайда болады. Мамандар осы мақсаттарда әмбебап осциллографтардың қолданылуына айтарлықтай кедергі жасайтын алты негізгі себеп анықтады.

1. Тілімдердің сыйымдылығына және жеткізуші сымдардың индуктивтілігіне негізделген тізбектерде пайда болатын паразиттік резонанс, оның ішінде тілімдердің енгізулері. Паразиттік резонанстық жиілік зерттелінетін сигналдың жоғары гармоникасынан айтарлықтай жоғары болуы керектігін есте сақтаған жөн.

2. ЭСТ тілімдері сыйымдылығының зерттелінетін импульстің фронт тіктігіне ықпалы.

3. ЭСТ тілімдерінің арасынан электрондардың ұшуының ақырғы уақытыны ықпалы, ол 1-10 нс диапазонында болуы тиіс. Егер электрондардың тілімдерінің арасында орналасу уақытында сигнал өзгерсе, онда электронды сәуленің ауытқуы болжалана алмайды.

4. Y каналының өте кең өткізу жолағы болғаны дұрыс. Тік төртбұрышты импульсті жіберу үшін өткізу жолағы $A/\sim 2/t_n$ формуласы бойынша шамалап есептелуі мүмкін. Сонда импульс ұзақтығы $t_n = 1$ нс болса, өткізу жолағы $A/ = 2$ ГГц.

5. Наносекундтық импульстер мен АЖЖ-ауытқуларын бақылау қажеттілігі сәуленің экран бойынша жоғары жылдамдығын талап етеді. Мысалы, ені $L \equiv 100$ мм ЭСТ экранында ұзақтығы $t_n = 5$ нс импульстің кескінін алу үшін сәуленің қозғалу жылдамдығы шамамен $V \equiv 20\ 000$ км/с болуы тиіс, мұнда V — сәуленің қозғалу жылдамдығы, $V = L/x_n$; L — экрандағы кескінің өлшемі.

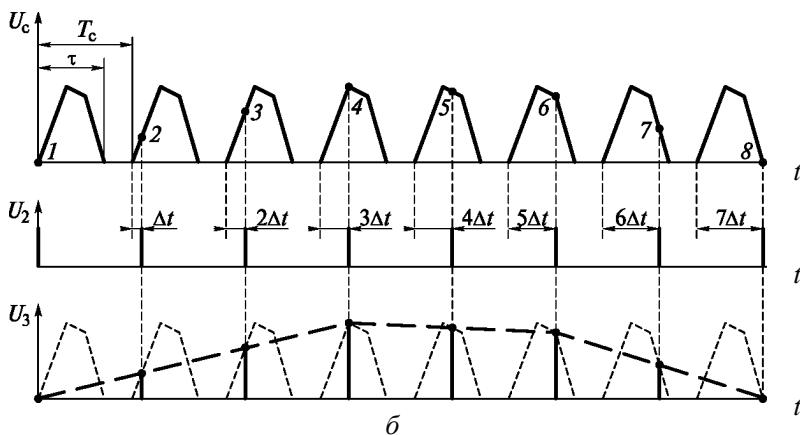
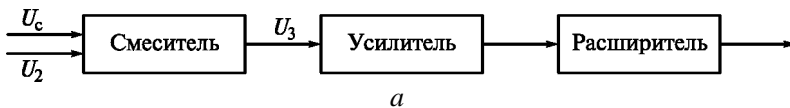
6. Осциллограф экранындағы сигнал кескіні өңсіз болып шығуы мүмкін, себебі электрондық сәуле экранмен аса үлкен жылдамдықпен ауысады. Жылдамдық осциллографтарды құрастыруда жоғарыда баяндалғандардың барлығын ескеру керек.

Уақыттың шынайы масштабында жұмыс істейтін жылдамдық осциллографтарда арнайы ЭСТ, яғни *қума толқынның түтікшелері* қолданылады, олар тік ауытқу каналының жоғары сезгіштігін қамтамасыз етпейді ($S_y \sim 1$ мм/В). Жоғары жылдамдықты жаймаларды құру да проблема болып табылады, ол жайма кернеуін бірнеше жүз вольттарға көтеру қажеттілігімен байланысты. Қолданыстағы сериялық жылдамдық осциллографтардың жоғары шектік жиілігі 10 ГГц аспайды.

Кернеудің амплитудасы аз жылдам ағатын процестерді зерттеу барысында бұрын сипатталған жылдамдық осциллографтар төмен сезгіштігінің салдарынан жарамсыз болып табылады. Бұл кемшіліктер ембебап осциллографқа арналған стробоскопиялық приставкаларда (түрлендіргіштер) жок.

Осциллографтаудың стробоскопиялық әдісі жылдамдық осциллографта зерттелінетін сигналды тікелей бақылауда талап етілетін жайма жылдамдығын анағұрлым азайтуға мүмкіндік береді. Стробоскопиялық осциллографтар өте қысқа периодтық импульстар мен жоғары жиілікті ауытқуларды зерттеуге мүмкіндік береді. Олар жоғары сезгіштікке ие, яғни олардың кіру сигналдарының амплитудасы төмен болуы мүмкін.

ЭСТ экранында сигнал кескінін алу үшін оның сәттік мәндерін (сигнал іріктемелері) іріктеу және уақытша түрлендіру қолданылатын, яғни сигнал кескіні уақыттың ұлғайтылған масштабында беретін электрондық осциллограф *стробоскопиялық* деп аталады.



13.14-сурет. Стробоскопиялық осциллографтың жұмыс жасау принципі: *a* — түрлендіргіштің сұлбасы; *б* — уақытша диаграммалар; 1-8 — импульстер нүктелері

Жайма жылдамдығы уақыт масштабы трансформациясының есебінен төмендейді. Осциллограф экранында пішіні зерттелінетін сигналға ұқсас, бірақ ұлғайтылған уақыт масштабындағы кескін болып табылады. Стробоскопиялық әдіс зерттелінетін сигналдың амплитудалық-импульстық модуляциясының (АИМ) есебінен жүзеге асырылады.

Түрлендіргіштің сұлбасы және стробоскопиялық осциллографтың жұмыс істеу принципін түсіндіретін уақытша диаграммалар 13.14-сур. келтірілген.

Ұзақтығы t және қайталау периоды T_c зерттелінетін импульстер U_c арнайы (өте қысқа) строб-импульстермен U_2 бірге (олар сигнал туралы ақпаратты тасымалдаушыларының рөлдерін атқарады) түрлендіргіштің стробоскопиялық араластырғышына беріледі (13.14, а-сур.). Строб-импульстердің жүру периоды

$$T_{\text{стр}} = T_c + \Delta t$$

мұнда Δt — оқу қадамы.

Лт ұзақтығы келесі шартпен таңдалады

$$\Delta t = \frac{\tau}{n},$$

мұнда n — бүтін сан.

Осындай түрлендірудің нәтижесінде бірінші строб-импульс бірінші импульстың $U_c(1)$ басталуымен сәйкес келетін болып шығады, екінші строб-импульс екінші импульстың $U_c(2)$ басталуына қатысты At -ға ығыстырылған, үшінші строб-импульс үшінші импульстың $U_c(3)$ басталуына қатысты $2At$ -ға ығыстырылады. (13.14, б суретке қараңыз).

Араластырғыштың шығуында қысқа импульстер U_3 (13.14, б суретте нүктелері бар кара сызықтармен көрсетілген) пайда болады, олар уақыт бойынша строб-импульстерге (U_2) сәйкес келеді, бірақ амплитудасы U_2 строб-импульстердің келіп түсу сәтіндегі зерттелінетін импульстердің U_c амплитудасына тең келеді. Соның салдарынан U_3 импульстері зерттелінетін сигналмен U_c амплитуда бойынша модульденген строб-импульстер деп аталады (13.14, б суретке қараңыз).

Модульденген строб-импульстерді көмкерген U_3 сигнал диаграммасы (13.14, б суретте ол кара штрих сызықпен көрсетілген) зерттелінетін импульстердің U_c формасын қайталайды, бірақ олармен салыстырғанда уақыт бойынша созылған. U_3 импульстері күшейеді, сосын T_c кіші ұзақтыққа дейін кеңейтіледі және Y каналының күшейткіші арқылы осциллографтың ауытқу пластиналарға беріледі. Нәтижесінде әдеттегі ЭСТ және ара тәрізді жаймасы бар осциллографтың экранында U_c импульстердің пішіні байқалады.

Бақыланатын импульстың уақыт бойынша созылу дәрежесі (уақытша түрлендіру) уақыт масштабы трансформациясы коэффициентімен сипатталады.

$$K_{\text{тп}} = \frac{n T_{\text{тп}}}{\tau}$$

мұнда n —, U_c импульсын оқуға қатысатын строб-импульстердің саны

$$\text{себебі } n = \frac{\tau}{\Delta t}, \text{ то } K_{\text{тп}} = \frac{T_{\text{тп}}}{\Delta t}.$$

Қазіргі осциллографтарда $K_{\text{тп}}$ ондаған мыңдарға жетеді, ол кәдімгі жаймалдарда наносекунтық импульстердің пішінін бақылауға мүмкіндік береді.

Қазіргі стробоскопиялық осциллографтарда жиіліктерді өткізу жолағы бірнеше гигагерц құрайды, және кіру сигналының деңгейі бірнеше милливольттан ондаған вольттарға дейін болады.

13.4. Цифрлық осциллографтар

Цифрлық осциллографтар экранда сигналды бақылауды және бір уақытта оның параметрлерінің сандық мәнін осциллографтар экранынан тікелей алудың дәстүрлі әдісімен салыстырғанда көбірек дәлдікпен алуды қамтамасыз етеді.

Оның негіздемесі: сигнал параметрлерін өлшеу тік ауытқу каналының шығуында (мұнда сигналға каналдың барлық қателері үстеледі, бұл қателер 10 %-ға жетуі мүмкін) емес, тікелей цифрлық осциллограф кіруінде жүзеге асырылады.

Цифрлық осциллографтардың көмегімен сигналдың амплитудасы, оның жиілігі, сондай-ақ, импульстің ұзақтығы өлшенеді. Алайда, цифрлық осциллографтардың мүмкіндіктері осы параметрлерді өлшеумен шектелмейді.

Цифрлық осциллографтардың микропроцессорлармен түйіндесуі сигнал кернеуінің қолданыстағы мәнін анықтауға және тіпті, экранда сигналдың кез келген түрі үшін Фурье түрленуін бейнелеуге мүмкіндік береді.

Цифрлық осциллографтарда сигналдың толық цифрлық өңделуі жасалады, сондықтан мұнда ақпаратты бейнелеу үшін әдетте, индикаторлық панельдерді құру саласындағы соңғы жетістіктер қолданылады.

Цифрлық осциллографтарда өлшеу нәтижелерін көрсетуде жұмыстың үш режимі болуы мүмкін.

1. Экранда сигналдың динамикалық кескінін бақылау және бір уақытта жарықты таблода оның сандық параметрлерінің шығып тұруы.

2. Оператор экрандағы сигналдың кескініне жарық белгілерін өлшенетін параметрді белгілеп алу үшін келтіреді және тиісті реттеудегі сан бойынша қызықтыратын параметрлерінің шамасын анықтайды.

3. Зерттелінетін сигналдар мен цифрлық ақпараттың кескіндерін қалыптастыру үшін арнайы кинескоптарды (мысалы, матрицалық индикаторларды) және растрлық әдісі қолданылады.

Қазіргі цифрлық осциллографтарда түтікше экранындағы кескіннің оңтайлы өлшемдерін орнату автоматты түрде орындалады. Цифрлық осциллографтардың жеңілдетілген құрылымдық сызбасын және оның параметрлерін қарастырайық (13.15-сурет).

Цифрлық осциллографтардың құрылымдық сызбасының құрамына: кіру сигналының аттенюаторы; тік және көлденең ауытқу күшейткіштері; амплитуда және уақытша интервалдары; сигналдың және өлшеуіштердің интерфейстері; микропроцессорлық контроллер; жайма генераторы; синхрондау және ЭСТ сұлбасы кіреді.

типтік цифрлық осциллографтың техникалық сипаттамалары:

жиіліктерді өткізу жолағы— 0-50 МГц;

ауытқу коэффициенттері — 0,002-10 В/дел.;

жайма коэффициенттері— 20 нс/дел-20 мс/дел.;

ауытқу және жайма коэффициенттерінің қателері — 2.4%;

цифрлық өлшеулердің дәлсіздігі — 2. 3 %;

экранның өлшемі— 80 x 100 мм.

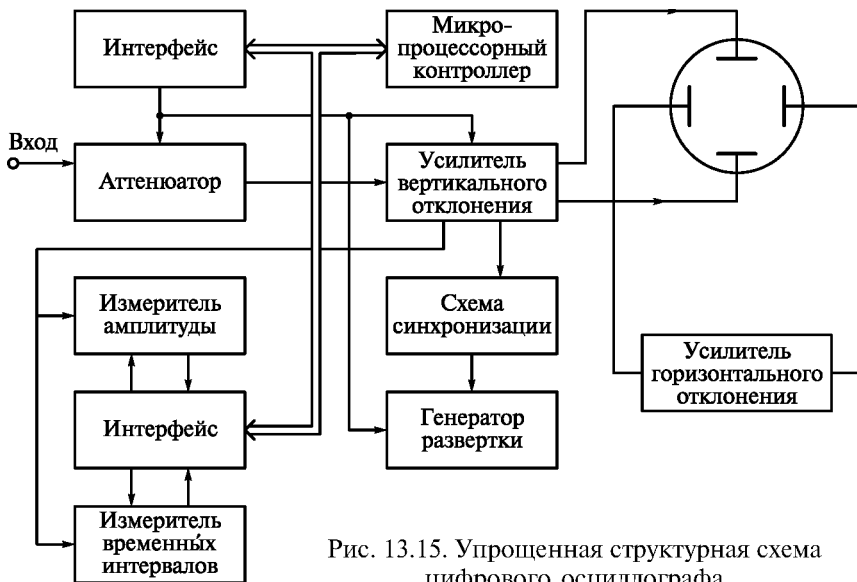


Рис. 13.15. Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа

Цифрлық осциллографтардың функционалды мүмкіндіктеріне төмендегілер жатқызылады:

- 1) кескін өлшемдерін автоматтық орнату;
- 2) автоматтық синхрондау;
- 3) екі белгінің арасындағы айырмалық өлшемдер;
- 4) сигналдардың тербелу өрісін, максимум мен минимумын, импульстердің ұзақтығын, кідірісін, фронт мен түсуін автоматтық өлшеу;
- 5) жалпы пайдалану каналына кіру.

Цифрлық осциллографтар корпусының габариттік өлшемдері 335 x 280 x 566 мм; салмағы 14 кг; жұмыс температураларының диапазоны — в интервале от -10-ден +50 °С дейінгі аралықта.

13.15 суреттегі құрылымдық сұлбадан көрініп тұрғандай, зерттелінетін сигналдың амплитудалық сұлбадан уақытша параметрлері аспапқа кіріктірілген өлшеуіштердің көмегімен анықталады. Осы өлшемдердің негізінде микропроцессорлық контроллер ауытқу және жайманың талап етілетін коэффициенттерін есептейді және интерфейс арқылы осы коэффициенттерді тік және көлденең ауытқу каналдарының аппараттық бөлігіне енгізіледі. Бұл кескін өлшемдерінің тігінен және көлденең өлшем тұрақтылығын және сигналды автоматты синхрондауды қамтамасыз етеді.

Сондай-ақ, микропроцессорлық контроллер алдыңғы панельдегі басқару органдарының қалпын сұрайды және сауал мәліметтері кодтаудан кейін қайтадан контроллерге түседі, ол интерфейс арқылы автоматтық өлшеудің тиісті режимін қосады.

Өлшеу нәтижелері жеке жарықты таблоға шығарылады (ол түтікше экранына кіріктірілуі мүмкін), амплитудалық және уақытша параметрлер бір мезетте бейнеленеді.

13.5. Үздіксіз және импульстық сигналдардың осциллограммаларын алу әдістемесі

Осциллографты таңдауда бірінші кезекте оның техникалық сипаттамаларына назар аударған жөн: жиілік диапазон, сезгіштік, экранның өлшемі. Кескін экранның орталық бөлімін алып жатуы және оның ауданының 70-80 % құрауы тиіс. Цифрлық аспаптарда бұл талап, әдетте, автоматтық түрде орындалады.

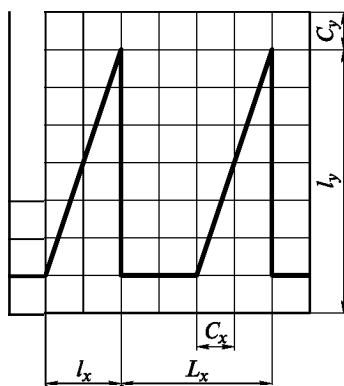
Сәуленің жеткілікті ашықтығында диаметрі минималды болуы тиіс. Осциллографтың кірме параметрлеріне де назар аудару керек. Атап айтқанда, кейбір осциллографтардың кірмелік кедергісі 1 Мом шеңберінде болады, ол жоғары омық зерттелетін сұлбаға тұйықтауыш әрекет етуі мүмкін. Тура осындай жағымсыз ықпалды кірме сыйымдылығы да жасайды, ол жалғастыру сымдарының сыйымдылығымен бірге бірнеше ондық пикофарад құрауы мүмкін. Зерттелетін сұлбаны қосу үшін импульстер мен жоғары жиіліктердің кернеулерін өлшеуде арнайы жоғары жиілікті кабельдер қолданылуы керек.

Кернеудің амплитудалық мәндерін өлшеу. **Әмбебап** осциллографтарда сигналдардың амплитудасын осциллографтың экранына орналастырылған масштабты тордың көмегімен өлшеу әдісі қолданылады. Тордың бөлім бағасы алдын ала калибрлеуші амплитуданың көмегімен орнатылады. Сигнал параметрлерін масштабты тордың көмегімен анықтаудың үлгісі 13.16-суретте ұсынылған. Импульстердің параметрлері төмендегідей анықталады:

$u_p = C_y l_y$ — тербелу өрісі (импульс амплитудасы);

$T = C_x L_x$ — импульстердің жол период;

$\tau_n = C_x l_x$ — импульстің ұзақтығы;



13.16-сурет. Сигнал параметрлерін масштабты тордың көмегімен анықтау

$\langle C_x \rangle$ — көлденең бөлім бағасы, с/дел.;

$\langle C_y \rangle$ — тігінен бөлім бағасы, В/дел., онда I_y, L_y, L_x тордың бөлімдерінде белгіленген.

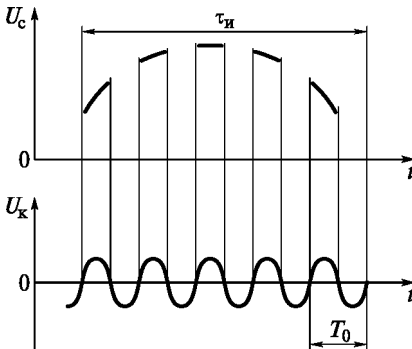
Өлшеуің осы әдісінде сигнал амплитудасын өлшеудің дәлсіздігі 4-7 %.

Зерттелетін сигналдың амплитудасын өлшеудің дәлдігін арттыру тәсілдері бар, мысалы, өтемдік әдістерді пайдалану. Бұл әдістер жиі цифрлық осциллографтарда қолданылады, ол 1-2 % қатесімен өлшенетін параметрлердің сандық мәндерін алуға мүмкіндік береді.

Сигналдың уақытша параметрлерін өлшеу. **Жиілік өлшеуіштер мен** уақытша интервалдарды өлшеуіштермен салыстырғанда осциллографтың көмегімен күрделі уақыт құрылымының, мысалы, сатылы сигналдардың немесе кодтық реттік сигналдарының параметрлерін өлшеуге болады. Кездейсоқ және өтпелі процестердің де параметрлерін өлшеуге болады. *Калибрленген жайма әдісі немесе калибрленген белгілер әдісі* өлшеудің ең қарапайым әдісі болып табылады (13.17-сурет). Сұлбада U_c — зерттелетін сигналдың кернеуі; U_k — калибрленген сигналдың кернеуі; t_n — импульстың ұзақтығы.

Осы әдістің нақты қателігі 10 % шегінде орналасқан және белгілердің санына тәуелді. Белгілі жиіліктің калибрленген белгілері сигнал кескініне сәуле ашықтығын өзертуді арқылы жүзеге асырылады, яғни, t ЭСТ торына жиілігі белгілі кернеу f_0 немесе ауытқу периоды $T_0 \equiv 1/f_0$ беріледі. Бұл ретте $T_c \equiv nT_0$, мұнда n — калибрленген белгілердің саны.

Аталған әдістің дәлділігін арттырудың әртүрлі әдістері цифрлық осциллографтарда да қолданылады. Соның есебінен кей жағдайларда 1 % кем қателікке қол жеткізуге болады.












13.17-сурет. Калибрлеуші белгілердің көмегімен уақытша интервалдарды анықтау

Бірқатар жағдайларда екі гармоникалық сигналдардың жиілігін салыстыру *методом интерференциялық фигуралар (Лиссажу фигуралары) әдісімен* жүргізіледі. Осы мақсатпен белгілі жиіліктің f_0 ауытқулары осциллографтың бір кіруіне беріледі (мысалы, X , осциллографтың жеке жаймасы өшіріледі).

Екінші кіруге белгісіз жиіліктің $f_{зм}$ ауытқулары түседі. Бұл ретте үлгілі генератордың жиілігін осциллограф экранында қарапайым тұрақты фигура шығатындай етіп келтіреді, олардың үлгілері 13.1-кестеде келтірілген.

Сигналдардың арасындағы әртүрлі фазалық жылжытулардағы интерференциялық фигуралар

Соотношение частот	Фазовый сдвиг				
	0°	45°	90°	135°	180°
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{1}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{2}$					
$\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{3}$					

Жиілікті табудың осы әдісінің дәлділігі жоғары болып табылады және үлгілі генератордың тұрақтылығымен анықталады. Алайда, осындай фигураларды алу және бақылау күрделі өлшеу міндеті болып табылады.

Екі үйлесімді ауытқулары жиіліктерінің ара қатынасы тігінен қиылысу нүктелерінің санын көлденең бойынша қиылысу нүктелерінің санына бөлу арқылы анықталуы мүмкін.

Аталған процедура 13.18 –суретте бейнеленеді, онда ара-қатынас

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}.$$

құрайды

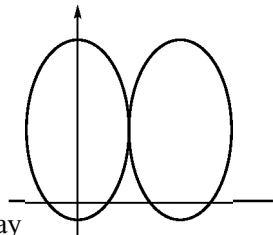
Импульстық сигналдардың осциллограммаларын алу. **Импульстық** сигналдарды өлшеуде импульс фронттарының пішіні мен параметрлерін дұрыс анықтаудың маңызы зор. **Импульстық** сигналдың дұрыс жаңғыртылуына ықпал ететін негізгі факторлар:

- 1) Тік ауытқу каналының жиілік диапазоны

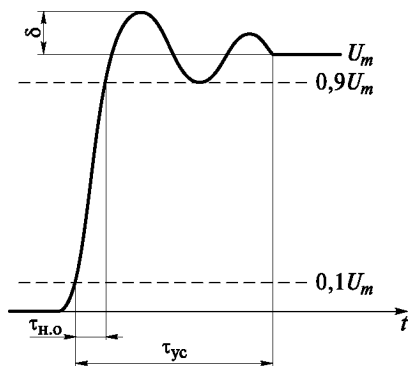
$$\Delta F = f_v - f_n,$$

мұнда f_v , f_n — каналдың тиісінше жоғарғы және төменгі шектік жиіліктері;

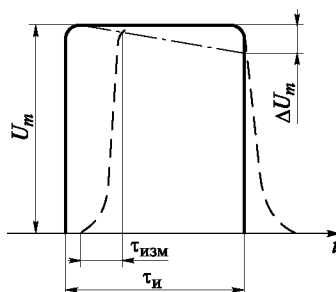
- 2) осциллографтың өтпелі сипаттамасы.



13.18-сурет. Жиіліктердің ара-қатынасын анықтау



13.19-сурет. Оциллографтың өтпелі сипаттамасы



13.20-сурет. Тік төртбұрышты импульс пішінінің бұрмалануы

Оциллографтың жиілік қасиеттері гармоникалық сигналдың кескіні өлшемінің оның жиілігіне АЖС тәуелділігімен анықталады. Амплитудалық-жиілік сипаттаманың жиіліктерді өткізу жолағы бар, ол төменгі жиіліктерде АЖС мәнінен 0,707 деңгейінде алынатын жоғарғы шектік жиілікпен $\frac{1}{\sqrt{2}}$ анықталады. Басқа параметрлердің ішінен АЖС жұмыс диапазонын атап өткен жөн, оның шеңберінде әркелкілігі аталған оциллограф үшін кернеу өлшеудің қателіктерінен аспайды. Бұл параметр белгіленген дәлдігімен гармоникалық сигналдың амплитудаларын өлшеудің жиілік шекараларын анықтайды.

13.19-суретте көрсетілген оциллографтың өтпелі сипаттамасы оциллографтың маңыздылығы кем емес параметрлерінің бірі болып табылады. Оциллографтың өтпелі сипаттамасының параметрлеріне фронттың өсу уақыты $\tau_{н.о}$ — сәуле орнатылған мәннің (U_m кернеуінің амплитудалық мәні деңгейінің) 0,1-ден 0,9 –дейін өтетін уақыт интервалы. Өтпелі сипаттаманың жазық бөлігі шығарумен немесе осцилляцияларымен болуы мүмкін. Шығаруларды бағалау үшін қосымша параметрлер қолданылады: өсу уақыты $\tau_{н.о}$, 0,1 деңгейінен осцилляциялардың берілген деңгейге дейін төмендеуінен бастап саналатын фронтты орнату уақыты $\tau_{ус}$, және амплитуданы шығару. Өсу уақыты $\tau_{н.о}$ негізгі параметрі болып табылады.

Қысқа мерзімдік импульстерді зерттеу үшін оциллограф қажет, оның удеу уақыты сигнал ұзақтығынан 0,3 аспауы тиіс.

Жоғарыда баяндалғандарды ескере кере, жиілік диапазонның жоғарғы шекарасы төмендегі формула бойына анықталады

$$f_B = \frac{2}{\tau_H}$$

Импульс фронтының ұзақтығы (13.20-сурет) келесі өрнекке сәйкес нақтыланады:

мұнда $T_{изм}$ — фронт ұзақтығының өлшенген мәні; $T_{но}$ — осциллографтың өтпелі сипаттамасы бойынша анықталатын фронттың өсу уақыты (сигнал ұзақтығынан 0,1-0,3 артық емес).

Төменгі шекаралық жиілікке f_n импульс төбесінің U_m қиғаштық шамасы A тәуелді (13.20-суретке қараңыз). Бұл шекаралық жиілік формула бойынша анықтала алады:

$$f_n \leq \frac{\delta_n}{2\pi\tau_n},$$

мұнда δ_n — импульс төбесі басылуы рұқсат етілетін шекті шама;

$$\delta_n = \frac{\Delta U_m}{U_m}.$$

Айтарлықтай қуыстылығы бар импульстердің, яғни қайталану периоды көр қысқа импульстердің осциллограммаларын алғанда күтуші жайма қолданылады т.

Қорытындылай келе, ЭСТ-мен осциллографтың қорек көзі әдетте екі бөліктен тұратынын атап өткен жөн: түтікше электродтарының қоректенуі үшін қажетті кернеу беретін жоғары вольтты бөлік және осциллографтың қалған тораптарын қоректендіру үшін төмен вольтты бөлік.

Бақылау сұрақтары

1. Әмбебап осциллографтың блок-схемасы және оның жұмыс істеу қағидасы қандай?
2. Жаймалардың қандай түрлері бар?
3. Күтуші жайма неге арналған?
4. Цифрлық осциллографтың құрылымдық сұлбасы қандай? Оның жұмыс істеу қағидасы қандай?
5. Осциллографтың көмегімен кернеулерді өлшеу әдістемесінің мәні неде?
6. Осциллографтың көмегімен уақытша интервалдарды өлшеу әдістемесі қандай?
7. Осциллографтың көмегімен импульстық сигналдарды өлшеу мәнісі неде?

14-тарау

Фазалық сигналдың көлемін өлшеу

14.1. Негізгі мәліметтер

«Фаза» - біздің ұғымымызда кез келген нақты уақытта гармоникалық (синусоидальді) тербелісті сипаттайды. Осылайша, $u_1(t) = U_{m1}\sin(\omega t + \varphi_1)$ гармоникалық тербеліс үшін U_{m1} амплитудалы және ω дөңгелек жиілікті, ағымдағы (бір сәтте) t уақыттық периодта келесі формулада болады:

$$\varphi(t) = \omega t + \varphi_1,$$

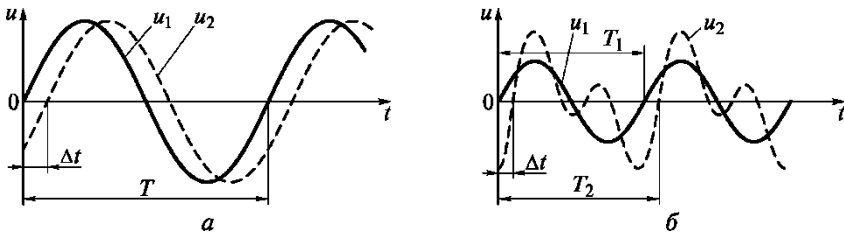
мұнда φ_1 — бастапқы фаза.

$u_1(t) = U_{m1}\sin(\omega t + \varphi_1)$ и $u_2(t) = U_{m2}\sin(\omega t + \varphi_2)$ бірдей жиіліктегі екі гармоникалық сигнал $\Delta\varphi$ фазалық ығысуы -олардың бастапқы фазаларының айырмашылық модулі деп аталады

$$\Delta\varphi = |\varphi_1 - \varphi_2|.$$

Әдетте $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ шамасы да солайша, сигналдардың фазалық айырмашылығы деп аталады. Егер бастапқы φ_1 және φ_2 фазалары өзгеріссіз қалса, фазалық ауысым $\Delta\varphi$ уақытқа тәуелді болмайды.

Іс жүзінде, әдетте, тең жиілікті екі гармоникалық (синусоидальды) тербелістердің фазалық әртүрлілігін өлшеу бойынша тапсырмалар шешіледі. 14.1-суретте келесі сигналдар формалары суреттеледі: a — екі синусоидальды ; b — синусоидальды және синусоидальды емес, бірдей периодты. Фазалық ығысуды сигналдың ауысымының уақытша тәуелділігі — Δt түрінде көрсетуі ыңғайлы. Атап айтсақ, синусоидальды сигналдар үшін.



14.1-сурет. Сигналдардың формалары:

a — екі синусоидальды толқындар; b — синусоидальды және синусоидальды емес бірдей 250 периодты

$u_1(t) = U_m \sin \omega t$ типті және $u_2(t) = U_m \sin \omega(t - \Delta t)$, бірдей $T = \frac{2\pi}{\omega}$,

периоды, фазалар ығысуы (14.1-сурет, а) келесідей жазуға болады:

$$\Delta\varphi = \varphi\Delta t = \frac{2\pi\Delta t}{T}. \quad (14.1)$$

Егер олардың аралығындағы фазалық ығысу 0 , n және $n/2$ тең болса, *сигналдар синфазалық, фазаға қарсы және квадратура ішіндегі* деп аталады. Периодтық синусоидті және синусоидті емес сигналдарға қатысты (14.1-сурет, б) және бірдей T периодты екі синусоидті емес сигналдарға, олардың Δt уақыттық ауысуы деген (кешігу) тұжырым қолданылады. Фазалық ығысуды өлшеу үшін *фазометр* деп аталатын аспаптар қолданады. Бұл жағдайда, осы ығысудың өлшемі ретінде, шығыс сигналы кіріспен салыстырғанда фаза бойынша кешіктірілетін, сызықтық төрт өрістіктер, яғни, фазалық айналғыштар қолданылады. Фазалық ығыстырғыштар реттегіш және реттелмейтін болып бөлінеді.

Фазалық ығысу шамасын бағалау үшін келесі өлшеу әдістері қолданылады: осциллографиялық, өтемік, фазалық ығысудың сигналдарының жиілігін түрлендіру арқылы, дискретті немесе цифрлық есептің ток импульстарына түрленуі.

14.2. Осциллографиялық әдіс

Фазалық жылжуды осциллографтың көмегімен өлшеу үшін үш түрлі әдіс қолданылады:

- 1) сызықтық қашау; жаймалау
- 2) синусоидты немесе эллипс;
- 3) айналмалы.

Бұдан басқа, жартылай шеңбер әдісін қолданады: Сызықтық қашау әдісі экранда бір мезгілде екі сигналды бақылау арқылы жүзеге асады (14.1-сурет). Бұл үшін (Y кірісі) сәулесінің тік ауытқу кірісіне сигналдар бергенде екі сәулелі осциллограф пайдалануға болады. Сонымен қатар, егер оның Y кірісіне электронды коммутатор арқылы кезекпен зерттелетін сигналдар беретін болса, бір сәулелі осциллограф қолданылады. Осындай және басқа да жағдайларда осциллографтардың көлденең қашауы сигналдардың бірімен үйлестірілген болу керек. Δt және T уақытша кесінділерін өлшеп, фазалық ығысу сигналдарын радандағы берілген формула бойынша (14.1) немесе градус бойынша келесідей есептейді:

$$\Delta\varphi = 360 \frac{\Delta t}{T}. \quad (14.2)$$

Берілген әдісте Дф фазалық ығысуы қателікесін өлшеу $\pm(5-7)^\circ$ жақын және сызықсыздық қашауға негізделген, Δt және T өлшеу интервалдарының нақты еместігі, сондай-ақ, осінің жағдайын анықтау қателіктерін т.б. негізделген. Синусоидальді қашау немесе эллипс әдісі, бір сәулелі осциллографтың Y кіруіне бір сигнал бергенде, ал екіншісін X электрондық сәуленің ауытқуы арқылы жүзеге асады. Бұл ретте осциллографтың қашау генераторы өшірулі болуы тиіс.

X және Y кірісіне тиісті сигналдар берілді делік $u_1(t) = u_1 =$

$$U_{m1} \sin at \quad \text{и} \quad u_2(t) = u_2 = U_{m2} \sin(at + \phi),$$

Олар үшін фазалық ығысу $D\phi = \phi$ (бұдан әрі $u_1(t)$ және $u_2(t)$ мәні үшін, t аргументі барлық жерде түсірілетін болады. Сәуленің экрандағы көлденең және тігінен лездік ауытқуы келесі формулалармен жазылады:

$$x = h_x U_{m1} \sin \omega t = a \sin \omega t; \quad (14.3)$$

$$y = h_y U_{m2} \sin(\omega t + \phi) = b \sin(\omega t + \phi), \quad (14.4)$$

мұндағы h_x және h_y — сәуленің тік және көлденең ауытқуына осциллографтың сезімталдық коэффициенттері; a және b — сәуленің ауытқу амплитудасы.

Осциллограф экранында сәулемен сызылған фигураның формасын анықтау үшін оның аналитикалық сипатын табамыз. Бұл үшін (14.3) және (14.4) формулаларынан айнымалы t алып тастау жеткілікті және содан кейін y ауытқуын x шамасынан тәуелді етіп ұсыну:

$$\sin \omega t = \frac{x}{a}, \quad \cos \omega t = \pm \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2}; \quad (14.5)$$

$$y = b \sin(\omega t + \phi) = b(\sin \omega t \cos \phi + \cos \omega t \sin \phi). \quad (14.6)$$

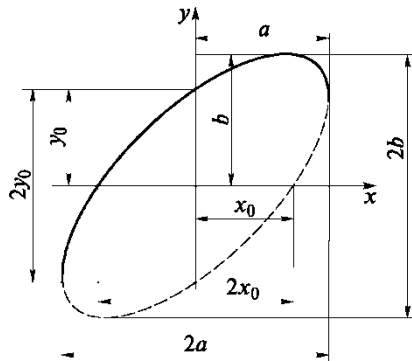
Формулары (14.5) формуласына (14.6) ауыстырғаннан кейін келесі:

$$y = \left(\frac{b}{a}\right) \left(x \cos \phi \pm \sqrt{a^2 - x^2} \sin \phi\right), \quad (14.7)$$

эллипстің белгілі тендеуін білдіретін өрнекті аламыз. 14.2-суретте фазалардың айырмашылығын эллипс әдісімен өлшеуді көрсетеді..

Екі сегменттің фазалық ығысу шамасын анықтаймыз. 14.2-суретте көрсетілген үздіксіз және штрих сызықтармен берілген эллипс бөліктеріне, түбір алдында «плюс» және «минус» таңбалары тұратын (14.7) өрнегі сәйкес келеді. y_0 және x_0 кесінділердің шамалары (14.7) өрнегінен алынған, егер

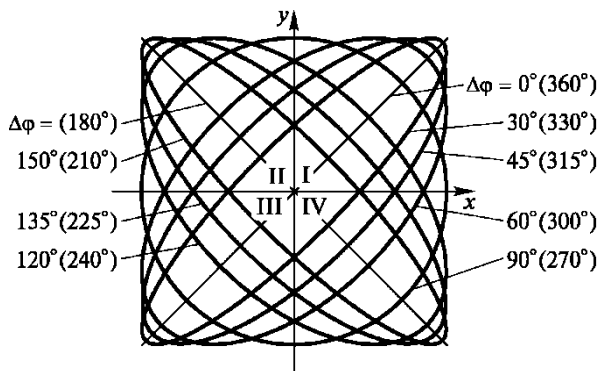
14.2-сурет. Фазалық айырмашылықты эллипс тәсілімен өлшеу



$x = 0$ үздіксіз сызық, ал штрихталған сызықтар үшін $y = 0$, т.е. $y_0 = b \sin \varphi$, $x_0 = a \sin \varphi$. Осыдан фазалық ығысу шыққан

$$\Delta \varphi = \varphi = \arcsin \left(\frac{y_0}{b} \right) = \arcsin \left(\frac{x_0}{a} \right). \quad (14.8)$$

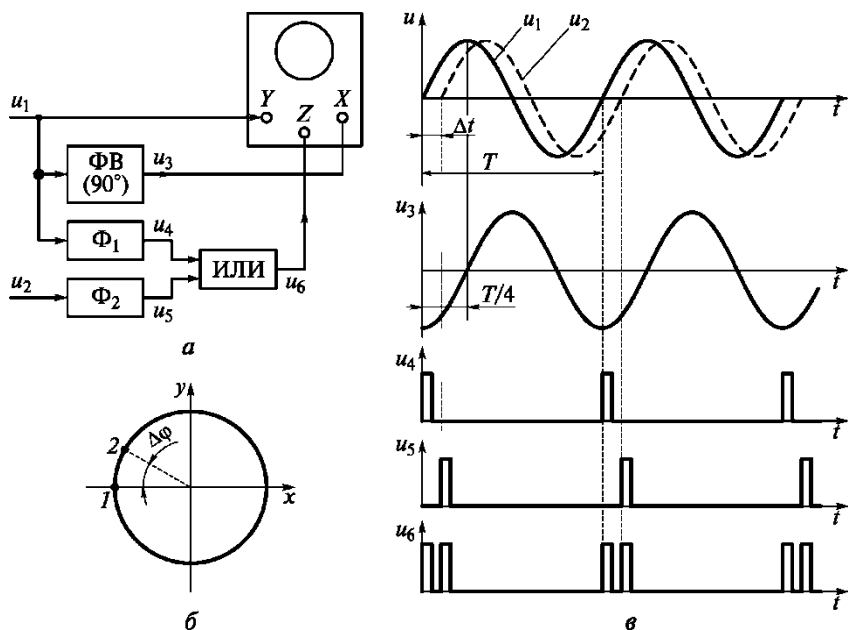
Дф фазалық ығысуды өлшеу алдында, әдетте, экранда b және a (14.2-сурет) амплитудаларын теңестіреді. Ол үшін u_1 и u_2 сигналдарын X және Y осциллограф кірістерінен кезекпен өшіреді, h_x немесе h_y сезімталдық коэффициентін реттеу арқылы $y_0 = x_0$ болғанда, $b = a$, теңеуіне қол жеткізеді. Экранда $2y_0$ және $2b$ (немесе $2x_0$ және $2a$), кесінділерін өлшеп, олардың қатынасын (14.8) формулаға салып, Дф табады. Эллипс әдісі фазалық ауытқуды 0 ден 360° дейінгі диапазонда нақты анықтауға мүмкіндік бермейді. Бұл Дф түрлі мәндері үшін ұсынған 14.3-суреттегі осциллограммнан жақсы көрініп тұр.



14.3-сурет. Түрлі фазалық ығысудағы осциллограмм үлгілері I , II , III и IV — осциллограммның квадранттары

Егер сигналдардың біреуін осциллографқа кірісіндегі фаза айналдырғыш арқылы 90° қосып және осциллограмдағы өзгерісті талдаса, фазалық ығысуды өлшеудің дәлірек нәтижесіне қол жеткізуге болады. Айталық, $\Delta\varphi = 60^\circ$ немесе 300° фазалық ығысуына сәйкес келетін осциллограм бар делік. Енді фаза айналдырғыш арқылы Y кірісіне u_2 сигналын берсек, фазалық ығысу 150 немесе 30° тең болады. 14.3-суреттен көріп тұрғанымыздай, осциллограмның $\Delta\varphi = 60^\circ$ кезінде I және III квадрантынан III және IV, квадрантына көшсе, онда $\Delta\varphi = 300^\circ$ кезінде I и III квадранттарына қалады. Эллипс әдісімен екі синусоидті сигналдар арасындағы фазалық ығысуды өлшеудегі қателікке, (14.8) өрнектің кіретін сегменттерінің кесінділерінің ұзындығын өлшеудің дәлдігіне және осциллограф экранындағы шоғырланудың дәлдігіне тәуелділігін табады. Бұл себептер, өлшеу дәлдігіне әсері көбейген сайын, фазалардың ығысу жиілігі 0 немесе 90° жақындайды. Сонымен қатар, бұл жағдайда, сәулелердің тік және көлденең ауытқуын күшейтетін арналарының фазалық ығысуынан, жүйелі түрде болатын өлшеу қателікесі де бар. Бұл қателікесені азайту үшін өлшеуді бастар алдында келесі әрекетті жасайды. Зерттелетін сигналдардың біреуі тікелей осциллографтың Y кірісіне беріледі, сондай-ақ, X —кірісіне реттелетін фаза айналдырғыш арқылы беріледі. Бұдан әрі, фаза айналдырғыштың баптағышын өзгерту арқылы, көлбеу түзу сызықтың экрандағы осциллографтарына қол жеткіземіз. Содан кейін осы параметрді сақтап тұрып, фаза ауыстырғыштың кірісіне екінші сигнал қолданылады (біріншісін алдын ала ажыратып) және сигналдардың фазалық ығысуына қажетті өлшеу жүргізіледі.

Дөңгелектен қашау әдісі фазалық ығысуды 0 -ден 360° дейінгі шегінде өлшеуге мүмкіндік береді. Әдістің мәні 14.4-суретте көрсетілген $u_1 = U_{m1}\sin\omega t$, және $u_2(t) = U_{m2}\sin(\omega t - \Delta)$ сигналдарының аралығындағы фазалық ығысуды өлшеу үшін, схемалармен және эпюралармен суреттеледі. Осциллографтың қашау генераторы алдын ала өшіріледі де Y және X кірісіне фазаға қатысы бойынша 90° (ФВ — қосымша фаза ауыстырғыштың көмегімен) кідірілген сигналс u_1 және u_3 (14.4, а-сур.) беріледі. Электрондық сәуленің осциллограф экранындағы көлденең және тігінен бірдей ауытқуында, шеңбер түріндегі (14.4-сурет, б).осциллограммасы байқалады. Талданып отырған u_1 және u_2 сигналдары да u_4 және u_5 (14.4-сурет, в) қысқа бірполярлы импульстердің тізбектілігіне бірдей құрастырушыларының синусоидальді тербелістердің түрленуін жүзеге асыратын Φ_3 и Φ_2 , кірісіне түседі. Бұл импульстердің алдыңғы фронттары, олардың ұлғайған кезіндегі, синусоидтың нөлдік



14.4-сурет. Айналма қашау әдісі:
 а — өлшеу схемасы; б — осциллограмма; в — сигнал эпюралары; 1 және 2 — жоғары жарықтылық таңбасы.

мәні арқылы ауысу сәтіне сәйкестенеді. Импульстік u_4 және u_5 сигналдары ИЛИ логикалық схемасының көмегімен біріктіріледі. Оның екі импульстік тізбектер түріндегі шығу импульстік u_6 сигналы, осциллограф сәулесінің жарықтығына Z басқару элементінің кірісіне беріледі. Нәтижесінде, В1 және 2 шеңбер нүктелерінде жоғары жарықтылық таңбасы пайда болады (14.4-сурет, б).

Дф Фазалық ығысуды u_1 және u_2 сигналдары арасындағы өлшеу процесі 14.4, б суретте түсіндірілген. Фазалық ығысу шамасының есебі, орталығы шеңбердің ортасына ұштастырылатын ашық түсті транспортірдің шкаласымен есептеледі. Бұл әдістің негізінде келесілер бар:

Осы өлшеу әдісінің қателікесі, шеңбердің қалыптасу дәлдігіне және оның орталығын анықтауға байланысты, сондай-ақ, қалыптастырушыны жасап шығарудың сәйкестік дәрежесін және транспортірдің көмегімен $\Delta\phi$ бұрышын өлшеу дәлдігін анықтайды.

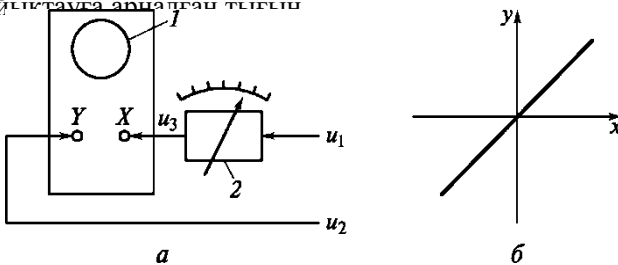
14.3. Өтемдік әдіс

Өтемдік әдістің мәні, өлшенетін фазалық ығысуды, өлшеуіш фаза айналдырғыштың көмегімен жасалатын фазалық ығысудың белгілі шамасымен салыстыру. Осы әдісті және оның экрандағы көрінісін жүзеге асыратын өлшеу қондырғысының құрылымдық схемасы 14.5-суретте берілген. Схема өлшеу 1 фаза ауыстырғышын және фазаны теңестіру 2 индикаторын қамтиды, бұл жағдайда өшірілген генератор қашауымен осциллограф қолданылған. Сигнал u_1 осциллографтың Y кірісіне фаза айналдырғыш арқылы беріледі, ал u_2 сигналы X кірісіне - тікелей осциллографқа беріледі.

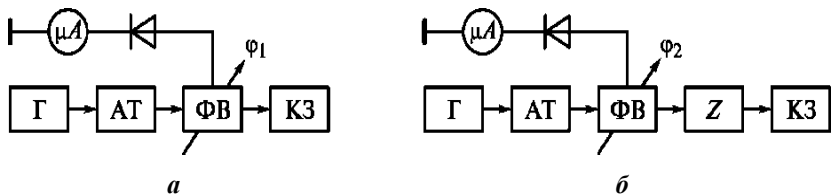
Фазалық ығысу $\Delta\phi$, u_1 және u_2 екі сигнал арасында i_3 (сөйлем аяқталмай қалған сияқы)

Экранда көлбеу түзу сызық пайда болғанға дейін фаза айналдырғыштың көмегімен, қосымша сигналдың фазасын өзгерту арқылы анықталады (14.5-сурет, б), яғни, u_2 и i_3 сигналдарының фазасының теңесу сәтіне дейін.

Бұл жағдайда фазалық жылжу $D\phi$ фазалық ығысу шамасы фаза айналдырғыш шкаласы бойынша оқылады. Дәлірек өлшеу үшін, осциллограф сәулесінің тік және көлденең ауытқуларының күшейткіштері шығаратын фазалық ығысудың мүмкін теңсіздігін тексеріп және өтеу қажет. Бұл процедура бұрын көрсетілген эллипс әдісін қарастыру кезіндегідей тәртіпте орындалады. Осы әдістегі өлшеу қателікесі негізінен фаза айналдырғыш шкаласының градуировкалау сапасымен анықталады және $0,1-0,2^\circ$ дейін жетеді. Өтемдік әдіс әртүрлі құрылғылармен (сүзгі, толқынды волновод кесіндісі және т.б.) пайда болатын фазалық ығысуын өлшеу үшін СВЧ микротолқынды диапазонда да қолданылады. Өлшеу процесін 14.6-суретте көрсетілген құрылымдық схемалармен түсіндіруге болады. 14.6, мұндағы Г — СВЧ генератор; АТ — шешуші аттенюатор; ФВ — өлшеуіш СВЧ-фаза айналдырғыш; Z — сыналатын құрылғы; КЗ — қысқа тұйықталмағандық арналар тізбегі



14.5-сурет. Өтемдік әдіспен фазалық ығысуды анықтау: а — схема; б — экрандағы түрі; 1 — фаза



14.6-сур. Фазалық ығысуды СВЧ: диапазонында өтемдік әдіспен өлшеу
a — бастапқы орнату схемасы; *б* —өлшеу схемасы

Өлшеу процесі екі кезеңде жүзеге асырылады. Алдымен 14.6, *a* суретте көрсетілгендей бастапқы орнату жинақталады. Генератор қосылған кезде трактта тұратын толқын орнатылады. Фаза айналдырғыштың еркін кимасына диод пен индикатордан тұратын зонд енгізіледі. Фаза айналдырғышты қайта құру арқылы тұратын толқын кернеуінің торабына зонд енгізу жолымен жазықтық кимасын алады. Ұштастыру кезеңі индикатордың нөлдік көрсеткіші арқылы орнатылады. Бұл жағдайда фаза айналдырғыш шкаласынан ϕ_1 фазалық бұрыштың көрсеткіші есептеледі. Одан кейін 14.6, *б* суретте көрсетілгендей қондырғы жиналады (өлшеу схемасы, фаза айналдырғыш пен қысқа тұйықталуға арналған тығынның арасында онда *Z* сынақ құрылғысы салынған).

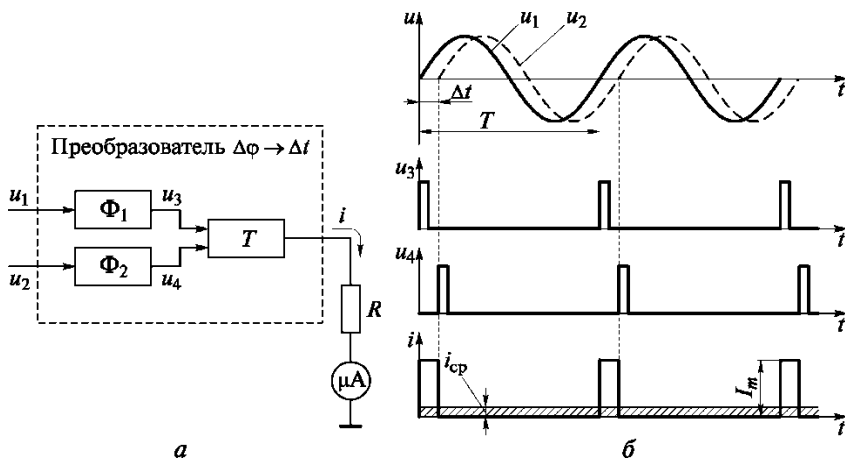
Сонымен қатар, трактте микротолқынды СВЧ-тербелісін тарату жолында кернеу торабы ауыстырылады. Фаза айналдырғышты қайта орнату арқылы (индикатордың нөлдік көрсеткіші бойынша) қайтадан тұрған толқынның кернеу торабын зонд қимасының жазықтығымен қол жеткізеді. Фаза айналдырғыш шкаласынан жаңа тың ϕ_2 көрсеткіштер есептейді. *Z*, құрылғысымен енгізілген қажетті фазалық жылжу, келесі формула бойынша табылады:

14.4. Фазалық ығысуды ток импульстеріне түрлендіру әдісі

$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$.

Фазалық ығысудың түрленуін ток импульсіне ауыстыруды жүзеге асыратын құрылғының құрылымдық схемасы мен түсіндірме эпюралары 14.7-суретте көрсетілген.

Құрылғының құрамына $\Delta\varphi \rightarrow$ фазалық ығысуы Δt және ИП уақыт аралығы $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ түрлендіргіші кіреді. Түрлендіргіш екі бірдей Φ_x және Φ_2 қалыптастырғыштардан және *T* триггерден тұрады. Қалыптастырғыштардың әрекет ету принципі келесі кіші бөлімде сипатталған. 10.5 (10.8-суретті қараңыз).



14.7-сурет. Фазалық ауысуды ток импульстарына түрлендіру әдісі:
а — құрылғының схемасы; **б** — сигналдар эиоры

Флоразды жылжуын өлшеудің осы әдісінің мәні келесідей.

Белгілі фазалық жылжуы бар, u_1 және u_2 импульстарының синусоидалы сигналдары, оларды қысқа импульстардың u_3 және u_4 тізбектеріне түрлендіретін (14.7-сурет, б) F3 және F2 бірдей қалыптастырғыштарға беріледі, u_3 импульстері іске қосу үшін, ал, u_4 импульстері Т триггерді бастапқы күйіне келтіруге қызмет етеді. Нәтижесінде, қайталану кезеңі мен ұзақтығы Т кезеңіне тең және уақытша ығысу Δt және u_1 мен u_3 зерттелетін сигналдарына тең

триггердің шығуында, кернеу импульсінің мерзімді тізбегі пайда болады. Осы импульстер рИ өлшеуіш аспабымен жалғанған R резисторына түскен кезде, i импульстік тогының тізбегіне ұқсас кезеңмен, ұзақтығымен және кейбір I_m амплитудасымен түрленеді (14.7-сурет, б).

Магнитті-электр жүйесіндегі рИ, ағымдағы i -дің оның дәйектілігі Т кезеңінде орташа мәніне жауап беретін ИП ретінде жиі микроамперметр пайдаланылады.

S және i_{cp} - аспаптың сезімталдығы және оған сәйкес келетін токтың орташа мәні болсын делік. Онда α аспабының көрсеткішін келесідей формуламен табуға болады:

$$\alpha = S i_{cp} = S \frac{1}{T} \int_0^{\Delta t} I_m dt = S I_m \frac{\Delta t}{T}.$$

(14.2) мәнін есептеумен *өрегіні аламыз*

$$\alpha = S I_m \frac{\Delta \phi}{360},$$

Мұнда $\Delta \phi$ — фазалық ығысу.

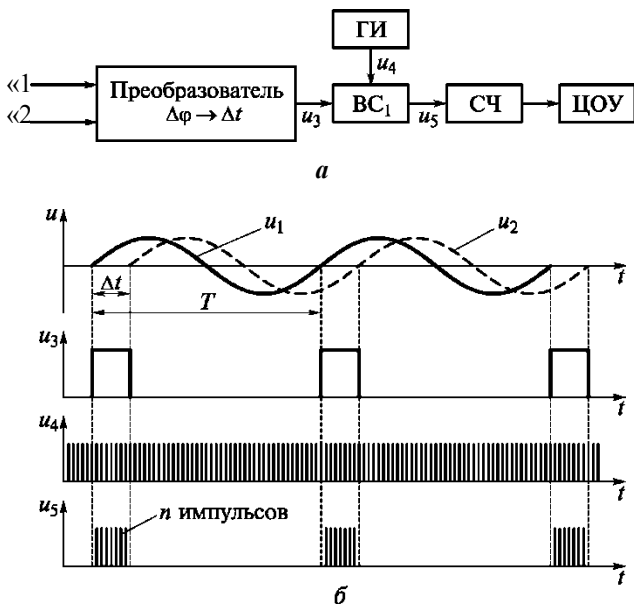
Сезімталдығы S және амплитудасы I_m тұрақты, онда микроамперметрдің шкаласын градустарда тікелей аяқтауға болады. Фазалық ығысудың өлшенген мәні- өлшеу уақытының орташа мәні болып табылады. 200 кГц-ге дейінгі жиілікте өлшеу қателікесі $(0,5 \pm 0,15\Delta\varphi)^\circ$, ал 1 МГц-ке дейінгі жиілікте $(1 \pm 0,02\Delta\varphi)^\circ$ тең.

14.5. Дискретті есеп әдісі

Сандық фазометрде қолданылатын дискретті есеп әдісіне (нақты атауы-фазалық ығысуды өлшеудің сандық әдісі) негізгі екі операция жатады:

- 1) фазалық ығысудың тиісті уақыт интервалына айналуы;
- 2) Дискретті есеп әдісімен уақыт аралығын өлшеу.

Сандық фазометрдің құрылымдық схемасы бойынша дискретті есеп әдісін жүзеге асыруды қарастырайық (14.8-сурет, а), құрамына $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ түрлендіргіші кіреді $\Delta\varphi \Delta t$ қажетті фазалық ығысуынан $\Delta\varphi$ тұрады, Δt интервалындағы уақыт селекторы BC_1 есептік импульсінің генераторы ГИ, СЧ есептегіші және сандық ЦОУ құрылғысы.



14.8-сурет. Фазалық ығысуды сандық өлшеу әдісі
а — құрылымдық схема; **б** — сигналдарының
 эюрылары

$\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ түрлендіруіндегі құрылғы мен жұмыс принципі 14.4-кіші бөлімде қарастырылады. Уақыт селекторы негізгі логикалық схеманы білдіреді. Есептік импульстік генератор тұрақты жиіліктегі гармоникалық тербелістердің кварцтық осцилляторынан және импульсті қалыптастыру схемасынан тұрады. Сандық фазометр келесідей жұмыс істейді.

$\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ түрлендіргіші оның кірісіне u_1 және u_2 берілетін синусоидалы сигналдары, Δt ұзақтығы бар және T , қайталау кезеңі бар, сигналдардың уақыты мен мерзіміне тиісінше ығысуына тең

$D\varphi$, фазалық ығысуына ие тікбұрышты импульстардың u_3 тізбегін қалыптастырады (14.8, б суретте сигналдар эпюрасын қараңыз).

BC_3 уақытша селектордың кірісіне генератор арқылы шығарылатын импульстер u_3 , сондай-ақ, импульстерді есепке алу u_4 , қолданылады. Бұл селектор Δt ұзақтығына тең уақыт бойы ашылады, ол импульстердің u_3 , кезінде және осы уақыт ішінде генератордың импульстарын u_4 -ке енгізеді.

Мұнда, BC_3 селекторының шығарылымында T кезеңінен кейінгі импульстердің u_5 , пакеттері құрылады.

u_1 және u_2 сигналдарының T қайталануының бір кезеңінде селектордың шығу есептегішіне бір пакеттегі импульстар саны түседі.

$$n = \frac{\Delta t}{T_0},$$

мұнда T_0 — генератордың импульстерін есептеу кезеңі.

(14.9) формуласына қатынасын алмастыру үшін (14.2) формуласына қатысты Δt формуласынан n және u_2 сигналдардың өлшенген фазалық ығысуына арналған өрнек табамыз:

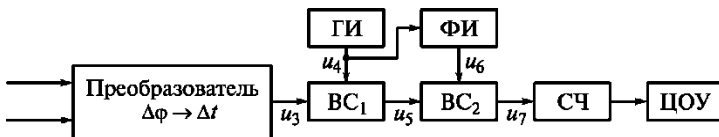
$$\Delta\varphi = n360 \frac{T_0}{T}.$$

Фазалық $\Delta\varphi$, көрсеткіштері градусардан оқылатын есептеуіштен сандық есептік құрылғымен берілетін фазалық ығысуына пропорционал кодтық сигнал. Осындай сандық фазометрдің қателікесі дискретизациялық қателіксе және аспаптық қателікесімен анықталады. **Дискретизация қателікесі** Δt - уақыт аралығын есептік импульстерді нақты бір кезеңінде өлшеуге болатындығына байланысты.

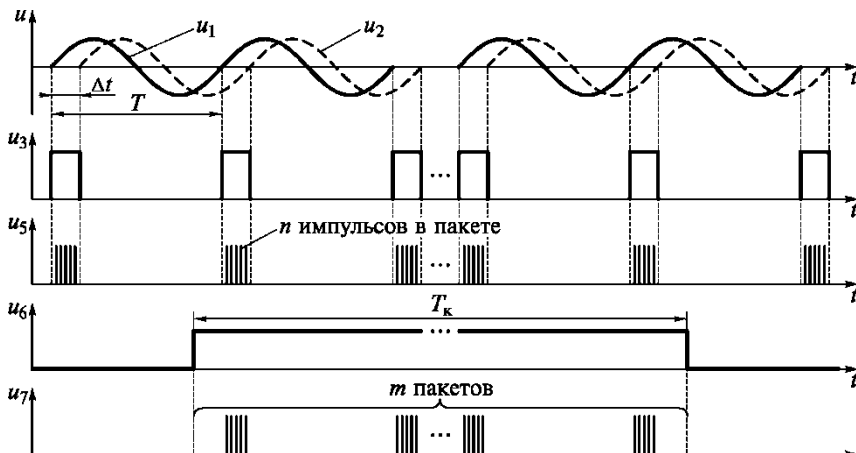
Аппаратуралық қателіксе $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ түрлендіргішінің триггерін жасау уақытының тұрақсыздығымен анықталады.

Қателікесені азайтуға **орташа мәнді фазометрлерді** қолдану арқылы қол жеткізуге болады, өлшеу нәтижесі - көптеген T кезеңдер үшін өлшенген фазалық ығысудың орташа мәні болып табылады.

Сандық фазометрдің орта мәндегі құрылымдық схемасы түсіндірме эпюрларымен бірге 14.9-суретте берілген.



a



$N = nT$ импульстері

б

14.9-сурет. Фазалық ығысуды фазометрмен орташа мән әдісімен өлшеу:
 а — құрылымдық схема; б — құрылымдық схеманың эюрлары

Алдында қарастырылған фазометрдің схемасына қарағанда (14.8-сурет, а) 14.9-суреттегі схемаға екінші уақытша BC_2 селекторы мен ФИ импульстік қалыптастырғышы енгізілген.

Фазометрдің жұмыс істеу принципін, оның алғашқы екеуі бұрын қаралған, функционалды түрде аяқталған құрылғыларды бөліп, талдау ыңғайлы. Олардың қатарына фазалық $\Delta\phi \rightarrow \Delta t$ түрлендіргіштер жатады, Δt уақыт аралығындағы u_1 и u_2 екі синусоидалды сигнал, қалыптастыратын импульстік сигнал U_3

(14.9-сурет, б), сондай-ақ, Δt интервалындағы $\Delta t \rightarrow n$ түрлендіргіші, n импульсінің сәйкесінше (пакет) саны аралықта. Импульс пакетін u_5 қалыптастыратын $\Delta t \rightarrow n$, түрлендіргіші импульстер генераторынан және ВQ уақытша селекторынан тұрады. Бір пакеттегі n импульстің номиналды саны мәнмен анықталады (14.9).

Өлшеу нәтижесін орташа есеппен алу үшін импульстік пакеттер құрылғыға беріледі, осындай m пакеттермен калибрленген уақыт аралығы $T_k \gg T$, мұнда T - зерттелген сигналдар u_1 және u_2 қайталану кезеңі

(14.9) Құрылғының құрамына T_k ұзақтығымен және уақытша селектор BC_2 импульстік қалыптастырушысы кіреді.

Импульстік қалыптастырушының схемасы импульстердің жиілігін бөлу базасында K_d импульстердің бөлу коэффициентімен құрылған. Оның кірісіне импульстер T_0 , импульстер генераторынан қайталау кезеңімен түседі (14.9, б суретте осы импульстер пачкада көрсетілген), Солай бола тұра импульсті қалыптастырғыштың шығуында i_6 импульсі қалыптасады, ұзақтығы

$$T_k = K_d T_0.$$

Бұл импульс уақытша ВС селектрін ашуға арналған. Импульстің ұзақтығы кезінде селектрлық шығыс арқылы w_5 , пакеттер сериясының қатары өткізіледі, олардың санын келесі формула бойынша есептеуге

14.9, б суретте көрсетілген BC_2 , селекторының шығысындағы импульстік сигнал, i_6 арқылы ЦОУ сандық есептік құрылғысымен байланысқан есептеуішке түседі. (14.8), (14.9) және (14. 10) өрнектерін есептей отырып, осы есептегішке түскен импульстердің жалпы саны

$$T_k = K_d T_0. \tag{14.10}$$

Осыдан бастап формула бойынша u_1 және u_2 сигналдарының өлшенетін фазалық ығысуын табуға болады.

$$m = \frac{T_k}{T} = K_d \frac{T_0}{T}. \tag{14.11}$$

(14.11) өрнегінің коэффициенті берілген аспап үшін k тұрақты және 10^{-a} , тең таңдалады, мұнда a - бүтін сан болып табылады. Сонымен қатар, фазалық ығысудың шамасы ЦОУ шкаласында градустармен көрсетілген.

u_1 неғұрлым үлкен болса, онда k , коэффициентімен анықталатын фазометрдің шешуші қабілеті жоғары болады. k , фазометрде (14.9, а суретті қараңыз), импульстік генератор мен зерттелетін сигналдар u_1 және u_2 өзара синхрондалмайды. Осыдан кейін ± 1 пульстегі бір пакеттегі санау серпіндерінің номиналды санының өзгеруі мүмкін (дискретизация қатесі) және T_k , уақыт аралығы ішінде пакеттің бір бөлігін жоғалту, бұл фазометрдің кінәратынан болып табылады. Бұл қателіксізін талдау оның максималды мәні $90/T_k$, екенін көрсетеді, мұнда f - зерттелетін сигналдар жиілігі.

Осыдан U_1 және U_2 сигналдарының ең аз жиілігі f жағдайда фазалық өлшеуіш кінәраты T_k өлшеу уақытын ұлғайту арқылы ғана азайтылуы мүмкін екені белгілі.

Жоғарыда келтірілген себептермен бірге, фазометрді дәлсіздіктер $\underline{u_1}$ және $\underline{u_2}$ сигналдарының серпінін нөлдік деңгейде Φ_1 және Φ_2 қалыптастырғыштары арқылы синусоидальдық пішіннен айырмашылығы және шу кедергісінің фазалық ығысудың уақыт аралығындағы әсеріне ықпал етуі салдарынан дұрыс емес болады. Дегенмен, осы себептердің қателіктері өлшеу нәтижесінің орташа мәні T_0 , уақытының интервалы T_0 , бойынша азаяды, бұл зерттелген T_0 кезеңінен әлдеқайда көп.

Сандық фазометрдің өлшеу қателікесі оның төлқұжатында көрсетіледі. Егер фазометрде қателіксізін аддадивті құрамдас бөлігі болса, онда төлқұжатта оның рұқсат етілген негізгі абсолюттік қателіксізін шегі беріледі, яғни, $\Delta_{\text{адд}} = \pm \Delta\Phi_0$ (мысалы, $\Delta_{\text{адд}} = \pm 0,5^\circ$).

Егер аддитивті және мультипликативті қателіксізін құрамдасы шамаға қарай өлшенсе, онда Φ фазометрінің көрсеткішінен рұқсат етілген қателіксізін шегіне тәуелділігін көрсетеді, яғни, $\Delta_{\text{мпл}} = \pm (\Phi_0 + b\Phi)$, мұнда b — тұрақты сан (мысалы, $A_{\text{мпл}} = \pm (\Phi_0 + 0,01\Phi)^\circ$).

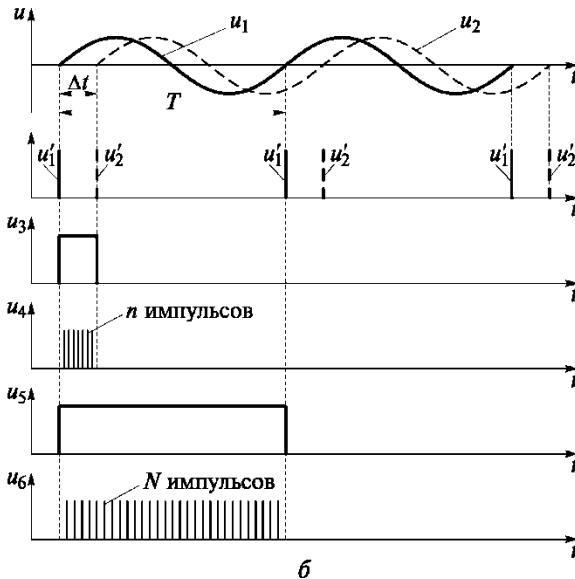
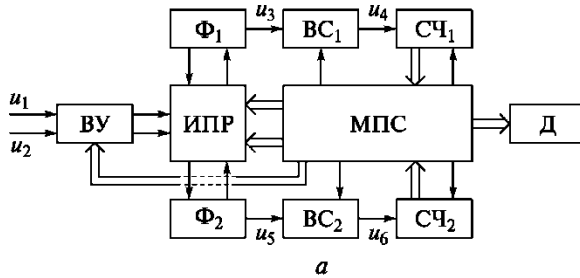
14.6. Микропроцессорлық жүйеге негізделген фазометр

Микропроцессорлық жүйеге негізделген фазометрлер кез келген кезең үшін екі кезеңдік сигналдар арасындағы фазалық жылжуды өлшеуге мүмкіндік береді, осындай ауысулардың ауытқуын бақылайды және олардың статистикалық сипаттамаларын бағалауға болады, атап айтқанда: математикалық күту, дисперсию, ауытқу, орташа квадраттық ауытқу. Микропроцессорлы фазометрлердің құрылымдық схемасы 14.10, а суретте берілген. Бір таңдалған кезеңге T_0 арналған екі синусоидалы сигналдың u_1 және u_2 арасындағы фазалық ығысуын өлшеу принципі, олардың тізбегі суреттегі уақыт диаграммасымен түсіндіріледі (14.10-сурет, б).

Фазометрде импульстік түрлендіргіштің ИПР сигналдарындағы i_1 және \underline{u} кіріс құрылғысы ВУ -дің қысқа импульстарына тиісінше түрлендіріледі. Осы импульстың алғашқы жұбының көмегімен Φ_0 қалыптастырғышында u_1 және u_2 сигналдарының уақытша ығысуына тең A_0 , ұзақтығымен импульс шығарылады. Импульстік i_1 арқылы ВС, уақыт селекторы ашылады, ол A_0 уақыт ағымы ішінде СЧ есептеушінің кірісіне есептік импульстер өткізеді.

T_0 кезеңімен жалғасатын импульстерді есептеп шығып, микропроцессорлық МПС жүйесі арқылы СЧ ге кіруге шығарылады. Импульстардың СЧ кірісіне түсетін пакет, 14.10-сурет, б u_4 арқылы белгіленген. Пакеттегі импульстар саны келесі формула бойынша есептеледі:

$$n = \frac{\Delta t}{T_0} \tag{14.12}$$



14.10-сурет. Микропроцессорлық жүйе негізіндегі фазометр:

а — құрылымдық схема; **б** — уақытша диаграммалар

Бір мезгілде, Φ_2 қалыптастырғышында импульс- u_5 пайда болады, оның ұзақтығы зерттеліп жатқан u_1 және u_2 сигналдарының T кезеңіне тең. Импульс u_5 уақытша BC_2 , селекторға T уақытша ашып, импульстік пакетін u_6 -дан МПС -тен SC_2 кірісіне өткізеді.

Пакеттегі импульстік кезең T_0 , -ге тең, ал олардың саны

$$N = \frac{T}{T_0}. \quad (14.13)$$

Фазалық ығысудың D_f қажетті мәнін бағалау үшін T таңдалған кезеңде төмендегі формулаларымен есептелетін шамалардың қатынасын табу қажет (14.12) и (14.13):

$$\frac{n}{N} = \frac{\Delta t}{T}.$$

Содан кейін формуланы (14.2) ескере отырып, бұл қатынас 360° көбейтілуі керек.

Ақырында келесі формуланы аламыз:

$$\Delta\varphi = 360 \frac{n}{N}. \quad (14.14)$$

Фазаның ығысуын (14.14) өрнегіне сәйкес анықтау, МПС арқылы жүзеге асады

$СЧ_X$ және $СЧ_2$ нөмірлерінің кодтары жиілік реакциясының есептегіштерімен және «және» арқылы жасалады.

МПС жұмысының тиісті бағдарламасымен, кез келген таңдалған T кезең үшін фазалық ығысудың $\Delta\varphi$ мәні D дисплейінде көрсетіледі.

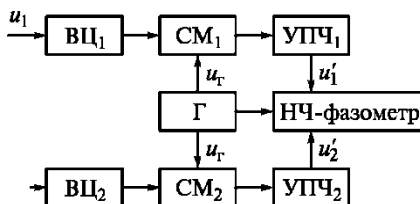
Зерттелетін сигналдардың әртүрлі кезеңдеріндегі осындай ығысуларды салыстыру $\Delta\varphi$ флукутациясын анықтауға және олардың статистикалық параметрлерін бағалауға мүмкіндік береді. Фазометрмен бағалау әдісінде фазалық ығысудың орташа мәні $\Delta\varphi$, берілген Q санының ұзақтығы T санының жиіліктерді есептегіштерінде $СЧ_X$ және $СЧ_2$ жиілігінде кодтар жинақталады. яғни. тиісінше, NQ және NQ кодынан кейін олар МПС -ге жіберіледі.

14.7. Сигналдардың жиілігін түрлендіру арқылы фазалық ығысуды өлшеу әдістері

Фазалық ығысуды өлшеудің бұл әдісі гетеродиндік жиіліктің өзгеруіне негізделген. Зерттеліп жатқан сигналдардың гетеродинді жиілігін түрлендіру, фазалық ығысулар өлшенетін жиілік диапазонын кеңейту үшін қолданылады. Гетеродин жиілігін түрлендірумен фазометрдің құрылымдық схемасы 14.11-суретте берілген.

Мысалға, $ВЦ_1$ және $ВЦ_2$ кіріс тізбектері арқылы гетеродин жиілігін түрлендіргіштің $СМ_X$ және $СМ_2$ араластырғыштарына Γ тиісті сигналдар түседі $u_1 = U_{m1} \sin \omega t$ және $U_2 = U_r = U_{m2} \sin(\omega_r + \varphi_r)$, бір-біріне қатысты фазалық ығысуы бар $\Delta\varphi = \Phi$, және гетеродиннің гармоникалық кернеуі $u_r \equiv U_{mr} \sin(\omega r t + \varphi_r)$.

Нәтижесінде, гетеродин түрлендіргіштің жиілігінен $СМ_1$ араластырғышына импульстер u_1 кірісіндегі кернеу және импульстер әсер етеді.



14.11-сурет. Гетеродинді жиілікті түрлендіру фазометрі с “

u_T , яғни, $(u_1 + u_T)$, ал араластырғышына CM_2 — $(u_2 + u_T)$. Араластырғыштардың әрқайсысында (сызықтық немесе параметрлік каскадтарға сілтеме жасағанда) сомалық айырмашылықтары бар, сарапталатын кіріс сигналдардың және гетеродиннің кернеулерінен құралған комбинациялық жиіліктермен тербелістер пайда болады.

ЕРЕКШЕ ЖИІЛІКТЕГІ АУЫТҚУЛАР ТЕРБЕЛІСІ $Ю_{пр} = Ю - Ю_T$, аралық деп аталады, әр арнаның УПЧ₁ және УПЧ₂ аралық жиіліктің күшейткіштеріне беріледі. Егер гетеродин жиілігін түрлендіргіш фазалық өлшегіште ВЦ₁ және ВЦ₂, СМ₁ және СМ₂, УПЧ₁ және УПЧ₂ бірдей болса, онда қарапайым түрлендірулерден кейін аралық жиілік күшейткіштерінің u_1 және u_2 шығыс сигналдары келесідей ұсынылуы мүмкін:

$$u_1'(t) = k U_{m1} U_{m1} \cos(\omega - \omega_c) t; \quad (14.15)$$

$$u_2'(t) = k U_{m2} U_{m1} \cos[(\omega - \omega_c) t - \varphi]. \quad (14.16)$$

Бұл формулаларда k - сигнал түрлендіру әсерін сипаттайтын тұрақты коэффициенті білдіреді. Оның (14.15) және (14.16) өрнектерінен УПЧ күшейткіштің шығуындағы сигналдардың фазалық ығысуы зерттелетін сигналдардың фазалық ығысуына u_1 және u_2 тең екенін білдіреді. u_1 және u_2 сигналдары фазалық ығысуды аралық жиілікте өлшейтін төмен жиілікті фазометрге беріледі (НЧ-фазометр). u_1 и u_2 сигналдарының кең спектрлі ауқымында өлшеулерді жүргізу үшін реттелетін жиіліктегі гетеродин қолданылады.

Қазіргі уақытта гетеродиндік жиіліктік түрлендірумен, жұмыс істейтін фазометрлер бар, мысалы, 20 Гц ден 20 МГц, дейінгі диапазонда, сондай-ақ, СВЧ 0,1-ден 15 ГГц диапазонында.

Кіші фазалық ығысуды өлшеу үшін жиілік көбейткіштері бар Фазометрлер қолданылады, фазометрде екі бірдей көбейткіштер пайдаланылады, Олардың біреуі u_1 сигналымен, ал екіншісі другой — u_2 . арқылы беріледі. Егер бұл сигналдар фазалық ығысуға $\Delta\phi$, ие болса, онда, X жиілігі n рет көбейтілгеннен кейін фазалық ауысым артады $\Delta\phi_x = n\Delta\phi$. тең болады.

Мұндай фазалық ығысу аз қателіксермен өлшенуі мүмкін:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_x / n.$$

Жиілік Фазометрі сыртқы шудың артуының ықпалымен туындаған қосымша өлшеу қателікесіне ие болуы мүмкін. Осындай шулар, екі көбейткішке де, u_1 және u_2 , сигналдарымен бірге әрекет етеді, бұл сигналдардың әрқайсысының фазасының кездейсоқ ауытқуларына әкеледі. n , көбейту коэффициенті неғұрлым жоғары болса, көбейткіштердің шығуындағы сигналдардың фазалық ығысуының флукуациялары соғұрлым көп болады, және өлшеу қателікесі де көп болады. Өлшеудегі қателікесінің жүйелі түрде болуы, екі көбейткіштегі фазалық сипаттамалардың белгісіздігіне байланысты.

Егер әрбір жиілік көбейткішіне дәл сол сигналды қайталап беретін болса, бұл қателіксіні барынша төмендетуге де болады (мысалы, и), Фазометрдің кері белгімен алынған көрсеткішін келесі өлшеулерді түзету ретінде пайдалануға болады.

Бақылау сұрақтары

1. Электр сигналдарының фазалық жылжуын өлшеудің осциллографиялық әдісінің мәні неде?
2. Микропроцессорлық жүйе негізінде фазометр қалай жұмыс істейді?
3. Сандық фазометр қандай құрылымдық схемаға ие? Оның жұмыс принципі қандай?
4. Өтемдік әдіс көмегімен өлшеу әдісі қандай?
5. Сигналдарының фазалық жылжуын өлшеудің осциллографиялық әдісінің мәні неде?

СИГНАЛДАР СПЕКТРІН ТАЛДАУ. СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС

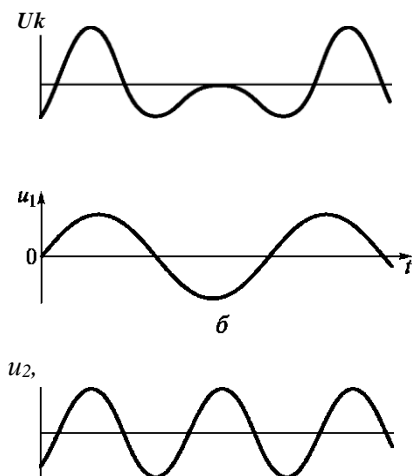
БҰРМАЛАУЛАР КОЭФФИЦИЕНТІН ӨЛШЕУ

15.1. Негізгі мәліметтер

XIX ғ. Басында француз физигі әрі математигі Ж.Фурье кейбір периодтық функцияның уақыттағы кез келген өзгерісін амплитудалары, жиіліктері мен бастапқы фазалары әртүрлі бірқатар гармоникалық тербелістердің ақырғы немесе шексіз жиынтығы түрінде елестетуге (жуықтауға) болатынын дәлелдеді. Атап айтқанда, радиоэлектроникада бұл функция ток немесе кейбір электр тізбегіндегі кернеу болуы мүмкін.

15.1-суретте Ж.Фурьенің пайымдарын дәлелдейтін мысал көрсетілген. Пішіні жағынан жеткілікті күрделі кернеудің периодтық кисығы $u(t)$ (15.1-сурет, а) амплитудасы тең, бірақ жиіліктері мен бастапқы фазалары әртүрлі екі синусоидтың жиынтығын білдіреді (15.1-сурет, б): негізгі $u_1(t)$ (бірінші гармоника) және оған қатысты жиілік жөнінде қосарланған болып келеді (15.1-сурет, в). Анықталған периодтық функцияларды (сигналдар) Ж. Фурье қатарлардың саналуан түрлері - тригонометриялық, кешенді және т.т. бойынша жіктеуді енгізді. Ж.Фурье периодтық емес сигналдардың да оның тура және кері қарай екі түрленімінің көмегімен сипаттауға болатынын дәлелдеді.

Сонымен, пішіні күрделі кез келген периодтық электр сигналын гармоникалық құрамдастардың, амплитуда және жиіліктің жиынығы түрінде елестетуге болады, олар Фурьенің тікелей түрленімі көмегімен анықталуы мүмкін. Бұл гармоникалық құрамдастар спектрін егер абсцисс осі бойымен жиіліктерді таңбалау, ал ординаталар осі бойымен гармоникалар амплитудалары шамасы қалдырылса, графикалық түрде бейнелеуге болады. Спектрді автоматты түрде ажырату



15.1-сурет. Фурье талдауы

a — күрделі тербеліс; $b, в$ — бірінші және екінші жиынтық сигналдар

арнайы аспаптар — спектрді талдауыштардың көмегімен іске асырылады.

Талдауыштардың көпшілігі C4-CN болып таңбалады. Талдауыштардың негізгі метрологиялық сипаттамалары мыналар: айқындылық қабілеті, талдау уақыты және жиілікпен амплитуданың өлшемінің кінәраттары. Осы ұғымдардың мәні әрі қарай түсіндірілетін болады. Тек талдауыштың метрологиялық сипаттамаларының оның схемасымен анықталатынын ғана атап көрсетеміз.

Периодтық емес сигналдарды (функцияларды) спектралдық талдау үшін Фурьенің интегралдық түрлендіру аппараты пайдаланылады. Б Фурьенің периодтық емес (импульстық) сигналдың спектралдық тығыздығын сипаттайтын тікелей түрлендіру мәлім формуласы қолданылады:

$$S(\omega) = \int_0^{T_a} u(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (15.1)$$

мұнда T_a — талдау уақыты.

Алайда талдауыштардың барлық жүйелеріне ортақ, сигналдың спектрін талдаудың дәлдігін шектейтін бір жағдай бар: теориялық тұрғыда Фурьенің тікелей түрлендіруі $-\infty$ -дан $+\infty$ дейін уақыт диапазонында жүргізілуі тиіс, ал шынайы талдау белгілі бір уақыт ішінде жүргізіледі T_a .

Басқаша айтқанда, ағымдағы спектралдық тығыздық талдау уақытына байланысты:

$$S(\omega, T_a) = \int_0^{T_a} u(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (15.2)$$

Ағымдағы спектрдің аяқталған процестің спектрінен айырмасы былай табылады: бақылау кезінде T_a сигналдың барлық тән ерекшеліктері анықталған-анықтамағаны анықталады. Егер талдауыш зерттейтін сигнал T келу кезеңімен жүйелі болса, онда $T_a \gg T$ болуы қажет.

Аналогтік түрдегі барлық дерлік талдауыштарда сигналдың гармоникалық құрамдастарын ерекшелеу тар жолақты сүзгілермен жүргізіледі. Бұл процедура сигналдың қабаттас (бір мезгілде) немесе сабақтас талдау әдісімен іске асырылады.

15.2. Қабаттас талдау әдісі

Сигналдар спектрлерін қабаттас талдау әдісі түрлі жиіліктерге бапталған сүзгілердің (резонанстық құрылғылар) жинағын қолдану есебінен іске асырылады (15.2-сурет).

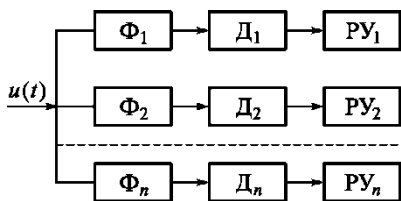


Рис. 15.2. Упрощенная структурная схема анализатора параллельного

Осы кезде зерттеліп отырған сигнал $u(t)$ барлық сүзгілерге бір мезгілде беріле бастайды (15.2 Φ_1 , Φ_2 және Φ_n сурет). Бұл ретте зерттелетін сигнал $u(t)$ барлық сүзгілерге бір мезгілде беріледі (15.2 — Φ_1 , Φ_2 және Φ_n сурет). Сүзгілердің шығаберістегі кернеуі талданатын сигнал спектрінің құрамдастарымен анықталады. Бұдан әрі спектралдық құрамдастар D_1 , D_2 және D_n детекторларынан өткеннен кейін PY_1 , PY_2 және PY_n тіркеуші құрылғыларға түседі.

Сүзгінің өткізу жолағы талдауыштың статикалық айқындылық қабілетін анықтайды ($T_a \gg 8$, яғни T_a үлкен болғанда). Талдауыштың айқындылық қабілеті оның спектрдің жиіліктері жуық гармоникалық құрамдастарын ажырату қабілетін сипаттайды. Сүзгінің өткізу жолағы тар болған сайын айқындылық қабілеті соғұрлым жоғары болады. Өткізу жолағы кең болғанда бірқатар гармоникалық құрамдастар бөлінбейтін болады. Егер айқындылық қабілетін жуық гармоникалық құрамдастардың бөлінуі ықтимал болатын A/p жиіліктер жолағымен бағаланса, онда сүзгінің мінсіз тік бұрышты жиілікті сипаттамасында $A/p = A/\phi$ деп есептеуге болады. Нақты сүзгілер үшін $A/p = 2A/\phi$. Егер сигналды талдау уақыты аз болса, онда қарқынды айқындылық қабілеті туралы сөз етуге болады.

Спектрді дұрыс жаңғыртуға қажетті уақытты шамамен былайша бағалауға болады. Қабаттас зерттеу кезінде талдау уақытын шамамен τ_y , яғни тік бұрышты жиілік сипаттамасы мен жұмыс жолағы A/ϕ бар (белгіленген мәннің 0.1-ден 0.9 дейінгі деңгейіне дейін) сүзгінің шығаберісіндегі $k_{\tau_y} = \frac{0.86}{\Delta f_{\phi}}$, анықтау уақытына тең деп алуға болады. Анықтау уақыты

сайып келгенде, $T_a \approx \tau_y = \frac{1}{\Delta f_{\phi}}$, екені мәлім.

Қабаттас талдау жылдамдығы

$$V = \frac{\Delta f_n}{T_a} = \frac{n\Delta f_\Phi}{1/\Delta f_\Phi} = n\Delta f_\Phi^2.$$

Талдау жылдамдығы сүзгінің өткізу жолағы тарылғанда күрт азаяды. Қабаттас әрекет ететін талдауыштардың қасиеттеріне талдаудың аз уақытын және дара импульстердің спектрлерін тіркеу мүмкіндігін жатқызған жөн. Алайда сүзгілер жүйесінің күрделілігінен мұндай талдауыштар кең таралымға ие болған жоқ.

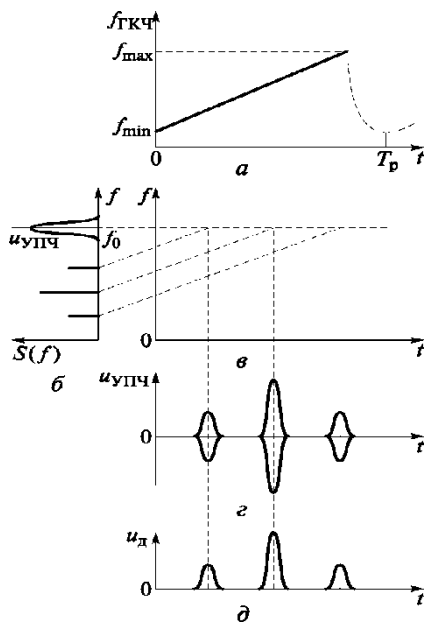
15.3. Сабақтас талдау әдісі

Периодтық сигналдарды зерттеу үшін көбінесе спектрлерді сабақтас талдау әдісі қолданылады. 15.3-суретте сабақтас түрдегі талдауыштың құрылымдық схемасы, ал 15.4-суретте оның қолданылу қағидатын түсіндіретін уақытша диаграммалары көрсетілген.

Сабақтас түрдегі электр сигналдарының спектрін талдауыш кіреберіс құрылғыдан, өзіне араластырғышыт, тербелетін жиілікті генераторды (ТЖГ) (ескірген атауы – свип- генератор) және аралық жиіліктегі тар жолақты күшейткіш (ТАЖК), калибрлеуішті (жиілік таңбаларды өндіреді), квадраттық детекторды, шығаберіс күшейткішті және индикаторлық құрылғыны (әдетте осциллографиялық түтік немесе цифрлық табло) қамтитын супергетеродиндік қабылдағыштан құралады).



15.3-сурет. Сабақтас түрдегі спектрді талдауыштың жеңілдетілген құрылымдық схемасы



15.4-сурет. Сабақтас түрдегі спектрдің талдағышының кернеулері диаграммалары: а — ТАЖК жиілігі өзгеруі; б — зерттелетін спектр және АЧХ УПЧ; в - жиіліктің уақыттағы сызықтық өзгеруі; г — детектордың шығаберісіндегі сигнал на выходе; д — супергетеродиндік қабылдағыш зерттелетін сигнал спектрінің талданатын гармоникалық құрамдастарын уақытта сабақтас ерекшелеу қызметін атқарады. Осы қабылдағышты түрлі жиіліктерге баптау тербелетін жиілікті генератордың шығаберісінен түсетін сигналдың көмегімен жүргізіледі, ол өз кезегінде жаймалау генераторынан іске қосылады.

Талдауыштың индикаторлық құрылғысы зерттелетін сигналдың спектрін бақылауға арналған және шын мәнінде электрондық осциллограф секілді әрекет етеді. Ол өзіне сәулені басқару құрылғылары бар ЭЛТ-ні, тігінен және көлденеңінен ауытқулардың күшейткіштерін және жаймалау кернеуі генераторын қамтиды.

Спектрді талдауыштың әрекет ету қағидаты мәні мынада (15.4-суретті қараңыз). Кіріс сигналы $u(t)$ араластырғышқа кіріс құрылғысы арқылы беріледі. Араластырғыштың екінші кірісіне сигнал тербелмелі жиілікті генератордан беріледі.

15.4. а, б суретте тиісінше ТАЖК жиілігі уақыттағы өзгеріс көрсетілген (оның жиілігінің мәндері жаймалау генераторы кернеуінің өзгерістерімен үйлесімде $U_{ГКЧ}$ f_{min} -нан f_{max} дейін өзгереді), амплитудалық-жиілікті УПЧ и $u_{УПЧ}$ сипаттамалары мен зерттелетін сигналдың спектрі диаграммасы $S(f)$ (диаграммада ол үш гармоническими составляющими, отражающими однотональное амплитудно-модулированное колебание).

Зерттелетін сигналдың және ГКЧ кернеуінің араластырғышына әсер ету нәтижесінде спектрдің құрамдастары $S(t)$ аралық жиіліктер Sf^{\wedge} диапазонына түрленеді. Спектрдің пішіні сигналдың кіріс құрылғысы арқылы беріледі алдын ала сақталады. ГКЧ жиілігі сызықтық өзгергенде түрлендірілген спектрдің құрамдастары жиіліктері де уақытта сызықтық түрде өзгереді және алма-кезек УПЧ өткізу жолағына түседі (15.4-сурет, в). УПЧ кірісіндегі кернеудің мынадай түрге ие болады:

радиоимпульспен ұсынылған (15.4-сурет, г), олардың амплитудалары ТАЖК тұрақты кернеуінде зерттелетін спектрдың құрамдастары амплитудаларына пропорционалды болады.

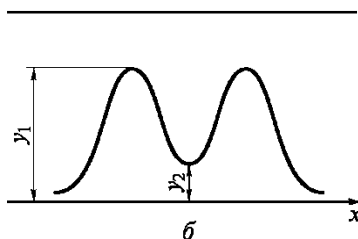
УПЧ шығыстарынан радиоимпульстер квадраттық детекторға беріледі. Детектордың шығысында бейнеимпульстер u_0 туындайды (15.4-сурет, д), олар шығаберіс күшейткіш арқылы ЭЛТ тік ауытқу тілімшелеріне түседі. ЭЛТ көлденең ауытқу тілімшелеріне жаймалау генераторының ара тәріздес кернеуі беріледі. Нәтижесінде экранда зерттелетін сигналдың спектрін бейнелейтін бейнеимпульстер пайда болады. Бұл сигнал $T_p - T_a$ бір жаймалау кезені ішінде осциллографтың экранында бейнеленеді. 15.4-суреттегі диаграммалар спектрдің жапсарлас құрамдастарының жиіліктері айырмасы ТАЖК өткізу жолағы көп үлкен болған жағдайда құрылады, бұл ретте салыстырмалы түрде аз статикалық айқындылық қабілеті болуы ықтимал (яғни $A f$ жиіліктері аралығы үлкен) Тәжірибеде f және f жиіліктері үшін (15.5-сурет, а), экрандағы сигналдар гармоникалары кескіндемелерінің кейбір жабылуына рұқсат етіледі (15.5, б — y_1 и y_2 сурет). 15.5-суретте представлены диаграммы к определению разрешающей способности анализатора спектра.

Статическая разрешающая способность анализатора спектра последовательного типа определяется по формуле (приведена без вывода)

$$\Delta f_p = \sqrt{3} \Delta f_{УПЧ}. \quad (15.3)$$

Спектрдің параметрлері қосалқы құрылғылармен өлшенеді. Жекелеген спектралдық құрамдастар мен спектрдің тән бөліктері жиіліктері осьтеріндегі жағдай жиілік таңбаларымен анықталады. Синусоидалдық тербелістердің өлшеу генераторынан кернеудің зерттелетін сигналымен бірге спектр талдауышының кірісіне беру арқылы бір жиілікті тамға аса қарапайым жасалады .

Бұл жағдайда талдауыш экранында генератордың сигналының жиілігіне сәйкес келетін жиілік тамғасы – сызықіз пайда болады, оның жиілігін өзгертіп, спектрдің анықталатын нүктесімен тамғаны ұштастыруға қол жеткізіледі.



15.5-сурет. Спектрді талдауыштың айқындылық қабілетін анықтау диаграммалары:
а — сигнал спектрі; **б** — ЭЛТ экранындағы спектрлер энюралары

Жиілікті-модулденген сигналдың спектрі бір-бірінен модуляциялау жиілігі шамасына алыс тұрған гармоникалық құрамдастардың қатарынан құралатыны мәлім. Мұнда f_p тербелістердің орташа жиілігін және F_M модуляциялау жиілігін өзгерту мүмкіндігі бар. Модуляциялау жиілігі өзгерген кезде тамғалар арасындағы аралық өзгереді, ал тербелістердің орташа жиілігі өзгергенде барлық тамғалар жиіліктер осінің бойымен жылжиды. Жиілікті-модулденген тербелістер генераторының кернеуі зерттелетін сигналмен бірге спектр талдаушының кірісіне беріледі. Нәтижесінде ЭЛТ экранында екі спектрдің қабаттасуы байқалады. Калибрлеу кернеуі параметрлерін өзгерту жолымен (орташа жиілік және модуляция жиілігі) зерттелетін спектрдің тән нүктелерімен тамғаны ұштастыру жүргізіледі.

Спектрді талдағыштың қарқынды айқындылық қабілеті ТАЖК жиілігін өзгерту (баптау) жылдамдығына байланысты. Кернеуді қайта баптау жылдамдығы ұлғайғанда ТАЖК шығысы кірістегі кернеудің өзгерістерімен өзгеруге үлгермейді, өйткені саралау жүйесінде (мәселен, контурда) жинақталған энергия, мезетте өзгере алмайды. Бұл құбылыс егер ТАЖК-дегі ауыспалы процестің ұзақтығы кірістегі және оның өткізу жолақтарының шегіндегі тербелістер жиілігінің өзгеру уақытымен шамалас болған жағдайда орын алады.

Спектрдің кескіндемесінің динамикалық бұрмаланулары ТАЖК жиілігінің шекті өзгеру жылдамдығын шектейді. Осы жерде талдау уақыты теңсіздікпен анықталады

$$T_a > \frac{\Delta f_{ГКЧ}}{A \Delta f_{ГЧ}^2},$$

мұнда $\Delta f_{ТАЖК} = f_{max} - f_{min}$; A — ТАЖК схемасымен және рауалы динамикалық кінәраттармен анықталатын коэффициент.

Δf_p статикалық айқындылық қабілетін анықтайтын жиіліктер аралығы үшін (15.3) формуланы пайдаланып, талдау уақыты мәнін аламыз:

$$T_a > 3 \frac{\Delta f_{ГКЧ}}{A \Delta f_p^2}.$$

Қазіргі кезде сериялық талдауыштар өткізу жолағы 0,001-ден 300 кГц дейінгі және айқындылық қабілеті 1 кГц 10 Гц-тен 40 ГГц дейін жиіліктер диапазонында жұмыс істеуді қамтамасыз ете алады. Кернеулердің деңгейлерін өлшеу кінәраты 5 % жетеді.

15.2. Талдаудың цифрлық әдісі

Спектрдің цифрлық талдау әдісі зерттелетін сигналды цифрлық кодқа түрлендіруде, сонсоң спектрдің құрамдастарын мамандандырылғын микропроцессорлардың көмегімен есептеуде.

Аналогтік сигналдың дискреттік есептеулері (іріктемелері) жиынтығы бойынша спектрдың цифрлық талдауыштарында (15.1) формуланың интегралын іріктемелердің кейбір санының ақырғы сомасына алмастыру жолымен спектрдың құрамдастарын есептеу жүргізіледі. Мұндай есептеулер Фурьенің дискреттік және жылдам түрлендіруі көмегімен іске асырылады.

Фурье дискреттік түрлендіру алгоритмі. Егер со спектральной плотностью, являющийся непрерывной функцией времени в некотором ограниченном интервале от 0-ден T_n дейінгі біршама шектеулі аралықтағы үздіксіз уақыт функциясы болып табылатын спектралдық тығыздығы $A(\omega)$ (15.6, *a* және *b* сурет) сигнал $U(t)$ N есептер түріндегі Котельников теоремасына сәйкес дискреттік пішінге түрленсе $\{w(MT)\} = \{u\Delta_k\}$ болады, мұнда k — дискреттеу жиілігімен есептеудің реттік нөмірі

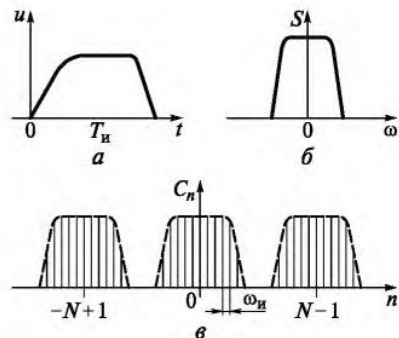
$$\omega_n = \frac{2\pi}{T_n} = \frac{2\pi}{N\Delta t},$$

онда оны Фурьенің дискреттік түрлендіруі (ФДТ) түрінде ұсынуға болады.

Дискреттік торлы функциялардың (ДФ) ақырғы сомалары түріндегі сандық әдістермен алынған сигналдың спектрі (15.2) формуласы бойынша интегралдық түрлендірулермен есептелген спектрден ерекшеленеді.

Үздіксіз сигналдың ФДТ спектрі дүркін-дүркін көбейіп отырады, яғни есептердің келу жиілігіне тең мерзіммен жиіліктер осін бойлап қайталаанады. теореманың талаптарына жауап беретін есептердің саны

$$C_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k e^{-j2\pi n k / N},$$



15.6-сурет. Фурье дискреттік түрлендіру үздіксіз сигналын ұсыну:

a — сигнал; *b* — сигнал спектрі;
в — Котельников ФДТ сигналы

$$v = \frac{T_n}{\Delta t}; \quad n = 0, 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{2} - 1 \right) \quad \text{— спектралдық}$$

құрамдас нөмірі.

Бұл дискреттік сигналдар үшін іргелі арақатынас 15.6, в суреттегі кестеде ұсынылған. Фурье дискреттік түрлендіруі, шын мәнінде, $u(t)$ аналогтік сигналдың берілген u_k дискреттік есептері бойынша C_n спектрдің гармоникалық құрамдастарын цифрлық есептеу алгоритмі болып табылады, бұл ақпаратты өңдеу уақыты мен көлемін едәуір қысқартады.

Фурье жылдам түрлендіруі. Спектралдық функцияның есептеулері көп уақыт шығындарын қажет етеді. Бұл жағдай спектралдық талдаудың цифрлық әдістерін кеңінен таратуға кедергі болды. Есептеулер кезінде операциялар санын көп мәрте қысқаруға ФДТ коэффициенттерінің аса жылдам әрі тиімді цифрлық түрлендіруін қамтамасыз ететін Фурье жылдам түрлендіруі (ФЖТ) мүмкіндік береді.

Бұл алгоритмнің негізіне берілген дискреттік сигнал есептерінің тізбегін бірқатар аралық тізбектерге (кіші тізбектерге) бөлу қағидаты қойылған. Бұл N дискреттер санының бастапқыда көбейткіштерге бөлінетінін білдіреді (мысалы, $N = 8 = 2 \cdot 2 \cdot 2$, $N = 60 = 3 \cdot 4 \cdot 5$). Сонсоң осы аралық тізбектердің спектрлері анықталады және олар арқылы бүкіл сигналдың спектрі болады. Көрсетілген көптіктердің құрамына, санына және келу тәртібіне қарай ФЖТ түрлі алгоритмдерін құруға болады.

Цифрлық техникада екі (4, 8, 16 және т.т.) негізді дәрежесі болып табылатын N есептеу санының мәнімен бірге сигналдық тізбекті өңдеу қолайлы болады. Бұл зерттелетін сигналдың есептерінің кіріс тізбегін аса ұсақ кіші тізбектерге көп мәрте бөлуге мүмкіндік береді.

Есептердің жұп саны ${}^u r = {}^u 2k$; ${}^u_{EN} = {}^u 2k+1$ бар дискреттік сигналдың $\{u(kAt)\} = \{u_k\}$ кіріс тізбектілігінің ФДТ есептеу қажет болса, (15.7-сурет, а), оған қоса $N = 2^r$, мұнда r — бүтін сан (егер бұл шарт орындалмаса, онда тізбектілік жасанды түрде қажетті мәнге дейін нөлдермен толықтырылады N).

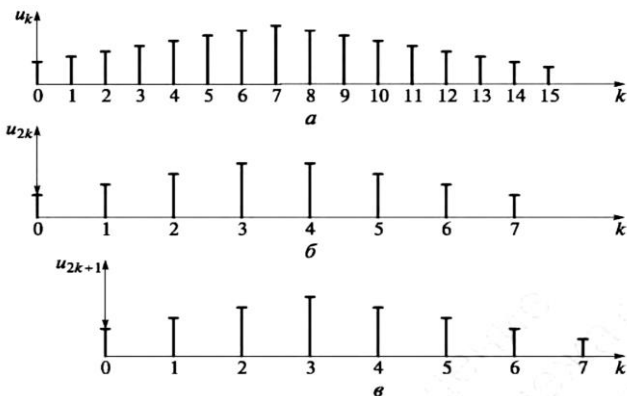
Жұп және тақ нөмірлі және әр тізбектілікте мүшелерінің саны жарты екі кіші тізбектілік түріндегі кіріс тізбектілікті елестетейік (15.7-сурет)

$$u_{\text{ЖТ}} = u_{2k}; \quad u_{\text{НТ}} = u_{2k+1},$$

мұнда $k = 0, 1, 2, (H/2 - 1)$ — гармоника саны.

0-ден $(H/2 - 1)$ есептеу нөмірлері ауқымында кіріс тізбегінің ДПФ мынадай арақатынаспен анықталады:

$$C_n = C_{\text{ЖТ}} + e^{-j2\pi n / N} C_{\text{НТ}}. \quad (15.4)$$



15.7-сурет. Дискреттік сигналдың тізбектілігі және кіші тізбектілігі: а — кіріс тізбектілік; б — жұп нөмірлі кіші тізбектілік; в — тақ нөмірі кіші тізбектілік

$N/2$ -ден $(H - 1)$ дейін нөмірлері бар есептердің кіріс тізбектілігінің Фурье дискреттік түрленімі мына түрге ие болады:

$$C_{N/2+N} = C_{\text{жұп}}, \text{чт} - e^{-j2\pi nN/N} C_{N/4}, \quad (15.5)$$

мұнда $n = 0, 1, 2, (N/2 - 1)$.

(15.4) және (15.5) арақатынастары *ФЖТ алгоритмін* білдіреді. Мұнда $e^{-j2\pi nN/N}$ экспоненциалдық фазалық көбейткіштер жұпқа қатысты дискреттердің тақ кіші тізбектілігінің ығысуының әсерін есепке алады.

Егер есептеулердің санын тағы азайту қажет болса, онда жұп және тақ кіші тізбектіліктер де екі аралық бөлікке бөлінеді. Бөліктеу қарапайым қос элементті тізбектіліктерді алуға дейін жалғасады. Есептердің қарапайым деректерінің ФДТ анықтай отырып, төрт, сегіз элементті ФДТ және қанша керек болса, сонша кіші тізбектіліктерді есептеуге есептеуге болады. Жұп және тақ кіші тізбектіліктердің ФДТ біріктіру үшін (15.4) және (15.5) өрнектері қолданылады, оларда N және n орнына тиісті мәндер қойылады.

(15.4) және (15.5) формулалары бойынша есептеулердің көбейту амалдарын қажет етпейтінін түсіну қиын емес. Бұл формулаларда тек жиынтық сандарды қосу және алу амалдары қолданылады. Көбейту амалдары тек есептер жиымын ұсақ кіші тізбектіліктерге бөлу кезінде әртүрлі n үшін (15.4) және (15.5) алгоритмдерде ескерілуі тиіс. Бірінші бөлуде осы амалдар

саны $N/2$ құрайды. $N/2$ амалдардың саны да әр кезекті бөлгенде орындалғаны жөн. Осылайша, кіші тізбектіліктер саны екі есе артып, (15.4) және (15.5) формулалардағы аса көп n саны екі есе қысқарады.

БЖТ алгоритмдері бойынша N есептерден тізбектіктің ФДТ коэффициенттерін есептеу шамамен $N \log_2 N$ көбейту амалдарын жасауды талап етеді. ФЖТ алгоритмдері $N^2 / (N \log_2 N) = N / \log_2 N$ -дегі ФДТ алгоритмдерімен салыстырғанда амалдар санын есе азайтады.

Атап айтқанда, $N = 2^{10}$ есептер санында $\log_2 N = 10$ ие боламыз және амалдар санын қысқарту $N / \log_2 N = 100$ құрайды. Кіріс сигналының есептерінің көп жиымдары кезінде өңдеу жылдамдығындағы пайда бірнеше мың есеге дейін жетуі мүмкін.

Спектрдің цифрлық талдаушының қолданылу қағидаты параметрлерді анықтаудың есептеу процедураларына және түрлі сигналдар мен процестердің сипаттамаларына негізделген. Цифрлық талдаушының функционалдық мүмкіндіктеріне мынадай алгоритмдер қойылған (15.8-сурет):

1) сигналды оның спектрі бойынша қалпына келтіру, яғни Фурье кері түрлендіру есептеуі;

2) электр тізбектерінің сипаттамаларын талдау және қорыту: шоғырландырылған (тұрақты) параметрлері бар тізбектердің импульстік (тізбектің элементарлық сигналдарға реакциясы), беру және фазалық сипаттамаларын анықтау; Вольперт-Смитт диаграммаларын (үлестірілген тұрақтылары бар тізбектердің сипаттамалары мен параметрлері) талдау; диаграмманы, яғни Найквист тұрақтылық критерийін талдау; кері байланыстар буындары бар тізбектердің орнықтылығы;

3) сигналдарды цифрлық өңдеу және сүзгілеу және спектрлердің көбейтіндісін есептеу;

4) периодтық, импульстік және кездейсоқ сигналдардың спектралдық талдауы; квадратуралық (90° ығысқан) құрамдастарды талдау; спектрдің, фазалық спектрдің, кешенді спектрдің модулін анықтау; кездейсоқ процестің және оның когеренттілік функциясының қуаты спектрін табу; өзара спектрді есептеу; жиіліктер жолақтары бойындағы спектрлі орталау; мультипликативтік сигналдардың сызықтық талдауы;

5) сигналдар параметрлерін өлшеу (амплитуданы, жиілікті, фазаны, сигналдар жиілігі модуляциясы және девиациясының (ауытқуы) коэффициенті немесе индексі; определение параметров импульстік сигналдар параметрлерін — алдыңғы және артқы қапталдар амплитудасын, ұзақтығын, ұзындықтарын, келу кезеңдерін және т. т. анықтау);

6) анықталған және кездейсоқ сигналдарды корреляциялық талдау; корреляциялық және өзара корреляциялық функцияларды анықтау; екі сигналдың фазалық арақатынастарын анықтау (сигналдарды сәйкестендіру);

7) кездейсоқ процестердің статикалық сипаттамаларын талдау; сигналдардың мезеттік мәндерінің гистограммаларын құру (бағаналы



15.8-сурет. Заманауи цифрлық спектрді талдауыштың функционалдық мүмкіндіктері

шамаларды бөлу); кездейсоқ процестерді, сипаттамалық функцияны бөлудің ықтималдылығы мен интегралдық функциясының бір өлшемді тығыздығын анықтау.

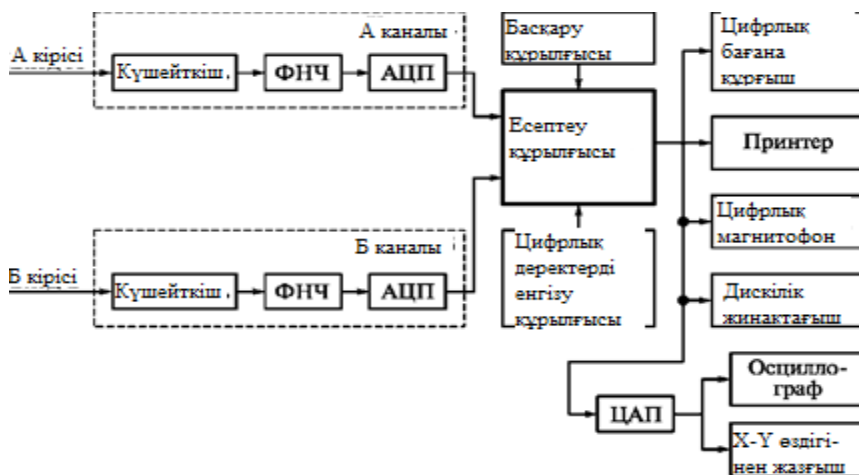
Спектрдің заманауи цифрлық талдаушының құрылымдық схемасы 15.9-суретте келтірілген.

Бір (А) немесе екі (А, Б) каналдар бойынша зерттелетін аналогтік сигналдар келесі трактылардың қалыпты жұмыс істеуіне қажетті стандарттық мәніне (0,01-ден 10 В дейін) кіріс сигналдарының түрлі деңгейлеріне әкелетін айнымалы күшейту коэффициенті бар тиісті күшейткіштерге беріледі. Сонсоң сигналдар төменгі жиіліктер сүзгісіне (ТЖС) түседі, онда талдануы тиіс жиіліктер жолағы бөлінеді. Зерттеушінің пәрменімен сүзгі ажыратылуы мүмкін.

Сүзгілердің шығыстарынан сигналдар аналогтік-цифрлық түрлендіргіштерге (АЦТ) түседі, мұнда олар параллелді он разрядтық екілік кодқа түрленеді. Бір және екі каналдың жұмыс істеуі ықтимал. Соңғы жағдайда сигналдың мезеттік мәндерінің іріктемелері бір мезгілде екі каналдан өтеді, бұл өзара сипаттамаларды өлшеуге қажетті сигналдардың фазалық арақатынастары туралы ақпаратты цифрлық кодпен сақтауға мүмкіндік береді.

Іріктеменің жиілігін кварцты генератор анықтайды және зерттеуші 0,2-ден 100 кГц дейін өзгерте алады. Бұл жиілік аспаптың уақыт және жиілік аймақтарындағы есеп ауқымын анықтайды.

Сигналдың күшейткіштердің кірісінен АЦТ шығысына дейінге жолының барлық диапазондар бойынша беру коэффициентінің калибрленген мәндері болады.



15.9-сурет. Спектрдің заманауи цифрлық талдаушының құрылымдық схемасы 280

Беру коэффициентінің мәні туралы ақпарат және іріктеменің жиілігі цифрлық есептеу құрылғысына (микропроцессорға) енгізіледі және ақырғы нәтижені қалыптастырғанда ескеріледі.

Микропроцессор өзіне қойылған бағдарламаға сәйкес жұмыс істейді. Бағдарлама сол немесе басқа есептеу операциясын ұйымдастыратын бірқатар кіші бағдарламалардан құралады (корреляциялық функцияның спектрін есептеу, гистограмма құру және т.т.). Қажетті кіші бағдарламаны шақыру басқару құрылғысынан іске асырылады. Есептеулер нәтижелері индикаторлық немесе тіркеу құрылғысына шығарылады, ол ретінде цифрлық баған кұрағыш, принтер, цифрлық магнитофон, диск жинақтағыш, осциллограф немесе өздігінен жазғыш қолданылуы мүмкін. Осциллограф пен өздігінен жазғыштың цифрлық аналогтік түрлендіргіш арқылы жалғануы тиіс екенін атап көрсетеміз. Барлық нәтижелер оларды физикалық бірліктерге аудару үшін масштабты коэффициентпен қабат жүреді.

Цифрлық түрде ұсынылған сигналдарды талдау кезінде деректер тікелей ондық кодтағы басқару пультінің жинақ таблосы бар сандық деректердің енгізу құрылғысының көмегімен цифрлық есептеу құрылғысына енгізіледі.

Спектрдің мұндай цифрлық талдауыштарының мынадай жұмыс режимдері болады:

- спектралдық, статистикалық және корреляциялық талдау;
- амплитудалық және фазалық спектрлерді өлшеу;
- электр буындарының беру функцияларын өлшеу;
- екі сигналдың тұқыртпасын өлшеу;
- қуат спектрін, өзара спектрді өлшеу;
- корреляциялық функцияларды өлшеу;
- амплитудалар гистограммаларын өлшеу.

Бақылау сұрақтары

1. Электр сигналдары спектрінің талдауыштары қандай белгілер бойынша жіктеледі?
2. Сигналдардың спектрін қабаттас талдау әдістемесінің мәні неде?
3. Сигналдардың спектрін сабақтас талдау әдістемесі қандай?
4. Фурьенің жылдам түрлендіру әдісінің мәні неде?
5. Сигналдар спектрінің цифрлық талдауышының құрамына қандай элементтер енеді?
6. Рекурсивтік цифрлық сүзгінің жұмыс істеу қағидаты қандай?
7. Сызықтық емес бұрмалаулар коэффициенті қалай анықталады?
8. Сызықтық емес бұрмалаудың аналогтік-цифрлық өлшеуішінің құрамына не кіреді?

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ұқсас электрөлшеуіш аспаптары: оқу құралы/ [Е.Г.Бишард, Е.А.Киселева, Г.П.Лебедев және т.б.]. — М.: Жоғары мектеп, 1991.
2. **Д. И.Белый** Электрөлшеуіш аспаптардың ұқсас өлшеуіштерінің жаңа бағыттары / Д.И.Белый. — ТС-5. — 7-шығ. — М.: Ақпараттық аспап, 1988.
3. Стандарттаудың мемлекеттік жүйесі. Стандарттардың жинағы ГОСТ Р 1.0 — 92, МС Р 1.4 — 93, МС Р 1.5 — 92, ПР 50.1.001 — 93. — М.: Стандарттар баспасы, 1994.
4. **Р.Драхсел** Электрөлшеуіш техниканың негіздері/ Р.Драхсел / неміс тілінен аударма В.Ю.Кончаловскийдікі. — М.: Энергобаспа, 1982.
5. Электрлік және электрлік емес шамаларды өлшеу : оқу құралы/ [Н. Н. Евстихьев, Я. А. Купершмидт, В.Ф. Популовский және т.б.] ; Н. Н. Евстихиева редакциясымен. — М.: Энергоатомбаспасы, 1990.
6. **А. В. Кравцов** Электр өлшемдер/ А.В. Кравцов. — М.: Агроөнеркәсіп баспасы, 1988.
7. **Г.Д.Крылова** Стандарттау, сертификаттау, метрология негіздері: оқулық / Г.Д. Крылова. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
8. **И.М. Лившиц** Стандарттау, сертификаттау, метрология негіздері: оқулық / И.М.Лившиц. — М.: Юрайт-М, 2001.
9. **Ф.Мейзда** Электронды өлшеуші аспаптар және өлшеу тәсілдері/ ағылшыннан аударма: Ф. Мейзда :— М.: Әлем, 1990.
10. Электр өлшеу тәсілдері: оқу құралы / [Л.А.Журавин, М.А. Мариненко, Е. И. Семенов, Э.И.Цветков] ; Э.И. Цветкова. редакциясымен — Л.: Энергоатомбаспасы, 1990.
11. Телеқатынас жүйелеріндегі метрология және электррадио өлшеулер: оқулық / [В. И. Нефедов, В.И.Хахин, Е. В.Федорова және т.б.] ; В.И. Нефедова редакциясымен. — М.: Жоғары мектеп, 2001.
12. Метрология. Негізгі терминдер мен анықтамалар РМГ 29 — 99Д ИПК. — М.: Стандарттар баспасы, 2000.
13. Метрология негіздері 1-Б.: оқу құралы/ [Ю.А.Богомолов, Т. М.Полховская, М.Н.Филиппов және т.б.]. — М.: МИСИС, 2000.
14. **В. А.Панфилов** Электр өлшемдер: оқулық / В. А. Панфилов. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2004.
15. **Г. С.Певзнер** Электраспап жасаудағы агрегаттау/ Г. С. Певзнер, Э.И.Цветков, М. Б.Цодиков. — М.: Энергия, 1981.
16. **Г.Г.Раннев** Өлшеулердің тәсілдері мен құралдары: оқулық / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2004.
17. **А. Г.Сергеев** Метрология / А. Г. Сергеев, В.В. Крохин. — М.: Логос, 2000.
18. **Д. Ф. Тартаковский** Метрология, стандарттау және өлшеулердің техникалық құралдары: оқулық / Д.Ф. Тартаковский, А.С.Ястребов. — М.: Жоғары мектеп, 2001.
19. **Х.Харт** Өлшеу техникасына кіріспе/ Х. Харт :неміс тілінен аударма— М.: Әлем, 1999.
20. **Д.Хоффман** Өлшеу техникасы және сапаны қамтамасыз ету: анықтама кітабы: неміс тілінен аударма/ Д.Хоффман ; Л. М. Закса, С. С. Кивили- СА редакциясымен. — М.: Энергоатомбаспасы, 1983.
21. **В.Ю.Шишмарев** Аспап жасаудағы техникалық бақылау: оқу құралы/ В.Ю. Шишмарев. — М.: МГАТУ, 1996.
22. **В.Ю.Шишмарев** Электррадио өлшеу: учебник / В.Ю.Шишмарев, В. И. Шанин. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2004.
23. **В.Ю.Шишмарев** Өлшеу құралдары: учебник / В.Ю.Шишмарев. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2006.

МАЗМҰНЫ

Шартты белгілемелер.....	3
Алғы сөз.....	4
1-тарау. Өлшеу біркелкілігін қамтамасыз ететін мемлекеттік жүйе	6
Өлшеу объектісі ретіндегі физикалық шамалар	6
Физикалық шамалар бірліктерінің халықаралық жүйесі	7
Өлшемдер туралы негізгі ұғымдар	8
Өлшеу құралдарының түрлері	11
Физикалық шамалар бірліктерінің эталондары	13
СИ жүйесі бірліктерінің эталондары	16
Өлшеу біркелкілігін қамтамасыз ететін мемлекеттік жүйе	18
Тексеру және калибрлеу тәсілдері, тексеру схемалары	20
Өлшеудік негізгі тәсілдері	23
Өлшеу аспаптарының көрсеткіштері және оларды жіктеу.....	25
2-тарау. Өлшеулердің метрологиялық көрсеткіштері	29
2.1. Негізгі терминдер мен анықтамалар	29
2.2. Жүйелі қателіктер пайда болуының себептері және оларды жою тәсілдері	32
2.3. Кездейсоқ қателіктерді бағалау	35
2.4. Өлшеу құралдарының қателіктері	38
3-тарау. Электрмеханикалық аспаптардың механизмдері және өлшеу тізбегі	46
3.1. Өлшеу механизмдері туралы жалпы мағлұматтар	46
3.2. Магнитэлектрлік өлшеу механизмдері	49
3.3. Ферродинамикалық өлшеу механизмдері	52
3.4. Электрдинамикалық өлшеу механизмдері	55
3.5. Электромагнитные измерительные механизмы	58
3.6. Электрстатикалық өлшеу механизмдері	60
3.7. Индукциялық өлшеу механизмдері	62
3.8. Логометрлердің өлшеу механизмдері	65
3.9. Өлшеу тізбектері	66
4-тарау. Электрлік өлшеулер тәсілдері.....	76
4.1. Электрлік өлшеу тәсілдерін жіктеу	77
4.2. Көпірлік схемалар	80

4.3. Тікелей бағалау тәсілі бойынша жұмыс істейтін өлшеу аспаптарының дәлдігін бағалау	81
4.4. Салыстыру тәсілі бойынша жұмыс істейтін өлшеу аспаптарының дәлдігін бағалау	83
5-тарау. Тоқ пен кернеуді өлшеу.....	85
5.1. Амперметрлер мен вольтметрлердің ұқсастығы мен өзгешелігі ...	85
5.2. Тұрақты токтар мен кернеулерді өлшеу	86
5.3. Ауыспалы тоқтар мен кернеулердің қолданыстағы мағыналарын өлшеу.....	87
5.4. Ауыспалы тоқтың орта және амплитудалы мағыналарын өлшеу.....	89
5.5. Кіші токтар мен кернеулерді өлшеу. Нөлдік белгілер	91
5.6. Электронды және цифрлі вольтметрлер	92
6-тарау. Электр қуаты мен энергиясын өлшеу	100
6.6. Тұрақты және бірфазалық ауыспалы тоқтың қуатын ваттметрлермен өлшеу.....	100
6.7. Тұрақты тоқ тізбектеріндегі энергияны өлшеу	102
6.8. Бірфазалық ауыспалы тоқтың тізбектеріндегі белсенді энергияны өлшеу.....	105
6.9. Үшфазалық ауыспалы тоқтың тізбектеріндегі белсенді қуат пен энергияны өлшеу.....	108
6.10. Реактивті қуат пен энергияны өлшеу	112
6.11. Қуат коэффициентін өлшеу	114
7-тарау. Электр тізбектерінің параметрлерін өлшеу	117
7.1. Амперметр-вольтметр тәсілімен қарысуларды өлшеу	117
7.2. Омметрлермен қарысуларды өлшеу	119
7.3. Көпір тәсілдерімен қарысуларды өлшеу	121
7.4. Оқшаулау қарысуын өлшеу. Кабельдер оқшаулауының бүлінген жерін анықтау.....	128
7.5. Индуктивтікті өлшеу үшін көпірлер	132
7.6. Сыйымдылықты өлшеу үшін көпірлер	134
8-тарау. Әмбебап және арнайы электрөлшеуіш аспаптары	136
8.1. Әмбебап вольтметрлер	136
8.2. Тұрақты тоқтың микровольтметрлері	

.....	139
8.3. Импульсивті вольтметрлер	.....141
8.4. Көрсететін және тіркейтін аспаптардың жіктелуі	.....142
8.5. аспаптар көрсеткіштерін тіркеу тәсілдері	.....145
8.6. Тұрақты тоқтың автоматты потенциалметрлері	.....148
9-тарау. Магнит шамаларын өлшеу	.....155
9.1. Магнит шамаларын өлшеудің жалпы мәселелері	.....155
9.2. Магнит ағынын өлшеу	.....156
9.3. Магнит өрісі мен магнитті индукция кернеуін өлшеу	.....159
9.4. Ферромагнитті материалдардың негізгі сипаттамасын анықтау	.....162
9.5. Ферромагнитті материалдардағы қуатты жоғалтуды өлшеу	.....165
10-тарау. Уақыттың жиілік пен аралығын өлшеу	.....167
Негізгі мәліметтер	.....167
10.1. Жиілікметр көмегімен тікелей бағалау аспаптарымен жиілікті өлшеу	.....170
Жиілікке тәуелді көпірлер көмегімен жиілікті өлшеу	.....172
Жиілікті өлшеудің резонансты тәсілі	.....173
Конденсаторды зарядтау және ажырату тәсілімен жиілікті өлшеу	.....175
Жиілікті өлшеудің цифрлы тәсілі	.....176
Уақыт аралықтарын өлшеудің цифрлы тәсілі	.....181
11-тарау. Бейэлектрлік шамалардың электрлік өлшемі	.....187
11.1. Жалпы мәліметтер	.....187
11.2. Реостатты өңдегіштер	.....187
11.3. Индуктивті және индукционды өңдегіштер	.....188
11.4. Сыйымдылық өңдегіштер	.....192
11.5. Тензорезисторлар	.....193

11.6.	Электрлік қарсыласу термометрлері	195
11.7.	Термоэлектрлік өңдегіштер	197
11.8.	Пьезоэлектрлік өңдегіштер	198
12-тарау. Өлшеу сигналдардың генераторлары		202
12.1.	Жалпы мәліметтер	202
12.2.	Синусоидалды тербелістердің генераторлары	205
12.3.	Төмен жиіліктердің цифрлы өлшеу генераторлары	213
12.4.	Шуылдық сигналдардың генераторлары	216
12.5.	Импульсті генераторлар	217
12.6.	Жиілік стандарттары. Жиілік синтезаторлары	219
13-тарау. Сигналдардың формасы мен параметрлерін талдау		223
13.1.	Негізгі мәліметтер	223
13.2.	Әмбебап осциллографтың құрылымдық схемасы	224
13.3.	Жылдамдықты және стробоскопиялық осциллографтар	239
13.4.	Цифрлы осциллографтар	242
13.5.	Үздіксіз және импульсті сигналдар осциллограммаларды алу тәсілдері	245
14-тарау. Сигналдар фазасын өлшеу		250
14.1.	Негізгі мәліметтер	250
14.2.	Осциллографиялық тәсіл	251
14.3.	Компенсационды тәсіл	256
14.4.	Фазалық қоғалысты тоқ импульсына өзгерту тәсілі	257
14.5.	Дисертті есеп тәсілі	259
14.6.	Микропроцессорлы жүйе негізіндегі фазометр	263
14.7.	Сигналдар жиілігін өзгертумен фазалық өзгерісті өлшеу тәсілдері	265
15-тарау. Сигналдар спектрін талдау. Сызықтық емес бұрмалаулардың коэффициенттерін өлшеу		268
15.1.	Негізгі мәліметтер	

.....	268
15.2. Параллельді талдау тәсілі	
.....	269
15.3. Жүйелі талдау тәсілі	
.....	271
15.4. Талдаудың цифрлы тәсілі	
.....	274
Әдебиеттер тізімі	
.....	282

Оқу басылымы

Владимир Юрьевич Шишмарёв

Өлшеу техникасы

Оқулық

6-басылым, стереотипті

Редактор *Л.В. Толочкова*

Техникалық редактор *О. Н. Крайнова*

Компьютерлік беттеу: *Н. В. Протасова*

Корректорлар *И.В.Мозилевец, Т.В.Кузьмина*

№ 106109255 басылым. 30.05.2014 баспаға шығарылды. 60 x90/16 форматы.
«Таймс» гарнитурасы. Қағаз офсетті № 1. Баспа офсетті. Усл. печ. л. 18,0.
Таралымы 1 000 дана. № тапсырыс

«Академия» «Баспа орталығы. www.academia-moscow.ru129085, Мәскеу,

Бейбітшілік даңғылы, 101В, 1 кұрылыс.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

№ РОСС RU. АЕ51. Н16592 от 29.04.2014 санитарлы-эпидемиологиялық тұжырым.

Баспаның электронды нұсқаларында шығарылды.

«Тверской полиграфический комбинат» ААҚ, 170024, Тверь қ., Ленин даң., 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Номерге— www.tverpk.ru Электронды пошта (E-mail) — sales@tverpk.ru