

КӘСІБИ БІЛІМ

В.А. ПАНФИЛОВ

ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ ОҚУЛЫҚ

«Федералды білім беруді дамыту институты»

*Федаралды мемлекеттік автономды мекемесі
«Энергетика, энергетикалық машинажасау және электротехника»
мамандығының топтарында ОКБ ФМБС жүзеге асыратын білім беру
мекемелерінің оқу үдерісінде қолдануы үшін оқу құралы ретінде ұсынған*

*Сын пікірдің тіркеу нөмірі 2012 жылғы 14 желтоқсан №496 «ФБДИ» ФМММ
10-шы басылым, стереотипті*

ACADEMIA

Мәскеу

**«Академия» баспа орталығы
2015**

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпкер» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес «ТЖБ 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

Р е ц е н з е н т т е р :

Мәскеу болат және қорытпа институтының профессоры,
техн. ғыл. д-ры *А.М.Беленький*;

Мәскеу теміржол көлігі колледжінің оқытушысы *Б. Г.Брутян*;
Мәскеу теміржол көлігі колледжі директорының оқу ісі жөніндегі орынбасары
Н.И.Боронова

Панфилов В.А.

П167 Электрлік өлшеу орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студ.

арналған оқулық / В.А.Панфилов. — 10-шы басыл., стер. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2015. — 288 б.

ISBN 978-601-333-390-8 (каз.)

ISBN 978-5-4468-2433-5 (рус.)

Оқулық «Электрмен жабдықтау (салалар бойынша)» және «Электрлік және электромеханикалық жабдыктарды техникалық пайдалану және қызмет көрсету (салалар бойынша)»; ПМ.01 «Электрлік шағын станциялар мен желілердің жабдыктарына техникалық қызмет көрсету» және ПМ.01 «Электрлік және электромеханикалық жабдыктарға техникалық қызмет көрсету мен жөндеуді ұйымдастыру» мамандықтары бойынша орта кәсіптік білім берудің Федералды мемлекеттік білім беру стандартының талаптарын ескеріп жазылған.

Метрологияның және электрлік өлшеулердің негізгі ұғымдары келтірілген. Электрлік және электрлік емес шамаларды өлшеудің негізгі әдістері мен құралдары қарастырылды. Өлшеу аспаптары мен түрлендіргіштердің құрылысы, әрекет ету қағидалары, қолдану ерекшеліктері туралы мәліметтер келтірілді.

Орта кәсіптік білім беретін мекемелердің студенттеріне арналған.

ӘОЖ 621.317.3(075.32)

КБЖ 31.221я723

ISBN 978-601-333-390-8 (каз.)
ISBN 978-5-4468-2433-5 (рус.)

© Панфилов А.В., Панфилова О.В. (автор В.А. Панфиловтың заңды мұрагерлері), 2009
© «Академия» білім беру-баспа орталығы, 2009
© Рәсімдеу. «Академия» баспа орталығы, 2009

АЛҒЫСӨЗ

Өлшеулер адам қызметінің барлық саласында жүзеге асырылады. Олар адамның бүкіл өмірінде: болашақ анасының қанының сараптамасынан, ұрықты ультрадыбыстық диагностикалыу, жаңа туған нәрестенің салмағын (массасын), бойын (ұзындығын) өлшеуден бастап электрокардиограмманы тіркеуге, артериалық қысымды анықтауға дейін қолданылады.

Біздің өмірімізді алуан түрлі өлшеулерсіз елестету мүмкін емес. Міне бірнеше мысал: «Сегізге 15 минут қалды, ал сен әлі дайын емессің!»; «Бұл айда бізде 165 киловатт сағат “жағылды”»; «Маған мына ірімшіктен 200 грам өлшеніңші»; «Бүгін сыртта минус жиырма үш градус»; «Бізде саяжайда кернеу кейде 180 вольттан төмен болады»; «бекеттен тағы екі километр жүру керек»; «Кеше атамның қысымы 220 да 100 болды»; «Сен жарты сағатта жарты литр шырын іштің».

Өлшеу техникасы қоғамдық ілгерілеудің қозғалтқышы болып табылады. Кез келген маңызы өзгерістер көпетеген түрлі өлшеулерсіз мүмкін болмайтын мұқият өлшеудің салдарынан болады. Нақты дәл өлшеулер адамзат тарихында іргелі жаңалықтар ашуға бірнеше рет мүмкіндік берді. Қоғам өміріндегі өлшеулердің рөлі объективті және үздіксіз артуда, сондықтан өлшеу техникаларына қызығушылық бүкіл әлемде үнемі артады.

Ғылымның, техниканың және өнеркәсіптің даму мәселелері, энергия мен ресурсты үнемдеудің, атом энергетикасының, экологиялық қауіпсіздіктің, Жер климатының ғаламдық өзгеруінің, ғарыштық зерттеулердің, биотехнологияның, байланыстың, транспорттың, медицинаның мәселелері өлшеу техникасын қатыстырмай шешілуі мүмкін емес.

Әрине, біздің екпіндей өзгеріп жатқан әлемімізде үнемі жаңа идеялар, көзқарастар, амалдар, технологиялар, элементтік қор, жаңа құрылмалық, құрылымдық, алгоритмдік схемотехникалық шешімдер пайда болады. Өлшеуге болатын физикалық шамалар тізімі үздіксіз артуда, оларды өлшеу диапазоны да ұлғаюда. Әрбір онжылдық сайын жаңа физикалық әсерлер және қағидалар ашылады және кеңінен қолданылады, тиімдірек әрі өнімдірек әдістер мен алгоритмдер, түпнұсқа математикалық бағдарламалар әзірленеді. Осының бәрі өлшеу техникасы мен құрал жасаудың үнемі ілгері жылжуын қамтамасыз етеді. Соңғы 15-20 жылда

кейбір практикалық міндеттерді шешу амалдары (ұзақ уақыт бойы классикалық саналып келген), әдетте қолданылатын әдістер мен құралдар өздерінің әлсіздіктерін байқатты. Өлшеу техникасындағы дәстүрлі акценттер ығысты, мызғымайтындай болып көрінген жағдайлар, ұғымдар мен басымдықтар өзгерді. XX ғ. екінші жартысында есептеу техникасының, микроэлектрониканың пайда болуы мен жылдам тарауы, өлшеу техникасының теориялық негіздерінің әрі қарай дамуы өлшеу техникасының мүмкіндіктері мен қолдану аумақтарын табиғи тексеруге алып келді, жаңа өнімділігі жоғары өлшеу аппаратурасының көптеген әзірлемелеріне бастамашы болды. Бұрын болмайтын немесе қиын жүзеге асырылатын нәрселер бүгін мүмкін болды. Мысалы, заманауи микропроцессорлық аспаптардың жұмыс алгоритмдері бірнеше жыл бұрын шешілмейтін болған міндеттерді орындауды қамтамасыз етуі мүмкін.

Отандық құрал жасау, өкінішке орай, қазір қиын кездерді бастан кешуде. Алайда бүкіл әлемде өлшеу техникасы бұрынғысынша объективті заңдылықпен дамуда. Осы оқулықта негізінен заманауи әлемдік жетістіктер, шешімдер, тәсілдер сипатталған.

Өлшеу техникасында болған елеулі өзгерістерге қарамастан біздің елімізде осы өзгерістерді көрсететін жаңа басылымдар іс жүзінде шықпады. Осы оқулықта метрологияның ескірмейтін негіздері, өлшеу техникасының негізгі ұғымдары, электрлік өлшеулер жалпы курсының негізгі мәселелері, классикалық, заманауи, сондай-ақ келешекті электрлік және электрлік емес шамаларды өлшейтін әдістер мен құралдар қарастырылған. Онда басқа ұқсас басылымдарға қарағанда күрделі есептеулер, үлкен формулалар, қатаң амалдар мен талқылаулар аз. Электрлік өлшеулердің негізгі мәселелері түсінікті баяндалған.

Бұл оқулық өлшеу құралдарын әзірлеушілерге емес, пайдаланушыларға (өлшеу құралдарын қолданатындарға) арналғандықтан онда жабдықтардың құрылысы, схемотехниканың ерекшелігі мен егжей-тегжейі және жұмыс алгоритмі келтірілмейді. Ескірген өлшеу құралдары мен әдістеріне аз назар аударылған. Кітаптың біраз бөлігі динамикалық әдістер мен құралдарға, цифрлық әдістер мен құралдарға, соның ішінде келешекті цифрлық өлшеуші тіркеуішке және анализаторларға арналған.

Бүгінде ресей мамандары үшін құрал жасау фирмаларының жақсы жетістіктері қолжетімді. Өнімділігі жоғары және сенімді шетелдік өлшеу жабдықтары отандық ғылымда, техникада, өнеркәсіпте кеңінен қолданылады. Осылайша, заманауи өлшеу техникасы сөзсіз ағылшындыққа толып жатыр және өлшеу техникасы саласындағы мамандар негізгі ағылшын тіліндегі терминдерді түсінуі тиіс. Оқулықта жиі кездесетін ағылшын тіліндегі терминдер мен аббревиатуралар келтіріледі және түсіндіріледі.

Көбінесе практикалық өлшеулермен айналысатын мамандар метрологияға елемейді немесе жеткілікті байыппен қарамайды, эксперименттерді ұйымдастыру мәселелеріне қажетті көңіл аудармайды, өлшеу нәтижелерінің дәлдігін (сенімділігін) дұрыс бағалауды және

алынған деректерді қисынды түсіндіруді жасай алмайды немесе әдеттенбеген, заманауи құралдар арсеналының мүмкіндіктеріне нашар бағдарланады. Осы оқулық оқырманның электр өлшеуіш техникасын зерделеуге, практикалық метрология әдістерін меңгеруіне қызығушылығын оятады, қолда бар және қол жетімді заманауи өлшеу құралдарының жиынтығын зерделеуге итермелейді деп үміттенгім келеді. Оқулықтың кейбір бөлімдері орта кәсіптік оқу орындарының студенттеріне ғана емес, ЖОО студенттеріне де, сонымен қатар әр түрлі бейіндегі мамандарға да пайдалы болуы мүмкін.

Ғылым өлшеуден басталады. Өлшеусіз дәл ғылымдардың болуын елестету мүмкін емес.

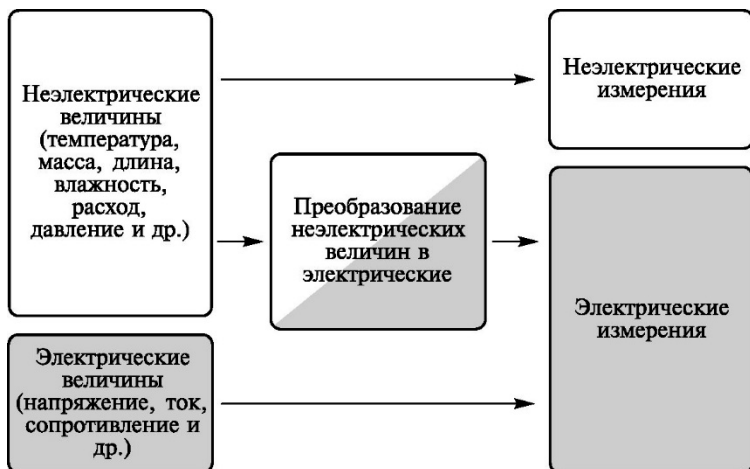
Д. И. Менделеев

КІРІСПЕ

Қоғамның ілгері басуы тікелей нақты ғылымдардың даму деңгейімен анықталады, оның пәні материалдық әлемнің объективті заңдылықтарын белгілеу және оларды белгілі бір сенімділікпен сапалық түрде көрсету. Осы мақсаттарға жетудің жалғыз мүмкін болатын тәсілі ретінде өлшеу эксперименті қолданылады.

Адам әрекетінің әрбір саласында (ғылымда, техникада, өнеркәсіпте, медицинада, тұрмыста және т.б.) нақты физикалық шамаларды өлшеудің өзіндік әдістері мен құралдары қолданылады. Дегенмен заманауи практикада, әдеттегідей осы тәсілдердің негізінде электрлік өлшеулер жатады.

Электрлік және электрлік емес шамаларды электрлік өлшеу. Бүгінде «электрлік өлшеу» ұғымы жүз жыл бұрынғыдан қарағанда кеңірек түсіндіріледі және тек электрлік шамалардың ғана әдістері мен құралдарына таралмайды.



В.1. 1 сурет. Электрлік және электрлік емес шамаларды электрлік өлшеу

Барлық физикалық шамаларды электрлік емес (мысалы, механикалық, жылулық, химиялық) және электрлік (мысалы, ток, кернеу, кедергі, электрлік сыйымдылық) деп бөлуге болады. Электрлік емес физикалық шамалар әрине көп, дегенмен олардың айтарлықтай бөлігін электрлік өлшеу құралдарымен және әдісімен өлшеуге болады және өлшеген жөн. (1 В сурет).

Бұл амалды жүзеге асыру үшін алуан түрлі бастапқы өлшеуіш, электрлік емес шамаларды пропорционал электрлік сигналға түрлендіргіштерді (бергіштер) қолданады. Мысалы, термо электрлік түрлендіргіш (термо қосақ) температураның өзгеруін пропорционал термоЭҚК өзгеруіне түрлендіреді, сосын мысалы, милливольт метрмен өлшенеді. Бүгінде ақпаратты түрлендірудің электрлік әдістеріне негізделген әр түрлі электрлік емес шамаларды өлшеуіштер: термометрлер, шығын өлшегіштер, газ талдағыштар, анемометрлер, тахометрлер, массаны, жылжуды, қозғалыс жылдамдығы мен үдеуді, жарықтылықты, ауаның салыстырмалы ылғалдылығын, сұйықтың қышқылдығын және т.б. өлшегіштер кеңінен таралған. Әр түрлі зерттеулер практикасында электрлік тізбектердің және процестердің өлшегіштері, электр тұтыну параметрлерін тіркеушілер мен талдағыштар белсенді түрде қолданылады.

Электрлік өлшеу заманауи өлшеу техникасында маңызды орын алады. Электрлік өлшеудің кең таралуының себебі — электрлік түрде берілген ақпаратты алудың, түрлендірудің, жеткізу мен сақтаудың қарапайымдылығы мен ыңғайлылығы. Заманауи өлшеу құралдарының басым көпшілігі электрлік өлшеу принциптеріне негізделген. Осылайша, электрлік және электрлік емес шамаларды өлшеу әдістері мен құралдары бізді қоршаған орта, әр түрлі технологиялық объектілері мен процестер

туралы алғашқы ақпаратты алуда жетекші рөл атқарады.

Тарихи аспект. Заманауи ғылымның даму деңгейі, өкінішке орай, Жер ғаламшары қашан қалыптасты және онда Адам қашан пайда болды деген сұраққа бір мәнді жауап бере алмайды. Түрлі деректер бойынша біздің ғаламшарымыздың жасы — бірден он миллиард жылға дейін. Адам, ақыл-есі бар тіршілік иесі (*Homo Sapiens*) ретінде Жерде 1...10 млн жыл өмір сүруде деп есептеледі. Көптеген ғасырлар бойы адамзаттың тіршілігі өз дамуының бірнеше негізгі сатыларынан өтті, сонымен бірге бұл даму өте біркелкі емес түрде болды (2.В сурет). Бұл процесс экспонентті еске салады деп саналды — әрбір жаңа мыңжылдықта, ғасырда, онжылдықта адамзат екпіндей алға басады. Ғылыми білімдердің, жинақталған ақпараттың көлемі әлемде әрбір он жыл сайын екі еселенетіні белгілі.

Егер негіз ретінде адамзаттың ең аз жасын — бір миллион жылды алсақ және оны ұзындығы бір метр сызықтық кесінді түрінде елестетсек



10^7 10^6 10^5 10^4 10^3 10^2 10^1 10^0
Жылдар (логарифмдік шкала)

2. В сурет. Адамзаттың дамуының теңсіздігі (логарифмдік масштабпен) онда тек соңғы бірнеше миллиметрлер (уақыт бойынша — мыңжылдықтар) белсенді мәдени, ғылыми және техникалық дамуға сәйкес келеді. Осы төрт-бес мыңжылдықтар бойы *мәдениетті адам* қалыптасты. Осы бірнеше миллиметрге әр түрлі халықтардың философиясының, өнері мен діндерінің тууы мен дамуы; көптеген соғыстар мен төңкерістер; ұлы ғылыми жаңалықтар мен өнертабыстар (мысыр пирамидасының тұрғызылуы, дөңгелекті, шахматты, оқ дәріні, жазуды және т.б. ойлап табу) сыйды.

Қарастыру үшін соңғы бірнеше ғасырлар (соңғы миллиметрдің бөліктері) ерекше қызықты, себебі, дәл осы уақыт аралығында электрді зерттеумен және қолданумен байланысты ғылымда, техника мен өндірісте маңызды өзгерістер болды. Осы жылдары электротехника мен электр өлшеуіш техника пайда болды және сосын кеңнен таралды тарихи дамудың осы сатысында *электротехникалық адам* қалыптасты.

Табиғатта электр және магнетизмнің көрініс беруі ежелден белгілі болды. Адам, әрине, атмосфералық электрлік разрядтарды — найзағайларды байқады, жануарлар әлеміндегі электрлік зарядтар әсерлерін бақылады; үйкеліспен кейбір заттардың қасиеттерін олар басқаларды тартатындай етіп өзгертуге болатыны байқалды; кейде темірді тартатын табиғи магниттерді тартты. Дегенмен электрлік және магниттік құбылыстарды шындап зерттеу мен практикада қолдану салыстырмалы түрде таяуда — осыдан миллиметрдің бірнеше ондаған үлесі бұрын

басталды.

XVIII ғ. көптеген елдердің зерттеушілерінің электр мен магнетизмнің әр түрлі көрініс беруіне белсенді қызығушылықтың басталған ғасыры және салдары ретінде оларды зерттеуге қажетті әдістер мен өлшеу құралдарының екпінді даму ғасыры деп аталуы мүмкін. Орыс ғылымының көрнекті қайраткерлерінің бірі М.В.Ломоносов Ресейде электр құбылыстарын зерттеудің негізін қалаушы, бірінші электр теориясының авторы болып саналады. Электрлік өлшеу XVIIIғ. ортасынан бастау алады. Ресейлік академик

Г. В. Рихман және оның әріптесі М. В. Ломоносов электрлік өлшеуді алғашқы жасағандар болды. XVIII ғ. 40-шы ж.ж. атмосфералық электр аумағындағы зерттеулер нәтижесінде олар әлемде бірінші рет электр күшін өлшейтін аспапты жасады, онда электрлік шаманың – атмосфералық электр зарядының шамасына сандық баға берді. Бұл аспаптар қазіргі мектеп электроскоптарын еске түсірді, бірақ есептеуші құрылғысы-шкаласы мен көрсеткіші (жылжымалы электроды –бағыттамаcы) болды.

XVIII ғ. ортасынан XIX ғ. аяғына дейін электр мен магнетизмді зерттеу мен практикада қолдану ісінде негізгі жаңалықтар мен нақты әзірлемелер жасалды, болашақтағы электротехника мен электрлік өлшемдердің негізі қаланды. XVIIIғ. аяғы мен XIXғ. Басында әр түрлі елдердің ғалымдары мұқият зерттеулер мен көптеген эксперименттер жасады. Ағылшын физигі Д.П.Джоулдің, француз инженері Ш.О.Кулонның, италиялық анатомия профессоры Л.Гальванидің, ағылшын ғалымы М. Фарадейдің жұмыстары электр мен магнетизмнің мүмкіндіктері мен негізгі заңдылықтарын түсінуге мүмкіндік берді. Үздіксіз электр тогының алғашқы («Вольт бағанын») итальяндыққа профессоры А.Вольт жасады. А.М.Ампер зерттеу практикасын «электр тогы» терминін және«электр тогының бағыты» ұғымын енгізді. Неміс физигі Г. С. Ом XIX ғ. бірінші үштен бірінде электр тізбегінің негізгі заңдылықтарын кернеудің тізбектегі токқа және оның кедергісіне тәуелділігін экспериментте дәлелдеді және теориялық негіздеді. Берлин университетінің профессоры Г. Р. Кирхгоф 1845 ж. тармақталған электр тізбектері үшін негізгі заңдарды тұжырымдады.

Электр және магнетизм, электротехника, электрлік өлшеулердің қалыптасуы туралы әлемдік ғылымға орыс ғалымдары баға жетпес үлес қосты. Академик Э.Х. Ленц электротехника саласында (электромагниттік индукция құбылысы, электр машиналарының қайтымдылық принципі, өткізгіш арқылы ағатын токтың жылулық көрініс беру эффекті және т.б.) бірқатар негіз қалаушы жаңалықтар ашты. Физика профессоры академик В.В. Петров жасаған электр разрядтарының заңдылықтарын теориялық және экспериментте зерттеу электрді жарықтандыру, сондай-ақ металдарды балқыту мен дәнекерлеу үшін іс жүзінде қолдану мүмкіндігін алғаш рет көрсетуге және дәлелдеуге мүмкіндік берді.

XIXғ. екінші жартысы электрлік өлшеу әдістері мен құралдарын шындап дамыту қажеттілігіне алып келген электр энергиясын өндірісте қолдануға қызығушылықтың артуымен әйгілі болды. Сол уақытта орыстың атакты электротехнигі М.О.Доливо-Добровольский электромагниттік, электро динамикалық және индукциялық жүйелерді өлшейтін аспаптар әзірледі және жасады, яғни, амперметрлердің, вольтметрлердің, ваттметрдің, фазометрдің бүгінде ең бұқаралық түрлерін жасаудың іргетасын қалады. М.О.Доливо-Добровольскийдің арқасында электротехникада айнмалы ток кең таралды. Ол практикаға үш фазалы электр тізбектерін енгізді, алғашқы үш фазалы электр қозғалтқыш әзірледі. Көрнекті физик А. Г. Столетовтың магниттік өлшеулер саласындағы, академик Б. С.Якобидің (ресей ғылымына өмірінің кырыққа жуық жылын арнаған шетелдіктің) электр тізбектерінің кедергісін өлшеу саласындағы

жұмыстары осы бағыттың әрі қарай дамуын қамтамасыз етті.

XVIII ғ. бойы негізінен статикалық өлшеулерге арналған электромеханикалық өлшеу аспаптарының бағыты қалыптасты. XIX ғ. алғашқы динамикалық өлшеу құралдары – өздігінен жазатын аспаптар пайда болды. Электронды вакуумдық лампаның және электронды-сәулелік түтіктің ойлап табылуынан (XIX соңы — XX ғ. басы) электрондық техниканың дамуы басталады. Ұзақ жылдар бойы көптеген зерттеушілер үшін динамикалық өлшеудің негізгі құралы болған алғашқы электронды-сәулелік осциллографтар жасалады.

Электр өлшеу техникасының екпінді дамуы осы бағыттың метрологиялық негіздерін әзірлеудің электрлік өлшеулердің бірлігін қамтамасыз ету қажеттілігіне объективті және сөзсіз алып келді.

XIX ғ. аяғына дейін әлемнің түрлі елдерінде және адам әрекетінің түрлі салаларында бірдей физикалық шамаларды бағалау үшін көптеген түрлі бірліктер қолданылды: шақырымдар, милялар, сажындар, әртүрлі футтар, ярдтар, аршындар; көптеген фунттар, өлшемдер, унциялар, мысқалдар; Фаренгейт, Реомюр және Цельсий градустары және т.б. Еуропада XVIII ғ. аяғында өлшемдері бойынша бірнеше ондаған әр түрлі футтар (ұзындық бірлігі), ондаған әр түрлі мильдер, жүзден аса әр түрлі фунттар (масса бірлігі). Сонымен қатар, бөлшектік және еселік бірліктерде біркелкілік болмады.

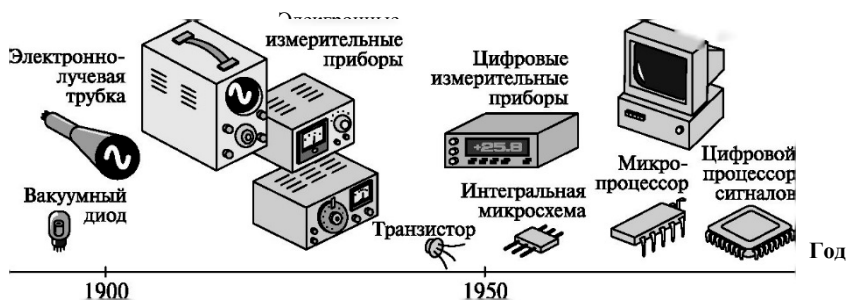
Ұқсас жағдай сол кездегі жас электр өлшейтін техникада да болды. Салыстырмалы түрде таяу уақытта, 1880 ж. электрлік өлшеулердің әлемдік тәжірибесінде электр тогының бес әр түрлі бірліктері, электр қозғаушы күштің (ЭҚК) және кернеудің сегіз бірлігі қолданылғанын, ал электрлік кедергі бірліктері – он бес болғанын елестету қиынға соғады. Осылардың бәрі, әрине, түрлі елдердің зерттеушілері мен ғылымның, техниканың, өнеркәсіптің бағыттары арасындағы өзара түсінісуге айтарлықтай кедергі жасады; электротехника мен электр өлшеуіш техниканың қалыпты дамуына кедергі келтірді. Жедел электрлік шамалардың бірыңғай жүйесіне өту қажет болды, ол 1881ж. Парижде өткен электр бойынша Бірінші Халықаралық конгресте жасалды.

XIX XX ғғ. аралығында көрнекті орыс ғалымы, отандық метрологияның негізін қалаушы Д.И. Менделеевтің атсалысуымен Санкт-Петербургте өлшемдер мен салмақтардың басты палатасында электр өлшеуіш аспаптарды тексеруге арналған бөлім құрылды. Бұл оқиға Ресейде электрлік өлшеулер стандарттауы мен метрологиясының тыңғылықты дамуының бастауы болды. XXғ. басының өзінде орыс ғалымдары мен инженерлері ом мен вольттың алғашқы эталондарын жасауға кірісті.

3.В суретте электр өлшеуіш техниканың даму қарқынын және оның заманауи деңгейін шешуші түрде анықтаған, XX ғ.-дағы адамзаттың негізгі технологиялық жетістіктері көрсетілген.

Тағы да XIX ғ. аяғында алғашқы электрондық вакуумдық құрылғылар – лампалар пайда болды. 1897 ж. Ресейде М.А. Шателен электронды-сәулелік түтікті жасап шығарды, ол электронды-сәулелік осциллограф жасауға мүмкіндік берді. Сол жылдары М.А.Шателен электрлік өлшеулер бойынша алғашқы оқу құралын жазды.

XXғ. бірінші жартысы электр өлшеуіш аспаптардың белсенді әзірленуімен әйгілі болды. Практикаға электронды вольтметр, осциллограф, генератор өлшеулері жылдам енгізіледі. Осы жылдар сигналдарды түрлендірудің цифрлық әдістеріне қызығушылықтың артуымен, алғашқы цифрлық өлшеу аспаптарының пайда болуымен сипатталады. Цифрлық әдістер өлшеу құралдарының қозғалмалы бөлшектерінен бас тартуға мүмкіндік берді, және сонымен қатар, басқа да маңызды артықшылықтары болды. Транзисторды жасап шығару (1948 ж.) және оны әзірлемелерде қолдану өлшеу құралдарының өлшемдерін, массасын, тұтыну қуатын бағасын бірден төмендетуге, олардың негізгі сипаттамалары мен сенімділігін айтарлықтай жоғарылатуға мүмкіндік берді. Алғашқы интегралдық схема (микросхема) 1961-ші ж. пайда болды. 1971 ж. бірінші микропроцессор — бағдарламалайтын қызметтері бар үлкен интегралдық сұлба әзірленді. Микропроцессор заманауи есептеуіш машинаның және өлшеу техникасының іргетасы, көптеген электрондық жүйелердің, басқару жүйелері мен тұрмыстық техниканың негізі болып табылады.



3.В сурет. XX ғ. негізгі технологиялық жетістіктері

Дербес компьютер

Микропроцессорлар өлшеу аппаратурасының мүмкіндіктерін қатты өзгертті, оларды «интеллектуалды» етті.

В 80-х жж. XX ғ. 80-ші жылдары әр түрлі өнімділігі жоғары автоматтандырылған ақпараттық-өлшеу құрылғыларының, кешендерінің, жүйелерінің, сондай-ақ басқару жүйелерінің маңызды элементі болған дербес компьютерлер пайда болады және бүкіл әлемге тарайды.

XXғ. екінші жартысы цифрлық, микропроцессорлық, компьютерлік өлшеу құралдарының екпінді дамуымен, өлшеу ақпараттарын әр түрлі түрлендіру және көрсету алгоритмдерімен танымал болды.

Электр өлшейтін техниканың даму беталысы. Бүгінде электр өлшейтін техниканың алға басуы, бір жағынан өлшеу құралдарының атқарымдық мүмкіндіктеріне, метрологиялық және тұтынымдық сипаттамаларына қойылатын талаптардың үнемі артуымен анықталады, екінші жағынан, микроэлектроника, есептеу техникасы, қолданбалы математика, сигналдарға цифрлық талдау жасау, метрология салаларындағы айтарлықтай жетістіктермен қамтамасыз етіледі. Электр өлшейтін техниканың негізгі даму беталысы – өлшеу құралдарының метрологиялық сипаттамаларын (статикалық та динамикалық та) әрі қарай жетілдіру. Міндеттерде өлшеу құралдарының дәлдігін, сезгіштігін, ажырату қабілетін арттыру; өлшенетін шамалардың мүмкін болатын өзгертулер аралықтарын кеңейту; кедергілерді басу дәрежесін арттыру; тез әрекет етуін арттыру әрқашан өзекті болады. Заманауи өлшеу техникасында жүйелі қателіктерді автоматты теңгеру және кездейсоқтықтарды тиімді азайту әдістері жиі қолданылады.

Бүгінде тұтынымдық сипаттамаларды жетілдірудің: сенімділікті жоғарылатудың, эсер ететін шамалардың мүмкін болатын диапазондарын кеңейтудің; көп атқарымдылықты қамтамасыз етудің; аппаратураның ішкі түйіндерінің автоматты диагностикасын енгізудің; шаңнан және ылғалдан қорғануының жеткілікті жоғары деңгейлерін қамтамасыз етудің; электромагниттік өрістерден қорғалғандығының; габариттік өлшемдері мен массасын азайтудың; тұтыну қуатын азайтудың; және солардың салдарынан ішкі қоректенудің бір жинағынан үздіксіз жұмыс істеу уақытын көбейтудің; аспаппен жұмыс істеудің қарапайымдылығы мен ыңғайлылығының; аспаптың пайдаланушыға достық интерфейсінің жасалуының маңыздылығы да аз емес.

Электр өлшейтін техниканың дамуының сипаттамалық беталысы соңғы онжылдықта ақпаратты цифрлық түрлендіру, өлшеу, тіркеу және талдау әдістерінің кеңнен қолданылуы, өлшеу құралдарын автоматтандыру мен интеллектуалдандыру дәрежелерінің жоғарылауы болды.

Статикалық және динамикалық өлшеулердің көлемдерінің ара қатынасы айтарлықтай өзгерді. Объектілері мен үдерістердің динамикалық моделінің үлесі үздіксіз артуда. Осының салдарынан эксперименттер үдерісінде алынатын және өңделетін ақпарат көлемі айтарлықтай артады. Сондықтан үлкен ақпарат ауқымын автоматтандырылған талдау қажеттілігі, сонымен бірге зерттелетін үдеріс барысының нақты уақытында, жиі туындайды. Осының бәрі осы өлшеу құралдарының цифрлық тіркеушілердің, осциллографтар мен талдағыштардың) ішкі жад көлемдерін үнемі ұлғайтып тұруды, ішкі интеллект қуатын арттыруды және микропроцессорлардың өнімділігін жоғарылатуды талап етеді.

Ақпаратты түрлендірудің, жеткізудің және сақтаудың келешекті әдістерін (аналогты да цифрлық та) іздестіру үздіксіз жүргізіледі; қоршаған әлемнің құбылыстарын зерттеудің тиімдірек және қуатты құралдарын әзірлеу жалғасуда; өлшеу құралдарының номенклатурасы кеңеюде. Заманауи аспап жасауға жаңа аппаратура жасау мерзіммен кенеттен қысқарту да тән болды.

Соңғы онжылдықтың маңызды ерекшелігі адам әрекетінің барлық саласында және ,әріне, өлшеу техникасында дербес компьютерлердің кең таралуы болды. Компьютерлік өлшеу құрылғыларының, кешендері мен жүйелерінің әзірленуі және қолданылуымен айналысатын мамандар саны жыл сайын артуда. Сонымен бірге ақпаратты талдау және көрсетудің алуан түрлі түрлері (оның ішінде ең көрнектілері - деректерді графикпен көрсету) дамуда.

XXI ғ. әлемге көптеген тамаша жаңа жаңалықтар беретіні күмәнсіз. Бүгінде осы ғасырдың аяғында өлшеу техникасы қандай асуларды алатынын, оның қоғам өміріндегі рөлі қандай болатынын және оның қоғамды қалай өзгертетінін елестетудің өзі қиын.

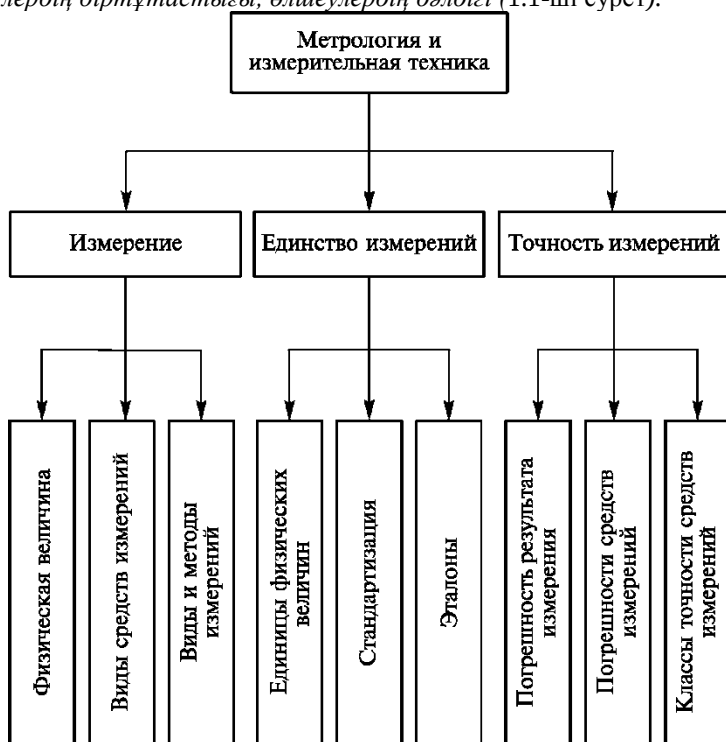
1 ТАРАУ

МЕТРОЛОГИЯНЫҢ ЖӘНЕ ӨЛШЕУ ТЕХНИКАСЫНЫҢ НЕГІЗДЕРІ

1.1. ӨЛШЕУ

Метрология – бұл өлшеулер, олардың біртұтастығын қамтамасыз ететін әдістер мен құралдар, қажетті дәлдікке жету тәсілдері туралы ғылым. Метрологияда үш бағытты бөліп көрсетеді: теориялық (іргелі), заңнамалық және практикалық (қолданбалы). Осы баяндауда басты назарды практикалық метрологияның негізгі ережелеріне бөлеміз.

Метрология мен өлшеу техникасының негізгі ұғымдары өлшеу, өлшеулердің біртұтастығы, өлшеулердің дәлдігі (1.1-ші сурет).



1.1 сурет. Метрология мен өлшеу техникасының негізгі ұғымдарының құрылымы

Өлшеу деп физикалық шаманың мәнін тәжірибелік жолмен арнайы

техникалық құралдардың (өлшеу құралдарының) көмегімен табу үдерісін атайды.

1.1.1. Физикалық шама

Физикалық шама (ФШ) — бұл сапалық қатынаста көптеген физикалық объектілері үшін жалпы, алайда сандық қатынаста – әрбір объект үшін жеке болатын қасиет. ФШ барлық саналуандығы көптеген түрлі белгілері бойынша жіктелуі мүмкін. бүкіл ФШ екі топқа бөлінеді; электрлік және электрлік емес. Электрлік емес шамалар электрлік шамаларға қарағанда анағұрлым көп. Бұл мысалы, ұзындық, масса, күш, қысым, сызықты қозғалу немесе айналу жылдамдығы, зат шығыны, температура, салыстырмалы ылғалдылық, жарықталу және т.б. Электрлік ФШ, мысалы, электр заряды, ток, кернеу, электрлік сыйымдылық пен кедергі, өткізгіштік, активті және реактивті қуаттар, электр энергиясы және т.б. жатады..

ФШ мәні – бұл ФШ-ны осы бірлік шамасы үшін қабылданған нақты сан түрінде сандық бағалау. Мысалы электр тізбегіндегі ток күшінің мәні $I = 10,2 \text{ A}$.

1.1.2. Өлшеу құралдарының түрлері

Өлшеу құралы (ӨҚ) –өлшеу кезінде пайдаланатын және нормаландырған метрологиялық сипаттамалары бар техникалық құрал. Бүкіл ӨҚ (29-99 РМГ. ГСИ. «Метрология. Негізгі терминдер мен анықтамалар» сәйкес) бес түрге бөлінеді: өлшемдер, өлшеуіш түрлендіргіштер, өлшеу аспаптары, өлшеуіш қондырғылар, өлшеу жүйелері.

Өлшем – бұл берілген өлшемдегі физикалық шаманы жаңғыртуға арналған ӨҚ. Мысалы, қалыпты гальваний элементі – ЭҚК өлшемі; үлгі өлшейтін) резистор; үлгі индуктивтілік шарғысы және т.б.

Өлшеуіш түрлендіргіш – өлшенетін ақпарат сигналын әрі қарай түрлендіру, жеткізу, өңдеу үшін ыңғайлы түрде жасауға арналған, бірақ бақылаушының тікелей қабылдауына арналмаған ӨҚ. Мысалы, ток пен кернеудің өлшеуіш трансформаторлары, өлшеуіш күшейткіштер, кернеу бөлгіштер, шунттар, қосымша резисторлар, цифрлық өлшеуіш тіркегіштер (логгерлер) және т.б. өлшеуіш түрлендіргіште есептеуші құрылғы болмайды және сондықтан түрлендіру нәтижесін адам тікелей қабылдай алмайды.

Өлшеу аспабы — бұл өлшенетін ақпарат сигналын бақылаушының тікелей қабылдауы үшін қолжетімді түрде жасауға арналған, яғни, есептеуші құрылғысы немесе индикаторы бар ӨҚ. Мысалы: электромагниттік қалқандық вольтметр, өзі жазғыш құрал, осциллограф, цифрлық мультиметр, инфрақызыл термометр, манометр және басқалары. Өлшеу аспабы – ең көп таралған ӨҚ түрі.

Өлшеуіш қондырғы - бұл өлшенетін ақпарат сигналын бақылаушының тікелей қабылдауына ыңғайлы түрде жасауға арналған және бір жерде орналасқан функционалда біріктірілген ӨҚ мен көмекші құрылғылардың

жиынтығы. Мысалы: электр қозғалтқыштарының сипаттамаларын зерттеуге арналған кондырғы, электрлік есептеуіштерді тексеруге арналған стенд. Өлшеу кондырғысының өлшеу жүйесінен айырмашылығы оны орналастырудың жергіліктілігі мен тұтастығында болады.

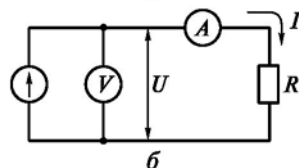
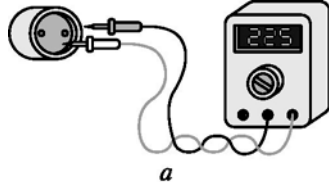
Өлшеу жүйесі — өлшенетін ақпарат сигналын автоматты өңдеуге, жеткізуге және/немесе автоматты басқару жүйелерінде пайдалануға ыңғайлы түрде жасауға арналған, өзара байланыс арналарымен жалғанған ӨҚ мен көмекші құрылғылардың жиынтығы. Мысалы, өндірісті басқару жүйесінің құрамындағы көп арналы кеңістікте таралған ақпарат өлшеуіш кешен.

ӨҚ нормаланатын метрологиялық сипаттамалары (НМС) МемСТ 8.009 — 84 «Өлшеу құралдарының нормаланатын метрологиялық сипаттамалары» арқылы реттеледі. Негізгі НМС-ға, мысалы, ӨҚ қателіктері, өлшеуіш түрлендіргіштің номиналды түрлендіру функциясы немесе түрлендіру коэффициенті, сезгіштік, өлшеу диапазоны, кірістік кедергі жатады.

1.1.3. Өлшеу түрлері мен әдістері

ФШ мәндерін (өлшеу нәтижелерін) әр түрлі тәсілмен алуға болады. Электрлік өлшеулер тәжірибесінде алуан түрлі өлшеу түрлері мен әдістері қолданылады. Өлшеулердің келесідей түрлері болады: тікелей, жанама, жиынтық және бірлескен өлшеулер. Олардың ішінде ең көп тарағандары тікелей және жанама өлшеулер.

Тікелей өлшеулер – өлшенетін санның ізделетін мәнін тікелей тәжірибелік деректерден табатын өлшеу. Тікелей өлшеудің мысалы – электр тізбегінің кернеулігінің іс жүзіндегі мәнін цифрлық мультиметр көмегімен өлшеу (1.2,а сурет).



1.2 сурет. Өлшеу түрлері: а –тікелей; б-жанама

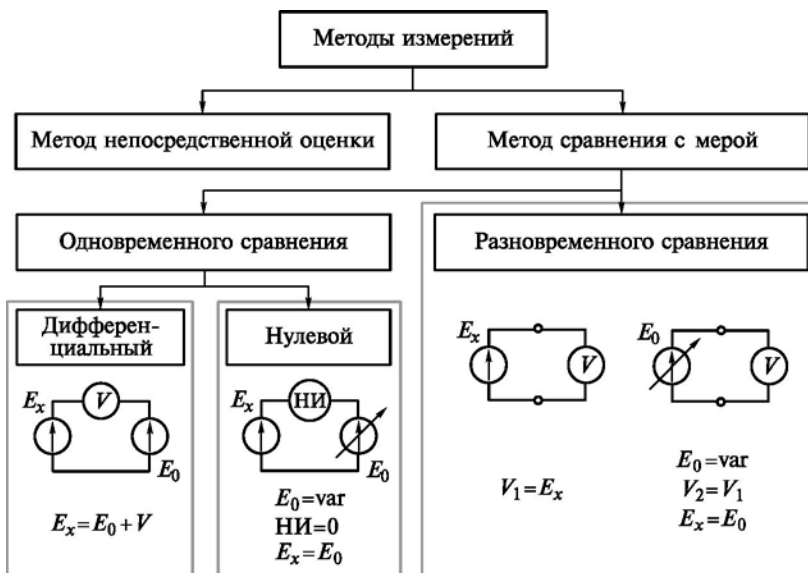
Жанама өлшеу — шаманың ізделетін мәнін осы шама мен тікелей өлшеу арқылы бағаланатын ізделетін шама арасындағы белгілі функционалды тәуелділік негізінде табылатын өлшеу. Жанама өлшеудің мысалы – активті Rс жүктемедегі P қуатты —амперметр A және вольтметр V көмегімен өлшеу (1.2, б сурет):

$$P = UI,$$

мұндағы U - R жүктемедегі вольтметрмен өлшенген кернеу; I – амперметрмен өлшенген жүктемедегі ток.

Өлшеулер құралдары мен принциптерін пайдалану тәсілдерінің жиынтығын өлшеу әдісі деп атайды. Тікелей бағалау әдісі және өлшеммен салыстыру әдісі болып бөлінеді (1.3 сурет).

Тікелей бағалау әдісінде өлшенетін шама мәні тікелей өлшеуіш аспаптың есептеуші құрылғысымен анықталады. Мысалы, температураны цифрлық термометрмен өлшеу.



1.3 сурет. Өлшеу әдістері

Өлшеммен салыстыру әдісі өлшенетін шаманың өлшеммен салыстырылуына негізделген. Салыстыру шарасы әр түрлі жасалуы мүмкін. бұл шаманы өлшеммен бір уақытта және әр түрлі уақытта салыстыру болуы мүмкін (1.3 суретті қараңыз). Өз кезегінде, бір уақытта салыстыру әдісі дифференциалдық және нөлдік болып бөлінеді.

Дифференциалдық әдісте өлшеуіш (мысалы, вольтметр V) өлшенетін ЭҚК E_x шамасы және өлшеммен жаңғыртылған белгілі шаманың E_0 , арасындағы айырманы бағалайды.

Нөлдік әдісте өлшенетін E_x және белгілі E_0 шаманың арасындағы айырма белгілі E_0 шаманың өзгерісінің көмегімен нөлге жеткізіледі.

$E_x = E_0$ тендігіне жету факті нөлдік индикатор (НИ) көрсеткішімен анықталады. Нөлдік әдісі жүзеге асыруға мысал – тұрақты ток көпірімен теңестірілетін кедергіні өлшеу.

Бір уақыттық салыстыру әдісінде өлшенетін E_x және белгілі E_0 шаманы салыстыру кезекпен өлшеу тәртібімен жасалады. Егер өлшеуіштің (мысалы вольтметрдің) көрсеткіші E_x шамасын өлшеу кезде V_1 болса, онда белгілі E_0 -ді кірістіріп және оның мәнін екінші және бірінші өлшеулер нәтижелерін теңестіруге ($V_2 = V_1$) дейін жеткізіп $E_x = E_0$ тендігін аламыз.

1.2. ӨЛШЕУЛЕРДІҢ БІРТҰТАСТЫҒЫ

Өлшеулердің біртұтастығы деп өлшеулердің нәтижелері заңдастырылған бірліктермен өрнектелген және өлшеулердің нәтижелерінің қателіктері белгілі немесе берілген ықтималдықпен белгілі болатын күйін айтады. Өлшеулердің біртұтастығы әр түрлі жерлерде, әр түрлі уақыттарда, әр түрлі мамандар әр түрлі өлшеу құралдарының көмегімен жасалған өлшеулердің нәтижелерін салыстыруға мүмкіндік береді. Өлшеулердің біртұтастығы физикалық шамалардың бірліктерінің көпшілік мақұлдаған жүйесін пайдаланумен, стандарттаумен, метрологиялық қамтамасыз етумен, нормативтік-техникалық құжаттамаға сай келетін өлшеудің эталондарымен және үлгі құралдарымен қамтамасыз етіледі.

1.2.1. Физикалық шамалардың бірліктері

Физикалық шаманың бірлігі - анықтама бойынша бірге тең сандық мән берілген физикалық шама.

Біздің елімізде, басқа көптеген елдердегі сияқты, Халықаралық бірліктер жүйесі (System International— SI) қолданылады. Жүйе физикалық шамалардың басқа (туынды) бірліктерінің түзілуіне жеткілікті әрі тәуелсіз физикалық шамалардың бірнеше негізгі бірліктерін таңдауға негізделген.

Физикалық шамалардың негізгі, қосымша және туынды бірліктері. МемСТ 8.417—81 ГСИ «Физикалық Шамалардың бірліктері» ГСИ сәйкес физикалық шамалардың барлық бірліктері негізгі (олар жетеу), қосымша (олар екеу) және туынды (шамамен 200 және олардың саны өсуде) болып бөлінеді. 1.1-ші кестеде физикалық шамалардың негізгі және қосымша

бірліктері көрсетілген.

Физикалық шаманың негізгі бірлігінің нақты өлшемінің мәні болмайтынын ескертеміз. Мысалы, ұзындықтың негізгі бірлігі ретінде метр емес фут немесе аршын алынуы мүмкін. Бастысы физикалық шама бірлігінің көпшілік мақұлдаған, заңдастырылған және туынды бірліктер жасауда негізгі болуы.

Физикалық шамалардың туынды бірліктері негізгі, қосымша және басқа туындылардан әр түрлі функционалды түрлендірулер арқылы түзіледі.

1.1 кесте

Физикалық шамалардың негізгі және қосымша бірліктері

Физикалық шама	Бірлік атауы	Белгіленуі	
		орысша	халықаралық
<i>Негізгілер</i>			
Ұзындық	метр	м	m
Масса	килограмм	кг	kg
Уақыт	секунд	с	s
Электр тогының күші	ампер	А	A
Термодинамикалық тем- пература	кельвин	К	K
Зат мөлшері	моль	моль	mol
Жарық күші	кандела	кд	cd
<i>Қосымшалар</i>			
Жазық бұрыш	радиан	рад	rad
Денелік бұрыш	стерадиан	ср	sr

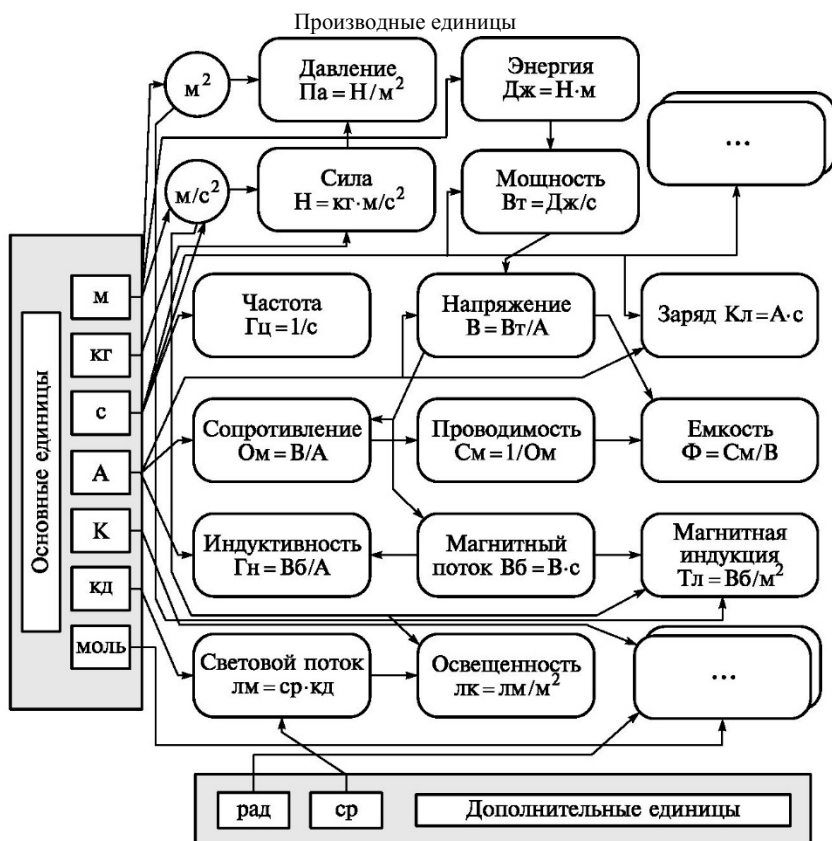


Рис. 1.4. Взаимосвязь основных, дополнительных и производных единиц

Мысалы туынды бірлік ол туынды бірлік вольттың негізгі бірлік амперге қатынасымен түзілген. Физикалық шамалардың кейбір туынды бірліктерінің жасалуы 1.4-ші суретте көрсетілген.

Салыстырмалы бірліктер

Таблица 1.3
1.2 кесте

Бірлік	Белгіленуі	Мәні	Мысалдар
Пайыз	%	1/100 бөлік = 0,01	120 °C-тан $\pm 1\%$ = $\pm 1,2$ °C
Промилле	‰	1/1000 бөлік = 0,001 (1 V = 0,1 %)	100 л-ден 5 ‰ = 0,5 л
ppm (part-per-million)	ppm	1/10 ⁶ = 0,000001	от 100 В-тан 20 ppm = 2 мВ

Еселік және бөлшектік бірліктерді түрлендіруге арналған көбейткіштер мен қосымшалар және олардың атауы

Көбейткіш	Орысша		Халықаралық		Мысалдар
	қосымшаны атауы	қосымшаның белгіленуі	Қосымшаның атауы	қосымшаның белгіленуі	
10 ¹⁸	экса	Э	exa	E	—
10 ¹⁵	пета	П	peta	P	—
10 ¹²	тера	Т	tera	T	2,5 ТОм
10 ⁹	гига	Г	giga	G	1,2 ГГц
10 ⁶	мега	М	mega	M	1,44 Мбайт
10 ³	кило	к	kilo	k	0,4 кВ
10 ²	гекто	г	hekto	h	1,5 га
10 ¹	дека	да	deka	da	10 дал
10 ⁻¹	деци	д	deci	d	60 дБ
10 ⁻²	санتي	с	canti	c	185 см
10 ⁻³	милли	м	milli	m	20 мОм
10 ⁻⁶	микро	мк	micro	mk (p)	450 мкА
10 ⁻⁹	нано	н	nano	n	100 нВ
10 ⁻¹²	пико	п	pico	p	50 пФ
10 ⁻¹⁵	фемто	ф	femto	f	250 фА
10 ⁻¹⁸	атто	а	atto	a	—

1.4 кесте

Таблица 1.3

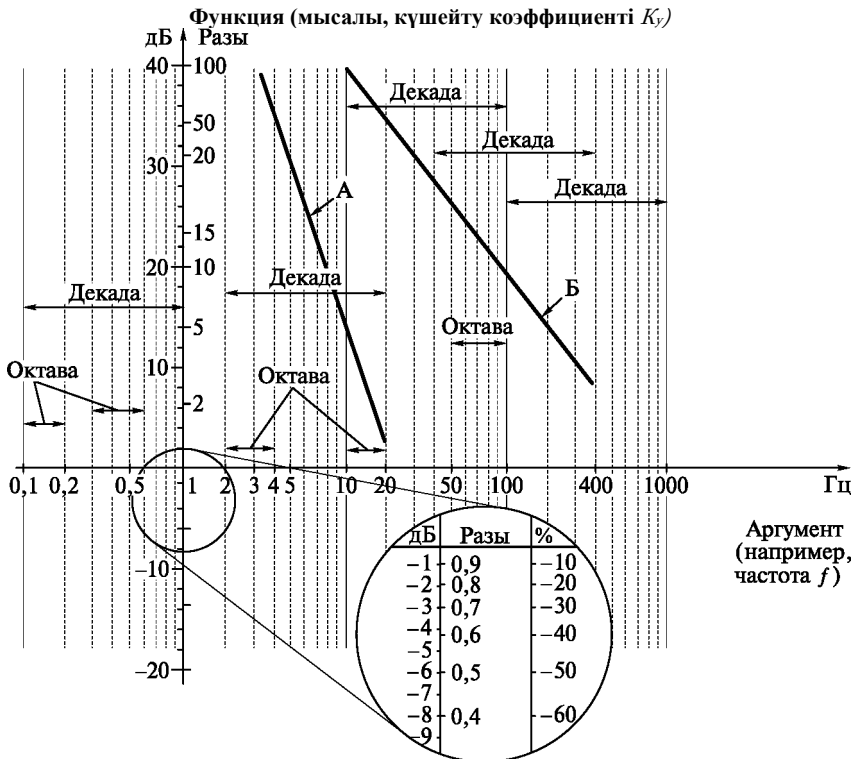
Логарифмдік бірліктер

Бірлік	Белгіленуі	Мәні	Мысалдар
Бел	Б	$P_1/P_2 = 10$ болғанда $1 \text{ Б} =$ $\lg(P_1/P_2)$ $F_1/F_2 = 10$ болғанда $1 \text{ Б} = 2 \lg(F_1/F_2)$	—

Окончание табл. 1.4

Бірлік	Белгіленуі	Мәні	Мысалдар
Децибел	дБ 1 дБ = 0,1 Б	$1 \text{ дБ} = 10 \lg(P_1/P_2)$ $1 \text{ дБ} = 20 \lg(F_1/F_2)$	$P_1 = 100 \text{ кВт}$, $P_2 = 1 \text{ кВт}$, $N = 20 \text{ дБ}$ $F_1 = 1000 \text{ В}$, $F_2 = 10 \text{ В}$, $N = 40 \text{ дБ}$
Декада	дек	$M_2 = 10$ болғанда $1 \text{ дек} = \lg(f_1/f_2)$	Жиіліктер диапазоны 10 нан 100 кГц-ке дейін
Октава	окт	$D/L_2 = 2$ болғанда $1 \text{ окт} = \log_2(f_1/f_2)$	Жиіліктер диапазоны 10 нан 20 кГц-ке дейін

Ескертпе. P_1 және P_2 — қуат типті физикалық шамалар (жұмыс, энергия); F_1 және F_2 — күш типті физикалық шамалар (қысым, кернеу, ток); f_1 және f_2 — жиілік типті физикалық шамалар.



1.5 сурет. Салыстырмалы және логарифмдік бірліктерді графикпен көрсету

Салыстырмалы және логарифмдік бірліктер. Физикалық шамалардың қатынастарын немесе салыстырмалы өзгеруін бағалау үшін қосымша: салыстырмалы және логарифмдік бірліктерді қолдану ыңғайлы (1.2 және 1.4 кестелер).

Еселік және бөліктік бірліктер. Өлшенетін шамалардың мәндерінің диапазондары бүтінде өте үлкен болғандықтан физикалық шамалардың тек бастапқы жүйелік (негізгі, қосымша және туынды) бірліктерімен ғана жұмыс жасау мүмкін емес. Жұмыс ыңғайлы болуы және нәтижелерді жазу үшін физикалық шамалардың қосымша бірліктері – еселік (үлкен бірліктер) және бөліктік (кіші бірліктер) деп аталатын, бастапқы жүйелік бірліктерге қосымшалар (коэффициенттер) енгізу арқылы жасалған бірліктер қолданылады (1.3 сурет).

1.5-ші суретте кейбір салыстырмалы және логарифмдік бірліктер графикпен көрсетілген.

1.5-ші суреттегі А сызығы функцияның (мысалы күшейту коэффициентінің K_v) 40 дБ/декадаға еңкеюіне, Б сызығы - 20 дБ/декадаға еңкеюіне сәйкес келетін аргументтен (мысалы, жиілік f) тәуелділігінің функциясын көрсетеді.

1.2.2. Стандарттау

Бар болғаны бірнеше онжылдық бұрын әлемде физикалық шамалардың бірліктерінің біркелкілігі болмағанын көрсету қызық. Түрлі елдерде, ғылымның, техниканың, өнеркәсіптік өндірістің түрлі салаларында, ауыл шаруашылығында, саудада бірдей шамаларды бағалау үшін көптеген әр түрлі бірліктер қолданылды. Осындай бірліктердің ұлттық (аумақтық), салалық және салааралық алуан түрлі болуы әр түрлі мамандар және/немесе әр түрлі бағытта және/немесе әр түрлі елдерде жасалған ғылыми зерттеулердің, техникалық өлшеулердің және есептеулердің нәтижелерін салыстыруды және қолдануды қиындатты; төтенше қиындықтар туындатты және әлемдік қауымдастықтың дамуын тежеді.

XX ғ. ортасында Халықаралық өлшем және салмақ комитеті жаңа бірліктер жүйесін дайындады және қабылдады. Ол Халықаралық бірліктер жүйесі - System International (SI) деп аталды. 1963 ж. КСРО-да 9867—61 МемСТ енгізілді, оған сәйкес осы жүйе біздің елімізде пайдалану үшін ұсынылды.

Бүгінде өлшеу құралдарын әр түрлі отандық және шетелдік мыңдаған ұйымдар мен фирмалар әзірлейді және сериялы шығарады, миллиондаған мамандар кәсіби қолданады, Жердің бүкіл ересек халқы дерлік іс жүзінде өздерінің күнделікті әрекеттерінде қолданады. Қазіргі кезде өлшеуіш техникаға шығын, өнеркәсіптік өндірісте қызмет көрсету мен метрологиялық қамтамасыз ету негізгі қорлардың 25...30% - на жетеді. Сонымен бірге кәсіпорындағы өндіріс мәдениеті қаншалықты жоғары болса, осындай шығындар үлесі соншалықты жоғары болады. Мұндай жағдайларда өлшеулердің біртұтастығын қамтамасыз ету төтенше маңызды.

Стандарттаудың заңнамалық негізі Мемлекеттік стандарттар жүйесі (МемСТ) болып табылады. Қазіргі кезде елімізде ондаған мың Мемлекеттік стандарттар бар. Олар әртүрлі өнімнің маңызды сипаттамалары мен қасиеттерін, өлшеу әдістемелерінің ерекшеліктерін, ӨҚ сипаттамаларын және т.б. көрсетеді.

Стандарттаудың негізгі мақсаттары мен міндеттері:

- өнім сапасының талаптары мен көрсеткіштерінің біртұтас жүйесін; шикізат пен ресурстардың сипаттамаларын; бақылау және сынау әдістері мен құралдарын анықтау;

- елдегі және әлемдегі өлшеулердің біртұтастығы мен қажетті сенімділігін қамтамасыз ету, ФІШ бірліктерінің эталондарын, жоғары дәлдікпен өлшеу әдістері мен құралдарын жасау және жетілдіру;

- өнеркәсіптік өнімнің бірегейленуін дамыту, өзара алмасу деңгейін арттыру, пайдалану мен жөндеу тиімділігін арттыру, сенімділіктің қажетті деңгейін қамтамасыз ету;

- жабдықтардың түрлерінің, маркаларының, типтік өлшемдерінің тиімді әртүрлілігін бекіту;

- құжаттамалардың бірыңғай жүйесін, бірыңғай терминологияны, белгілеулерді, есептеу әдістерін бекіту.

Стандарттаудың негізгі құраушысы метрологиялық қамтамасыз ету болып табылады. Метрологиялық қамтамасыз ету деп эталондарды, өлшемдерді, аттестацияланған үлгілік ӨҚ, заңдастырылған тексеру әдістерінің, қажетті нормативті-техникалық құжаттаманың (стандарттардың, әдістемелік нұсқаулардың, нұсқаулықтардың), білікті метролог мамандардың болуы және оларды сауатты пайдалануды айтады.

Стандарт - бұл объект (стандарттау) талап ететін және уәкілетті орган (мысалы, Ресей Мемстандартымен) бекітілген нормалардың, ережелердің және талаптардың бекітілетін тізімі.

МемСТ белгілеудің мысалы:

-----»-----				
Біліктілік тобы	Стандарт	Бекіткен жыл	Государственная Бірыңғай өлшеуді Қамтамасыз ету	Стандарт атауы
	т нөмері			

МемСТ 8.401—80 ГСИ «Өлшеу құралдарының дәлдік кластары. Жалпы талаптар»

Метрологиялық аттестаттау — ӨҚ метрологиялық сипаттамаларын анықтау және алынған нәтижелерді көрсетіп тиісті құжатты (сертификатты) әзірлеу үшін метрологиялық орган жасайтын ӨҚ зерттеу.

ӨҚ тексеру – бұл метрологиялық органның (қызметтің) ӨҚ қателіктерін табуы, қателіктер мәндерінің ӨҚ дәлдік класына сәйкестігін белгілеу және оның қолдануға жарамдылығын анықтау. Тексеруді, әдеттегідей, сыналатын ӨҚ түрлендіру нәтижелерін үлгілік (дәлдігі жоғарырақ) ӨҚ түрлендіру нәтижелерімен салыстыру арқылы жүргізеді. Дербес, бірақ кең тараған өлшеуіш аспапты тексеру жағдайында тексеретін аспап көрсеткішін дәлдігі жоғарырақ аспаптың көрсеткіштерімен салыстырады. Үлгі ӨҚ қателігі эксперимент шарттары бірдей болғанда сыналатын ӨҚ қателігінен кем дегенде үш есе аз болуы керек.

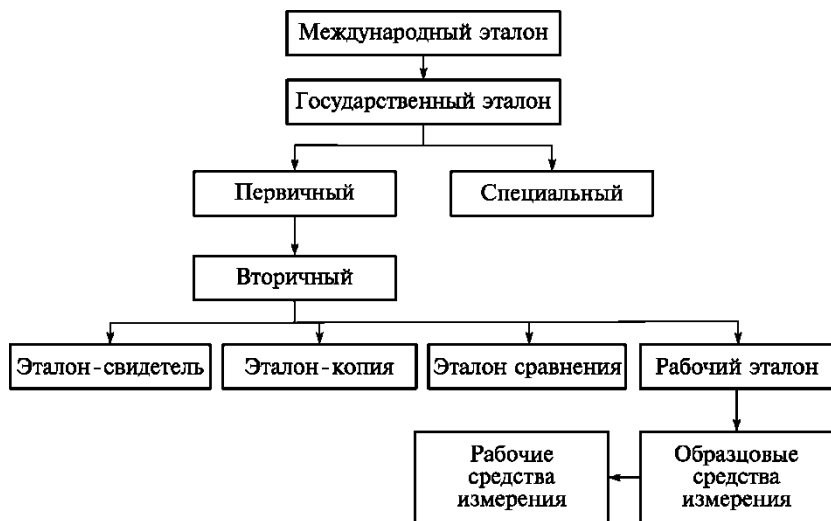
ӨҚ тексеру шарасы калибрлеу шарасына балама емес. Калибрлеу – ӨҚ жүйелі қателіктерін азайту тәсілі, яғни оның түрлендіру сипаттамаларын дұрыстау (түзету). Дербес жағдайда калибрлеу кезінде ӨҚ кірісіне кезекпен нөлдік мәнді үлгілік өлшенетін шаманы (мысалы ӨҚ кірісін қысқартып) және сосын өлшеу диапазонының жоғарғы шегіне тең мәні бар үлгілік өлшенетін шаманы (арнайы өлшем, кейде ӨҚ-да орнатылған) кезекпен береді үлгілік шамалардың түрлендіру нәтижелерін (аспаптың көрсетуін) белгілеп әрі қарай өлшеулер жүргізу үдерісінде түрлендірулер нәтижелерін түзетуге болады. Мұндай іс-шара қосындылық қателікті де, мультипликатив қателікті де азайтуға мүмкіндік береді.

1.2.3. Эталондар

Эталон - бұл физикалық шама бірлігін оның өлшемін басқа ӨҚ (үлгілік немесе жұмыстық) беру мақсатында сақтауды және/немесе жаңғыртуды қамтамасыз ететін және ресми бекітілген ӨҚ. Нақты эталон бірнеше әр түрлі ӨҚ-лардан тұратын кешен түрінде болуы мүмкін. 1.6-шы суретте физикалық шама бірлігінің өлшемін беру сұлбасы келтірілген.

Бұл метрологиялық тізбектегі жоғарғы звено *халықаралық эталон* болып табылады. Бұл эталондар Халықаралық өлшем және салмақ бюросында сақталады (Франция). *Мемлекеттік эталондар* – бұл сол елдегі ең жоғары дәлдікті қамтамасыз ететін эталондар. Эталондарды сақтау – күрделі ғылыми-техникалық міндет, сондықтан олар метрологиялық институттарда сақталады.

Бірдей ФШ бірлігін жаңғыртатын эталондар бірліктерді жаңғырту дәлдіктеріне қарай алғашқы (сол елдегі ең жоғары дәлдікті қамтамасыз ететін) және екінші



1.6 сурет. Физикалық шаманың бірлігінің өлшемін беру сұлбасы

(алғашқысын және тексеру жұмыстарын ұйымдастыру үшін қызмет ететіндерін салыстырумен түзілген) болып бөлінеді. *Бірінші эталон* бірлікті сол елдегі ең жоғары дәлдікпен жаңғырту үшін қызмет етеді. *Арнайы эталон* алғашқы эталонды қолдана алмайтын жағдайда ерекше жағдайларда бірліктерді жаңғырту үшін қолданылады. Алғашқы және бірінші эталондарды мемлекеттік ретінде бекітеді және әрбір ел үшін бастапқы болып табылады.

Екінші эталондар тексеру жұмыстарын және алғашқы эталондарды сақталуын қамтамасыз ету үшін қажет және эталон-күзгер, эталон-көшірме, салыстыру эталоны және жұмыс эталондары болып бөлінеді.

Эталон-күзгерлер мемлекеттік эталонды тексеруге және ол бұзылған кезде оны алмастыруға арналған. Эталон-көшірмелер және салыстыру эталондары өзара салыстыру үшін қолданылады. Жұмыс эталондары бірлік мөлшерін жоғары дәлдікті үлгілік ӨҚ-ға (мысалы, үлгі өлшемдерге) беру үшін қажет.

Үлгілік ӨҚ, олар арқылы жұмыс өлшемдерін тексеруге арналады, өз кезегінде, ӨҚ тексеруге де, әр түрлі есептерде өлшеуге де арналған. Үлгілік өлшемдердің дәлдік кластары өте жоғары. Мысалы, үлгілік катушканың салыстырмалы кателігінің шекті рұқсат етілген мәні 0,0005 % құрауы мүмкін.

Жұмыс ӨҚ тексерумен байланысты емес әр түрлі өлшеулер үшін қолданылады. Электрлік өлшеулерде ЭҚК, кедергінің, индуктивтіліктің, сыйымдылықтың және т.б. жұмыс өлшемдері қолданылады.

1.3. ӨЛШЕУ ДӘЛДІГІ

Өлшеу дәлдігі – өлшеулердің нәтижелерінің өлшенетін шаманың шын мәніне жақындығын көрсететін сапасы.

Сапалық «дәлдік» ұғымының сандық өрнектелуі қателік болып табылады. Өлшеу нәтижесінің (бұл ортақ ұғым) және құралдың қателігі деп бөлген дұрыс.

1.3.1. Өлшеу нәтижесінің қателігі

Өлшенетін шаманың ақиқаттық мәні негізінде табылуы мүмкін емес (сауатты тәжірибе жасаушы осыны түсінгендіктен оған талпынбайды). Сондықтан нәтиженің қателігінің нақты (ақиқаттық) мәнін анықтау да мүмкін емес. және әдетте бұл талап етілмейді. Бағалауға (өлшенетін шаманың жуық мәніне) және қателіктердің мүмкін болатын мәндерінің диапазонына сүйену жеткілікті болады. Қарапайым анықталған тәсіл (ең нашар жағдайдағы тәсіл) тәсіл жағдайында әрбір нақты жағдайдағы қателіктің шектік мәнін, яғни, нақты қателік кепілді арттыра алмайтын мәнін қолданады.

Қателік – едәуір күрделі әрі мағынасы кең ұғым. Өлшеу нәтижелерінің қателіктерінің негізгі жіктемелі белгілерін қарастырайық.

Бірінші жіктемелік белгісі: қатенің себебі не (кім) болатынында. Кез келген өлшеудің нәтижелерінің қосынды қателігі жалпы жағдайда үш құраушыдан құралады: аспаптың, әдістемелік және субъективті.

Аспаптық құраушы аспаптың өзінің негізгі метрологиялық сипаттамаларымен (яғни, ОҚ), оның негізгі және қосымша қателіктерімен анықталады.

Өлшеу нәтижелерінің қателіктерінің әдістемелік құраушысы қолданылатын өлшеу әдісіне тәуелді болады және аспаптың өзінің қателігіне тәуелді емес. Әдістемелік қателік айтарлықтай болуы мүмкін, алайда жиі бағалануы және тіпті теңгерілуі (кейде іс жүзінде толық емес) мүмкін.

Субъективті құраушы аспаптың қателігіне де, өлшеу әдісіне де тәуелді болмайды, негізінен пайдаланушының (субъектінің) жіктеуімен анықталады. Бұл қателікті әрқашан болжау және алдымен бағалау мүмкін емес. Бұл құраушы кез келген өлшеу нәтижесіне қатысуы мүмкін.

Екінші жіктемелі белгісі – қателіктерді өрнектеу тәсілі (1.5 кесте). Абсолюттік қателік Δ (дельта) – ең қарапайымы әрі түсініктісі – бұл өлшенетін шаманың өлшенген X және ақиқаттық $X_{ак}$ мәндерінің (немесе дәлірек аспаппен алынған нақты X) арасындағы айырма.

Абсолюттік және салыстырмалы қателік

Көрсету түрі	Формула
Абсолюттік қателік	$\Delta = \dots$
Салыстырмалы қателік, %	$\delta = \frac{\Delta}{X} \cdot 100$

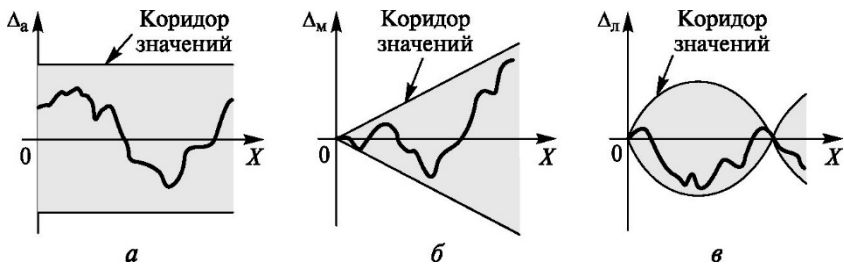
ескертпе. X — шаманың өлшенген мәні (өлшеу нәтижесі); X_0 — өлшенетін шаманың нақты мәні.

Салыстырмалы қателік δ (кіші дельта) – абсолюттік қателіктің пайызбен көрсетілген нақты X_0 (немесе өлшенген X) мәніне қатынасы.

Үшінші жіктемелі белгісі – қателіктің (абсолюттік түрдегі) өлшенетін шама X мәніне тәуелділігі. Қателіктер аддитивті, мультипликативтік және сызықтық қателіктері болып бөлінеді (1.7-ші сурет).

Аддитивті деп мәні өлшенетін шаманың мәніне тәуелсіз X дәлізінің шегінен шықпайтын Δ_a қателікті айтады (1.7, а суретті қараңыз). Мультипликативтік деп мәні өлшенетін шаманың мәніне сызықты тәуелді өлшенетін шаманың X дәлізінің шегінен шықпайтын Δ_m қателікті айтады (1.7, аб суретті қараңыз). Кез келген басқа тәртіп сызықтық Δ_d қателікке тән, жиі қысқарған түрде сызықты еместік деп (1.7, в суретті қараңыз).

Төртінші жіктемелі белгісі- қателіктің көріну сипаты. Қателіктер жүйелі және кездейсоқ болып бөлінеді. *Жүйелі* – бұл экспериментті қайтадан жасағанда мәні өзгермейтін немесе белгілі заңмен өзгертін қателік.



1.7 сурет. Қателіктің өлшенетін шама X мәніне тәуелділігі:

a — аддитивті қателік; b — мультипликативті қателік; $в$ — сызықтық қателігі

Жүйелі қателіктер, әдеттегідей, өлшеу нәтижелеріне түзетулер енгізу арқылы бағалануы және есептелуі мүмкін. *Кездейсоқ* қателіктер – бұлар мәнін болжап болмайтын қателіктер. Оператордың кездейсоқ өрескел қателігімен немесе апаратураның аз уақыт істен шығумен түсіндірілетін, немесе сыртқы электромагниттік өрістердің әсерінен болатын әр түрлі жаңсақтықтар (жаңылулар) жатады. Көп рет өлшеу жағдайында кездейсоқ қателіктердің әсерін алынған нәтижелерді өңдеумен, мысалы, олардың арифметикалық орташа мәнін табумен азайтуға болады.

Өлшеу құралдарының қателіктері

Қағида бойынша (және әдетте сауатты ұйымдастырылған эксперименттерде) өлшеу нәтижесінің қосынды қателігіндегі анықтаушы ӨҚ өзінің қателігі, яғни, *аспаптық қателік* болып табылады.өз кезегінде бұл құраушы 1.8-ші суретте көрсетілгендей жіктелуі мүмкін. Кейбір жіктеу белгілері өлшеу нәтижесінің қателігі үшін де, және ӨҚ қателігі үшін де жалпы болады. Өлшеу құралдарының өздеріне тән қателіктер 1.8-ші суретте фонмен белгіленген.

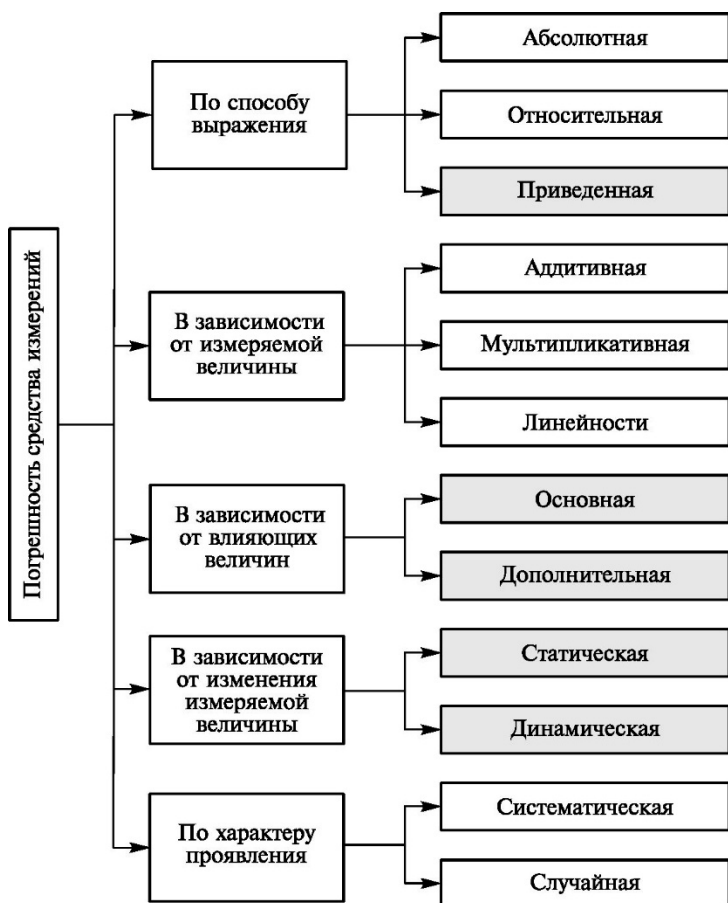
Бірінші жіктемелі белгісі (өрнектеу тәсілі) бойынша ӨҚ қателіктерін абсолюттік, салыстырмалы және келтірілген қателіктер деп бөледі. Алғашқы екеуі 1.3.1 қосалқы бөлімінде көрсетілген. *Келтірілген* қателік у – абсолютті қателіктің А аспаптың пайызбен өрнектелген нормалайтын мәніне X_H (көбінесе бұл өлшеу диапазонының жоғарғы шегі) қатынасы.

Екінші жіктемелі белгі де 1.3.1 қосалқы бөлімінде көрсетілген.

Негізгі қателік ӨҚ-ны (соның ішінде аспапты) қалыпты пайдалану жағдайларында, яғни, барлық әсер ететін шамалардың мәндері алдын ала ескертілген диапазонының шегінде болатын кезде орын алады. *Қосымша* қателік әсер ететін шамалардың (мысалы, қоршаған орта температурасының) мәндері қалыпты мәндердің шегінен шығып кеткенде пайда болады.

ӨҚ (аспаптың) статикалық қателігі – тұрақты (немесе өте баяу өзгеретін) шаманың мәнін өлшеу кезіндегі, яғни, статикалық өлшеулер (зерттеу объектісінің статикалық үлгілерін қолданғанда) жағдайындағы қателік.

Динамикалық қателік уақыт бойынша жеткілікті жылдам өзгеретін шамаларды (өлшенетін шаманың дәл ақпараттаушы параметрін) зерттеу кезінде пайда болады. Мысалы, егер электр тізбегінің айнымалы кернеуінің нақты мәні (бұл жағдайда ақпараттаушы параметрі)



1.8 сурет. Өлшеу құралдарының қателіктерінің қарапайым жіктелуі

өзгермесе және қалқандық электромагниттік вольтметрмен өлшенетін болса, онда мәтіндік қателік қана болады, дегенмен шығыстық шаманың өзі (кернеу уақыттың функциясы) шамамен 50 Гц жиілікпен өзгереді.

Жүйелі және кездейсоқ ӨҚ қателіктері 1.3.1 қосалқы бөлімінде қарастырылған.

1.3.1. Өлшеу құралдарының дәлдік кластары

Дәлдік класы – бұл рұқсат етілген негізгі және қосымша қателіктердің шекті белгілерімен анықталатын ӨҚ-ның жалпыланған метрологиялық сипаттамасы. Әр түрлі ӨҚ дәлдік кластары МемСТ 8.401—80. «Өлшеу құралдарының дәлдік кластары. Жалпы талаптар» сәйкес әр түрлі берілуі мүмкін. Осы стандарт ӨҚ-ның дәлдік кластар бойынша бөлінуін, метрологиялық сипаттамаларды нормалау тәсілдерін, ӨҚ дәлдік класына

тәуелді болатын талаптар кешенін, сондай-ақ дәлдік класстарын белгілеуді бекітеді.

ӨҚ рұқсат етілген қателіктерінің шектері абсолютті, салыстырмалы немесе келтірілген қателіктер түрінде өрнектеледі (1.6-шы кесте).

Егер ӨҚ қателігі аддитивті сипатта болса, онда дәлдік класы негізгі абсолюттік немесе келтірілген қателіктің дәлдік классымен (1.6 кестенің 1 және 2 нұсқалары) беріледі. Егер ӨҚ қателігі мультипликативтік сипатта болса, онда дәлдік класы негізгі салыстырмалы қателіктің шегімен (1.6 кестенің 3 нұсқасы) беріледі. Егер қателіктің аддитивті де, мультипликативтік те құраушылары болса, онда дәлдік класы абсолютті қателіктің шегімен (1.6 кестенің 4 нұсқасы) немесе негізгі салыстырмалы қателіктің шегімен (1.6 кестенің 5 нұсқасы) берілуі мүмкін.

1.9-шы суретте дәлдік класстарын берудің әр түрлі тәсілдері графикпен көрсетілген. 1.9, а суретте 1. 6 кестенің 1 және 2 нұсқалары, 1.9, б суретте 3 нұсқасы 1.9, в және 1.9, г суреттерде - сәйкесінше 4 және 5 нұсқалары келтірілген. 1.9 суретте кескінді оңайлату үшін қателіктердің шектік мәндерінің симметриялық дәліздері емес, тек олардың модульдері көрсетілген.

1.6 кесте

Дәлдік класстарын беру түрлері

Нұсқа	Көрсету түрі	Формула
1	Негізгі абсолюттік қателіктің шегі	$A_n = \pm a$
2	Негізгі келтірілген қателіктің шегі, %	$\frac{a}{X_n} = \pm \frac{a}{X_n} = \pm$
3	Негізгі абсолюттік қателіктің шегі, %	$\frac{a}{X_n} = \pm \frac{a}{X_n} = \pm$
4	Негізгі абсолюттік қателіктің шегі	$A_n = \pm(a + bX)$
5	Негізгі абсолюттік қателіктің шегі	$\Gamma \left(\frac{X}{L} \right) = \pm \frac{c + dX_k - 1}{1^X}$

Ескертпе. X_n – ӨҚ-ның нормаландырушы мәні; X – өлшенетін шаманың нақты мәні; X – өлшенетін шаманың өлшенген мәні; X_k – ӨҚ өлшеу диапазонының соңғы мәні; a, b, c, d, p, q – тұрақты коэффициенттер - 1-10"; 1,5-10"; (1,6-10"); 2-10"; 2,5-10"; (3-10"); 4-10"; 5-10"; 6-10" қатарынан таңдалатын дерексіз оң сан, мұндағы $n = 1, 0, -1, -2$ және т.б.

Дәлдігі жоғары емес қарапайым өлшеуіш аспаптардың, мысалы, қалқандық бағыттама вольтметрлердің дәлдік кластары негізгі келтірілген қателіктің шегімен беріледі (1.6 кестедегі 2 нұсқа). Өзі жазатын аспаптар үшін дәлдік класын негізгі салыстырмалы қателіктің шегімен беру тән болады (1.6 кестедегі 3 нұсқа). Орташа және жоғары дәлдікті ӨҚ үшін 1.6 кестедегі 4 және 5 нұсқалары қолданылады. Мысалы, көпірлер, компенсаторлар, цифрлық өлшеу аспаптары үшін, әдеттегідей 1.6 кестедегі 5 нұсқа қолданылады. Заманауи цифрлық ӨҚ үшін қателікті берудің бүкіл әлемде ең көп тараған (және бірмезгілде ең түсінікті) түрі 1.6 кестедегі 4 нұсқа болып табылады.

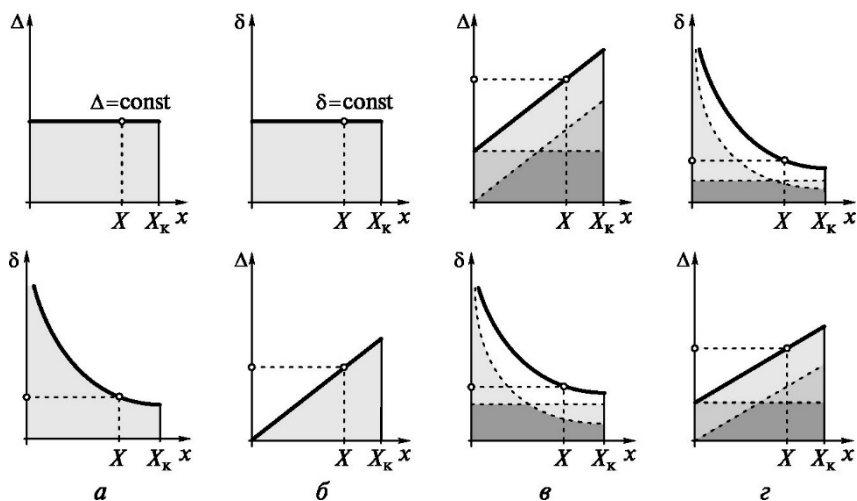
Сонымен бірге негізгі абсолютті қателіктің шегінде D_n аддитивті ($\pm a$) де және мультипликативтік ($\pm bX$) де құраушылар болады:

$$D_n = \pm(a + bX),$$

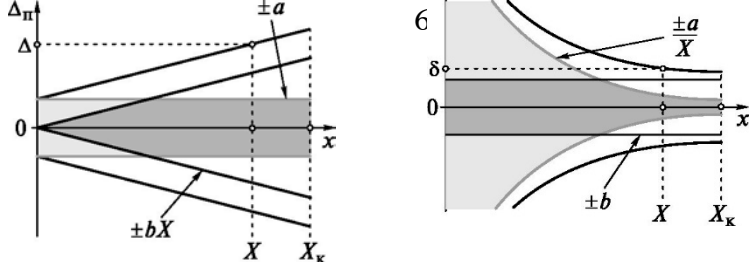
мұндағы X - өлшенетін шаманың мәні; a және b – тұрақты коэффициенттер.

1.10, a суретте аддитивті, мультипликативтік құраушыларды және абсолюті түрде көрсетілген қосынды қателікті графикпен көрсеткен, ал 1.10, б суретте – осы құраушылар мен салыстырмалы түрде көрсетілген қосынды көрсетілген.

Дәлдік класын аддитивті және мультипликативтік құраушылары бар абсолютті қателік шегімен беру түрі



1.9 сурет. 32 дәлдік класының әр түрлі тәсілдерін графикпен көрсету



1.10 сурет. Абсолюттік (а) және салыстырмалы (б) түрдегі аддитивті, мультипликативтік және қосындылық қателіктер

бірнеше жазу нұсқасына ие болуы мүмкін. мысалы, цифрлық термометрдің дәлдік класы келесі түрде берілуі мүмкін:

$$D_n = \pm(0,5 \% \text{ нәтиже} + 2 \text{ КТР бірлігі}),$$

мұндағы КТР – кіші таңбалаушы разряд.

Мұндағы бірінші қосынды - бұл мультипликативтік, ал екіншісі – аддитивті қателік.

Басқа мысал – цифрлық мультиметр айнымалы кернеулерді өлшеу режимінде төмендегі өрнекпен анықталатын дәлдік класына ие болады

$$D_n = \pm(1,0 \% \text{ нәтиже} + 0,5 \% \text{ өлшеу диапазоны}).$$

Шетелдік аппаратура (ағылшын тіліндегі әдебиет үшін) үшi дәлдік класын былай жазу тән:

$$D = \pm(aFS + bR)_D$$

мұндағы $\underline{FS}$ (FullScale) – өлшеу диапазонының жоғарғы мәні; R (Reading) – өлшеу нәтижелері (санап шығару); a, b - тұрақты коэффициенттер.

1.3.4. Негізгі және қосымша қателіктер

Негізгі аспаптық қателік ӨК дәлдік класы бойынша табылады. Мысалы, қалыпты жағдайда дәлдік класы 1,5 өлшейтін мәндер диапазоны 0...300 В (нормалаушы мәні $X_n = 300 \text{ В}$) қалқандық электромагниттік вольтметрмен $\underline{U} = 220 \text{ В}$ кернеудің нақты мәнін өлшеудің нәтижесі алынған. $\underline{U}$ өлшеу нәтижесінің абсолюттік D мен салыстырмалы 5 аспаптық қателіктердің шектік мәндерін анықтау керек.

Негізгі абсолюттік А қателіктің шектік мәнін бағалаймыз:

$$\frac{\sqrt{X_k}}{300} \cdot 1,5 = \pm 4,5 \text{ В.}$$

$$100 = \pm 100$$

Негізгі салыстырмалы қателіктің 5 шектік мәні :

$$\delta = \frac{A}{U} \cdot 100 = \pm \frac{4,5}{220} \cdot 100 = \pm 2,0 \text{ \%}.$$

Өлшеу нәтижелерінің қосындылық қателіктерін есептеуден жалпы жағдайда құраушылардың (негізгі, қосымша, әдістемелік, өзара әрекеті және т.б.) максималды саны табылуы мүмкін.

Қосымша қателік ӨҚ (соның ішінде аспаптың) қалыпты емес, жұмыс жағдайында, бір немесе бірнеше әсер етуші шамалар қалыпты мәндер аумағынан шыққан (бірақ жұмыс мәндерінің диапазонының ішінде болған) кезінде пайда болады.

Әсер етуші шама (ӘШ) – бұл осы экспериментте өлшенбейтін, бірақ өлшеу немесе түрлендіру нәтижелеріне әсер ететін физикалық шама. Мысалы электр тізбегіндегі тоқты өлшеу бойынша экспериментте кейбір басқа физикалық шамалар (қоршаған ортаның температурасы, атмосфералық қысым, ауаның салыстырмалы ылғалдығы, электр және магнит өрістері, ӨҚ қоректік кернеуі) әсер етуші шамалар болып табылады. Әрине, егер біз қоршаған ортаның температурасын өлшейтін болсақ, онда бұл экспериментте температура өлшенетін шама болады.

Әсер етуші шамалар едәуір үлкен аралықта өзгеруі мүмкін. Қоршаған ортаның әр түрлі әсер ету жағдайларында ӨҚ жұмысқа жарамдылығын бағалау кезінде мүмкін ӘШ мәндерінің үш аумағын бөліп көрсетеді:

- ӘШ қалыпты мәндерінің аумағы (бұл ретте ӘШ мәні алдын ала ескертілген – қалыпты мәндер шегінде болады);
- ӘШ жұмыс мәндерінің аумағы (бұл ретте ӘШ мәндері өзінің жұмыс мәндерінің диапазонында болады);
- ӨҚ сақтау немесе тасымалдау мүмкін болатын ӘШ мәндерінің аумағы.

Аспаптық қателіктерді бағалау тұрғысынан бізді тек алдыңғы екі аумақ қызықтырады (1.11 сурет). ӨҚ қалыпты мәндерінің аумағы әдетте номиналды мәнге p_0 салыстырмалы симметриялы диапазонмен $p_1 \dots p_2$ беріледі. Осы ӘШ мәндерінің мүмкін болатын диапазонында ӨҚ қолдану жағдайы қалыпты (ҚЖ) деп саналады және тек негізгі ӨҚ қателігі болады.

Әсер етуші шаманың мәні /	Әсер етуші шаманың жұмыстық мәндерінің аумағы	Қалыпты мәндер аумағы	Әсер етуші шаманың жұмыстық мәндерінің аумағы
V			
ӨҚ қолдану жағдайы	ӨҚ қолданудың жұмыстық жағдайы	Қалыпты жағдай	ӨҚ қолданудың жұмыстық жағдайы
N			
Қателік " /	Негізгі және қосымша қателіктер	Негізгі қателік	Негізгі және қосымша қателіктер

1.11 сурет. Әсер етуші шаманың мәндері, қолдану жағдайлары және өлшеу құралдарының қателіктері

Жұмыстық мәндер аумағы деп ӨҚ қалыпты қолданылуы мүмкін болатын ӘШ мүмкін өзгерістерінің кеңірек диапазонын айтады. Бұл диапазонның шекаралар сәйкесінше төменгі p_n және жоғарғы p_n ӘШ шектік мәндерімен беріледі. ӘШ мәндерінің осы диапазонында ӨҚ қолдану жағдайлары жұмыстық (ЖЖ) деп аталады, сонымен бірге мұнда тек негізгі ғана емес қосымша қателік те болады. Осылайша, жұмыс жағдайларының шектерінде, бірақ қалыптың шегінен тыс жұмыс істегенде жалпы аспап қателігі негізгі және қосымша қателіктерден қосылады.

Мысалы, барлық өлшеу эксперименттеріндегі ең маңызды ӘШ – қоршаған орта температурасы – қалыпты (Ресей үшін) мәндер аумағы, сәйкесінше, ӨҚ қолданудың қалыпты жағдайы көптеген кәдімгі техникалық өлшеу эксперименттерінде $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ немесе $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Қалыпты мәндер аумақтары тұрақты болмайды, жасалатын өлшеулердің, өлшенетін шамалардың, ӨҚ дәлдік класстарының ерекшеліктеріне тәуелді болады. Мысалы, ӨҚ қаншалықты дәл болса, қалыпты температуралардың қажетті диапазоны соншалықты тар болады. Дәлдіктің жоғары класының (0,0005; 0,001; 0,002) электрлік кедергісінің өлшемі үшін температураның номиналды мәнінен рұқсат етілген ауытқуы сәйкесінше $\pm 0,1^\circ\text{C}$; $\pm 0,2^\circ\text{C}$; $\pm 0,5^\circ\text{C}$ құрайды. Шетелдік аспаптар үшін жиі номиналды температураға $+23^\circ\text{C}$ алынады. Кәдімгі өлшеулерге арналған кейбір негізгі ӘШ номиналды мәндері мен қалыпты мәндер диапазоны 1.7-ші кестеде көрсетілген.

ӘШ қалыпты мәндерінің аумағы арнайы өлшеулерде жеке ӨҚ сипаттамасында немесе өлшеу жүргізу әдістемелерінде ескертіледі.

Әсер етуші шамалардың қалыпты мәндерінің диапазоны

Әсер етуші шама	Мәні
Қоршаған орта температурасы, °C	20 ± 5 немесе 20 ± 2
Ауаның салыстырмалы ылғалдығы, %	55.60
Атмосфералық қысым, кПа (мм сын.баға.)	100 ± 4 (750 ± 30)
Қоректендіру желісінің кернеуінің әрекеттегі мәні, В	$220 \pm 10\%$
Қоректендіру желісінің кернеуінің жиілігі, Гц	$50 \pm 1 \%$
Қоректендіру желісінің кернеуінің максималды бей сызықтық коэффициенті, %	5

Әр түрлі тағайындалған ӨҚ үшін пайдаланудың жұмыстық жағдайларының диапазоны әр түрлі. Зертханада қолданылатын ӨҚ үшін бұл температуралардың $0... +40$ °C аралығы болуы мүмкін (1.12-сурет).

Өнеркәсіпте қолданылатын ӨҚ үшін ӘШ жұмыс мәндерінің аумағы, айталық, зертханалықпен салыстырғанда кеңірек болады. Әскери мақсаттағы өлшеу аппаратурасында ӘШ жұмыстық мәндерінің аумағы одан да кең болады.

Сақтау шарттары ӘШ мәндерінің ең кең диапазонына рұқсат береді. Мысалы, қоршаған ортаның негізгі параметрі – температура үшін аспаптың төлқұжатында: «жұмыс температурасының диапазоны: $0... +40$ °C, сақтау температурасының диапазоны: $-10... +60$ °C» деп жазылуы мүмкін.

Дәлдік класын, қоршаған ортаның әсер ету коэффициенттерін (мысалы температуралық коэффициентті), сонымен қатар өлшенетін сигналдардың (мысалы, әрекеттік мәндерін өлшеу кезіндегі кернеудің периодты сигналының жиілігін) ақпараттаушы емес параметрлерінің әсер ету коэффициенттерін біле отырып қосымша қателіктің мәнін бағалауға және сосын негізгі және қосымша құраушыларын қосып қосындылық аспаптық қателікті табуға болады.



1.12 сурет. Әсер етуші шаманың – қоршаған ортаның температурасының мүмкін болатын мәндерінің диапазоны

Аспаптық қателіктің қосымша құраушысын бағалауды табу мысалын тек бір (бірақ өте маңызды, және бақытқа орай, ең оңай анықталатын) ӘШ-ның - температураның ғана әсер етуі мысалында қарастырамыз. Эксперимент жасаған соң милли амперметрдің дәлдік класы бойынша оның аспаптық қателігі $\Delta_0 = \pm 1,0 \text{ мА}$ табылды; эксперимент барысындағы температура $+28^\circ\text{C}$ болды делік. Аспаптың төлқұжатындағы температуралық коэффициент былай анықталған: «...номиналды температурадан әрбір 10°C өзгешелігіне қосымша қателік $+20^\circ\text{C}$ қоршаған ортаның 0 ден $+50^\circ\text{C}$ дейінгі жұмыс температурасының диапазонының шегінде негізгі қателікке тең. Сонда қосымша абсолюттік қателіктің шекті мәні Δ_d бұл жағдайда келесі түрде анықталады :

$$\Delta_d = \frac{\Delta_0(28 - 20)}{10} \pm 1,0 \cdot \frac{8}{10} = \pm 0,8 \text{ мА}.$$

1.3.5. Әдістемелік қателік

Өлшеу нәтижесінің қателігі тек ҚӨ дәлдік классымен ғана анықталмайтыны белгілі. Нәтиженің анық еместігінің басқа да себептері болуы мүмкін. нәтиженің жалпы қателігінің әдістемелік құраушысының пайда болуын түсіндіретін мысалдарды қарастырайық.

Активті R жүктемедегі қуатты амперметр және вольтметр әдісімен жанама өлшеу бойынша экспериментті қарастырайық (1.13. а сурет). Вольтметрдің U_V және амперметрдің I_A көрсеткіштерін қарапайым көбейту нәтижесінде біз керек болған мәнді алмаймыз, себебі бұл экспериментте аспаптардың дәлдіктерінің класстарымен анықталмайтын, олардың басқа сипаттамаларымен (мысалы, ішкі кедергілерімен) және оларды қолдану әдістерімен (мысалы, қосу сұлбасымен) анықталатын қателік пайда болады.

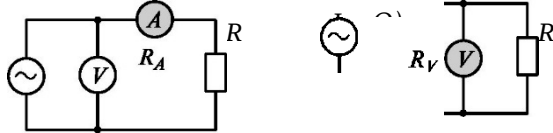
Вольтметр бұл сұлбада ($U_R + U_j$) қосындысын, яғни, R жүктемеде кернеудің түсулерінің қосындысын және амперметрдің ішкі R_A кедергісін сезінеді. Вольтметрдің көрсеткіші U_V , есептелген P және қуаттың нақты P_d мәндері, сәйкесінше төмендегідей болады:

$$U_V = I A (R_A + R);$$

$$P = U_V I_A;$$

$$P_d = I^2 R.$$

Осылайша, бұл жағдайда қатенің себебі соңғы (аз бірақ нөлдік емес) амперметрдің ішкі кедергісінің R_A болуында болады.



6

1.13 сурет. Аспаптарды әр түрлі қосу кезіндегі әдістемелік қателіктердің пайда болуы:

a — вольтметр-амперметр; б — амперметр — вольтметр

абсолюттік A және салыстырмалы 5 түрлеріндегі қуаттарды өлшеу нәтижелерінің әдістемелік қателігінің мәнін келесі түрде бағалауға болады:

$$A = \frac{P}{R_A} = I A R_A; \quad A$$

$$5 = 100 = \frac{R}{R_A} 100. \text{ Рд} \quad R$$

Амперметрдің кедергісін R_A біле отырып, біріншіден, осы жағдай үшін әдістемелік қателіктің мәнін бағалауға, ал екіншіден, қуатты есептеу нәтижелерін түзетуге (жөндеуге) болады.

Сандық мысалды қарастырайық. 1.13 а суреттегі сұлбада ішкі кедергісі $R_A = 10$ Ом амперметр қолданылды делік. Вольтметрдің және амперметрдің көрсеткіштері алынды: $U_V = 250$ В, $I_A = 2$ А. Осы көрсеткіштермен есептелген қуат $P = U_V I_A = 500$ Вт.

Абсолюттік әдістемелік қуат $A = \frac{I^2 R_A}{R} = 4 \cdot 10 = 40$ Вт, өлшеу нәтижесінің 8 %-ын құрайды. Шынында, бұл жағдайда кедергінің R_A мәнін дәл білген кезде осы қателіктің белгісі мен мәні анық белгілі. Осылайша, осы мысалдағы осы құраушыны іс жүзінде толығымен (есептелген P нәтижесін $A = 40$ Вт мәніне көбейтіп) компенсациялауға болады.

Аспаптарды қосу сұлбасын өзгерту (амперметрді ЭҚК Е көзіне жақын қою, 113. Б сурет) әдістемелік қателікті жоймайды, тек оның табиғатын біраз өзгертеді. Бұл жағдайда қателіктің себебі соңғы (шексіз үлкен емес) вольтметр кедергісі R_V және ол арқылы өтетін ток I_V болады және сондықтан амперметрдің көрсетуі $I_A = I_R + I_V$ біраз жоғарылаған.

Амперметр кедергісінің R_A және 1.13.а сұлбадағы жүктеменің кедергісінің R_V қатынасы қаншалықты аз болса, соншалықты жақсы, яғни қателік соншалықты аз. Екінші сұлба үшін (1.13. б суретті қараңыз), вольтметр кедергісі R_V жүктеме кедергісімен R салыстырғанда қаншалықты жоғары болса, соншалықты жақсы.

Вольтметр мен амперметрді кезекпен қосып кернеу мен тоқты жеке өлшеуге болар еді. Алайда экспериментті ұйымдастыру кезінде

өлшенетін шамалардың эксперименті үдерісінде өзгермейтініне сенімді болу керек. Әйтпесе айтарлықтай динамикалық қателік пайда болуы мүмкін (1.3.7 бөлігінде).

1.3.6. Өзара әрекеттесу қателігі

Нәтиженің жалпы қателігінің осы құраушысы сигнал мен аспаптың соңғы кедергілерінің себебінен пайда болады. 1.14-ші суретте 1.14 кірістік кедергісі R_V үлкен, бірақ шексіз емес вольтметр көрсетілген. Вольтметрді ЭҚК көзіне қосқанда тізбекте ЭҚК E_x мәнімен, сондай-ақ аспаптың ішкі кедергісінің R_V мәнімен анықталатын ток I жүреді. Сондықтан вольтметрмен өлшенетін кернеу U_V әрқашан ЭҚК E_x мәнінен біраз кіші болады, бұл *өзара әрекеттесу қателігінің* A_{B3} пайда болуына алып келеді. вольтметр мен кернеу көзінің өзара әрекеттесу қателігі A_{B3} келесі түрде анықталады:

$$A_{B3} \approx -A_{S_{B3}} = - \frac{100}{R_V}$$

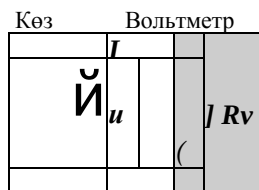
Өзара әрекеттесу қателігінің мәнін мысалмен бағалайық. Ішкі кедергісі $R_H = 10 \text{ Ом}$ $E_x = 10 \text{ В}$ ЭҚК көзіне ішкі кедергісі $R_V = 10 \text{ кОм}$ аналогты вольтметр қосылған. Қалған барлық қателіктерді ескермей аспаптың көрсетуін, өзара әрекеттесудің абсолюттік және салыстырмалы қателіктерінің мәндерін анықтаймыз. Бұл жағдайда вольтметрдің көрсетуі

$$U_V = 10 \text{ В} \cdot \frac{10 \text{ кОм}}{10 \text{ кОм} + 0,01 \text{ кОм}} = 9,99 \text{ В}.$$

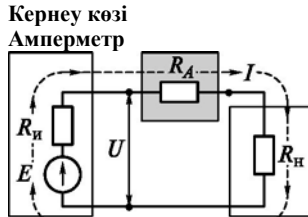
өзара әрекеттесу қателігінің абсолюттік және салыстырмалы мәндері тең, бұдан:

$$A_{B3} = -0,01 \text{ В}; S_{B3} = -0,1\%.$$

Токты амперметрлермен өлшеу кезінде де өзара әрекеттесу қателігі пайда болады (1.15 сурет).



1.14 сурет. Вольтметр мен кернеу көзінің өзара әрекеттесу қателігі



1.15 сурет. Амперметрдің тізбектегі токқа әсері

Кернеу көзі	Вольтметр			Жүктеме
*■0 «(00	И	С"	= П*БЖ	

1.16 сурет. аспап пен периодты кернеу көзінің өзара әрекеттесу қателігі

Амперметрде аз, бірақ нөлдік емес ішкі кедергі $Y_{\text{л}}$ болады, және оны тізбекке қосқанда ондағы біраз азаяды.

Егер E көздің ішкі кедергісінің $Y_{\text{н}}$ мәнін, ол жүктеме кедергісінен анағұрлым кіші $Y_{\text{н}}$ ($Y_{\text{н}} \ll Y_{\text{н}}$) деп санап, оны ескермейтін болсақ, онда амперметр қосылған тізбектегі I ток ЭҚК E мәнінің жүктеме $Y_{\text{н}}$ мен амперметр $Y_{\text{л}}$ кедергілерінің қосындысына қатынасымен анықталады деп айтуға болады. Амперметрі жоқ тұйық тізбектегі токтың нақты мәні I_0 тек жүктеме кедергісімен ғана $Y_{\text{н}}$ анықталады:

$$I = \frac{E}{Y_{\text{н}} + Y_{\text{л}}} \approx \frac{E}{Y_{\text{н}}}$$

Бұл жағдайда ток мәндерінің арасындағы айырма ($I - I_0$) аспап пен зерттеу нысанының өзара әрекеттесу қателігі $A_{\text{вз}}$ болады. Өзара әрекеттесу қателігінің абсолюттік және салыстырмалы мәндері сәйкесінше:

$$A_{\text{вз}} = I - I_0 = - \frac{E Y_{\text{л}}}{I_0^2}$$

$$A_{\text{с}} = - \frac{Y_{\text{л}}}{Y_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

Айнымалы кернеулермен және токтармен жұмыс істген кезде жалпы қателіктің осы құраушысы айтарлықтай үлкен болуы мүмкін. Мысалы, аспап пен периодты кернеу көзінің өзара әсерлесін қарастырайық. Поскольку входное сопротивление вольтметрдің (немесе осциллографтың) кірістік кедергісі жалпы жағдайда актив $Y_{\text{вх}}$ және сыйымдылықты $C_{\text{вх}}$ бөліктен тұратын кешенді кедергі $Z_{\text{вх}}$ болғандықтан (1.16 сурет), жалпы кірістік кедергі актив және сыйымдылықты кедергілердің параллель жалғануы болады.

Аспап пен периодты кернеу көзінің өзара әрекеттесу қателігі келесі түрде анықталады:

$$L_{B3} = \frac{U - U_d}{Z_{BX}}; L_{B3} = -A \cdot U; 5_{B3} = - \begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ & Z_{BX} & \end{matrix}.$$

Бұл жағдайда кешенді кіріс кедергісі Z_{BX} қаншалықты кіші болса, яғни, актив құраушы L_{BX} қаншалықты кіші болса және кірістік сыйымдылықтың C_{BX} мәні қаншалықты үлкен болса, өзара әрекеттесу қателігі соншалықты үлкен болады. Сигнал жиілігі артқан сайын сыйымдылықты құраушы 2_{BX} қатты азаяды, ол өзара әрекеттесу қателігінің ұлғаюына алып келеді.

Шынында, сигналдардың төменгі жиіліктерінде (өнеркәсіптік жиілікті электр тізбектерінде олар салыстырмалы төмен – спектрдің жоғарғы шекарасы әдетте жүздеген герцтен - килогерц бірлігінен аспайды) сыйымдылықты құраушы C_{BX} (әдетте бұл ондаған – жүздеген пикофарад) іс жүзінде көрініс бермейді және аспаптың жалпы кірістік кедергісінің 2_{BX} актив құраушысы L_{BX} туралы ғана айтуға болады.

1.3.7. Динамикалық қателік

Динамикалық қателік – бұл өлшеу үдерісінде өзгеретін физикалық шаманы өлшеу кезінде пайда болатын ӨҚ қателігі.

Нысанның статикалық үлгісі туралы (ешқандай негізсіз) жорамал үлкен қателіктерге алып келуі мүмкін. Аспаптың инерциялылығы жылдам өзгеретін кіріс сигналдарында өлшеу нәтижесінің динамикалық қателігін туындатады, ал кейде жай нәтижені анықтау мүмкіндіктеріне алып келеді. Айқын мысал: магнит электрлік амперметр токтың қысқа уақыттық (ұзақтығы, мысалы, 1 с-тан аз) импульсін тіркей алмайды.

1.17-ші суретте магнит электрлік өлшеуіш механизм арқылы жылдам өзгеретін ток өткен кездегі динамикалық қателіктің L_d пайда болуы көрсетілген. 1.17-ші суретте механизм арқылы өтетін токтың өзгеру қисығы $i(t)$ және көрсетулердің өзгеру қисығы $\alpha(t)$ көрсетілген. Аспаптың қозғалмалы бөлігінің механикалық инерциялылығы ток жылдам өзгерген кезде оның реакциясының шарасыз кешігуіне алып келеді. бұдан пайда болатын динамикалық қателік L_d өзгеру жылдамдығы $i(t)$ қаншалықты жоғары болса және қозғалатын бөлігінің массасы қаншалықты үлкен болса, соншалықты үлкен болады.

Өзгеретін зерттелетін сигналдар әр түрлі бастапқы тікелей өлшеулерді жасаудың біруақытта болмауының алдарынан жанама өлшеулер нәтижелерінің айтарлықтай қателіктеріне алып келеді.

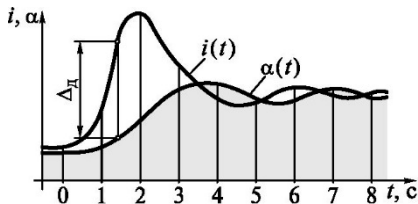


Рис. 1.17. Динамическая погрешность

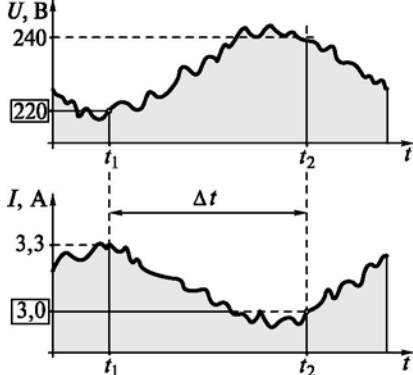


Рис. 1.18. Косвенное измерение мощности одним прибором

Іс жүзінде бұл да динамикалық қателік, алайда осы жағдайда ол жеке аспаптардың тез әрекет етуімен емес, зерттелетін параметрлердің өзгеру жылдамдығымен және экспериментті ұйымдастыру ерекшеліктерімен сипатталады. Өлшеудің жеке бастапқы нәтижелерін алудың синхронды еместігі таңдалған әдістің (тәсілдің) салдары ретінде осы қателікті де әдістемелікке жатқызуға мәжбүрлейді, өйткені ол аспаптың

өзінің сипаттамаларына (соның ішінде, дәлдік класына) тәуелді емес.

Осы қателіктің пайда болу табиғатын бірфазалы электр тізбегіндегі актив қуатты бір аспаппен – тоқтық қармауышы бар цифрлық мультиметрмен жанама өлшеу мысалымен көрсетеміз. Кезекпен (табиғи уақыттық Δt кідірумен) кернеу U мен тоқтың I ағымдағы әсерлік мәндері өлшенеді, ал сосын актив қуаттың P мәні есептеледі (1.18 сурет).

t_1 уақыт мезетінде кернеудің $U(t_1) = 220$ В әсерлік мәні өлшенді делік. Сосын 1 минуттан соң t_2 уақыт сәтінде осы аспаппен тоқтың әсерлік мәні $I(t_2) = 3,0$ А өлшенді. Әрі қарай осы бастапқы тікелей өлшеулердің нәтижелері бойынша актив қуаттың мәні есептеледі (жүктемені таза актив жүктеме деп есептейміз):

$$P = U(t_1)I(t_2) = 220 \cdot 3,0 = 660 \text{ Вт.}$$

Сол уақытта, актив қуаттың нақты мәні P_p t_1 және t_2 уақыт кезеңдерінде тең болды, сәйкесінше:

$$P_p(\wedge) = U(\text{й}) I(\text{й}) = 220 \cdot 3,3 = 726 \text{ Вт,}$$

$$P_p(*2) \cong U(<2)I(<2) = 240 \cdot 3,0 = 720 \text{ Вт.}$$

Осылайша, актив қуаттың есептелген (660 Вт) және нақты (726 и 720 Вт) мәндерінің арасындағы айырма осы жағдайда шамамен 10% құрайды. Сонымен бірге бұл аспаптың аспаптық қателігін, өзара әрекеттесу қателігін және т.б. ескермегендегі.

Егер ұқсас әдістеме үш фазалы электр тізбегіндегі қуатты бағалау үшін қолданылатын болса, онда жалпы кідіру уақытының Δt үлкен болуының есебінен қателік айтарлықтай болуы мүмкін.

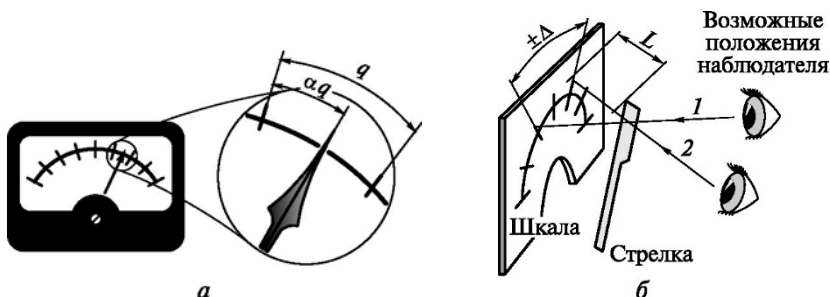
1.3.8. Субъективті қателік

Өлшеу (есептеу) нәтижелерін бекіту кезінде есептеудің субъективтілігінің көрінуі қалыпты (штаттық, түсіндірілетін, болжамды) және қалыпты емес (болжамсыз) болып бөлінеді. Ұқсас бағыттамалы аспаптармен жұмыс істегенде субъективті қателіктің есептеу қателігі түрінде көрінуі табиғи әрі кәдімгі боады. Есептеу қателігі жалпы жағдайда екі құраушыдан құралады: интерполяция қателіктері және параллакс қателіктері (1.19-шы сурет).

Бірінші құраушы — интерполяция қателігі (1.19. а суретті қараныз) – шкаладағы екі көрші бөліктердің арасындағы есептеу көрсеткішінің (бағыттамасының) орнын анықтауға, яғни, бөлік бөлімдерінің - αq мәнін бағалауға кез келген талпыныс кезінде шарасыз пайда болады. Оператордың дағдысы жеткілікті болғанда бұл құраушы бір бөліктің q салмағының $\pm (0,2...0,1)$ мәніне ие болуы мүмкін. Цифрлық аспаптарда табиғаты бойынша ұқсас құраушыда – кванттау қателігі бар, бірақ ол онда субъективті емес.

Параллакс қателігі бағыттаманың орнын анықтау сәтінде шкалаға перпендикуляр қараған кезде пайда болады (1.19, б сурет). Аспап шкаласы мен бағыттама L арасындағы қашықтық қаншалықты үлкен болса, параллакстың мүмкін болатын қателігі $\pm D$ соншалықты үлкен болады. Бұл құраушы мұқият жасалған экспериментте де бір бөліктің q салмағының $\pm (0,2...0,1)$ мәніне келтірілуі мүмкін. Салыстырмалы дәл бағыттамалы аспаптардың құрылмасында (дәлдік класы 0,5 және одан жоғары) параллакс қателігін жою үшін шкаланың жазықтығына айна бекітеді. Осындай айналы шкала шкалаға қатаң перпендикуляр қарауды қамтамасыз еуге мүмкіндік береді. Бұл ретте есептеуді бағыттама өзінің айнадағы бейнесін жабатындай етіп жүргізу керек (1.20-шы сурет).

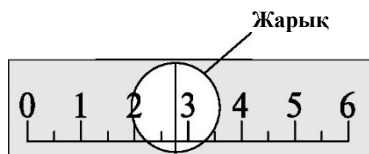
1.20, а және б суреттерде айнадан бақылаушыға бағыттаманың бейнесі көрінетін жағдай көрсетілген.



1.19 сурет. интерполяция (а) және параллакс (б) қателіктері

1.20 сурет. Параллакс қателігін жою:

a және b — бақылаушы басының дұрыс орналаспауы; v — дұрыс орналасуы



1.21 Оптикалық есептеу.

Оптикалық есептеу

Бұл есептеу кезінде бақылаушының басының дұрыс орналаспағанын көрсетеді. 1.20. в суретте көрсетілген жағдай бақылаушы басының дұрыс орналасқанын көрсетеді (айнадағы бағыттаманың бейнесі бағыттаманың өзімен жабылған).

Параллакс қателігін түбегейлі жоюға мүмкіндік беретін басқа шешім бағыттама орнына оптикалық есептеу құрылғысын қолдану болып табылады, онда өлшенетін шама мәні өзгергенде шкаладағы жарық дағының орны өзгереді (1.21-ші сурет).

Бұл ретте қашықтық = 0 (дақ шкаланың үстінде болады) болғандықтан есептеу нәтижесі бақылаушының аспапқа қатысты орналасуына тәуелді болмайды және сондықтан, параллакс қателіктеріне ие болмайды. Цифрлық аспаптарда есептеу қателіктері мүлдем жоқ.

Субъективтіге алдын ала болжанбайтын оператордың біліктілігінің төмен болуынан және/немесе оның нашар көңіл-күйінің салдарынан болған өрескел қателіктерден (жаңсақтықтардан) болған қателіктер жатады. Осындай субъективті қателіктің мысалы көп диапазонда аспаптармен жұмыс істегенде – сонымен қатар – сызықты емес шкалалары бар аспаптармен жұмыс істеу кезіндегі есептеудегі және/немесе нәтижені жазудағы қате бола алады.

1.4. ӨЛШЕУЛЕР НӘТИЖЕЛЕРІН ӨНДЕУ

Өлшеу эксперименті үдерісінде алынатын өлшенетін шаманың бір мәні тікелей өлшеудің жеке нәтижесі) *бақылау* деп аталады. Жалпы жағдайда өлшеудің соңғы нәтижесін бірнеше бақылауларға өңдеу жүргізіп табады.

Өңдеу шарасы жалпы жағдайда бірнеше операциялар жасаудан тұрады: алынған бақылаулар қатарынан анық қателерін шығарып тастау, өлшеудің өзіндік нәтижесінің сандық мәнін (бағалануын) анықтау (жанама өлшеулер үшін – ізделетін шаманың бастапқыдан функционалды тәуелдігі бойынша), статистикалық өңдеулер жүргізу, өлшеу дәлдігінің көрсеткіштерін табу (қателікті бағалау), соңғы нәтижені көрсету түрін таңдау. Бір реттік (жеке) тікелей өлшеулерде нәтиже бақылаумен сәйкес келеді.

Кез келген өлшеудің соңғы нәтижесінің жазбасында нәтиженің сандық мәні, өлшеудің қосындылық қателігін бағалау және осы қателікке сәйкес келетін сенімді ықтималдықтың $p_{\text{дов}}$ мәні болуы керек. Мысалы, кедергінің R өзгеру нәтижесін дұрыс жазу мынадай түрде болуы мүмкін:

$$R = 106,2 \text{ Ом}; A = \pm 2,5 \text{ Ом}; p_{\text{дов}} = 1.$$

Нәтиженің қателігін бір немесе екі мәнді цифрлармен жазған жөн, сонымен бірге өлшеу нәтижесінің санындағы кіші мәнді разрядының салмағы қателік санындағы кіші мәнді разрядтың салмағымен сәйкес болуы керек. Айталық, кернеуді өлшеудің соңғы нәтижесін мынадай түрде жазу дұрыс емес: $\underline{U} = 224,6 \text{ В}; A = \pm 5 \text{ В}; p_{\text{дов}} = 1$.

1.4.1. Тікелей өлшеулерді өңдеу

Тікелей өлшеулер бір реттік (жеке) және көп реттік (көпше) болып бөлінеді.

Бір реттік өлшеулер – бұлар жасалуы мен өңделуі бойынша ең қарапайым – техникалық өлшеулер практикасында көбірек таралған - және бір реттік бақылау (есептеу) арқылы соңғы нәтижені алуды білдіреді.

Негізгі, қосымша (бір ӘШ - қоршаған орта температурасынан болған) және қосындылық аспаптық қателіктерді бағалауды қарастырайық. Айнымалы кернеулерді өлшеу диапазоны 0...400 В цифрлық мульти метрмен электр тізбегіндегі кернеудің әрекеттік мәнін өлшеу нәтижесі алынды делік: $\underline{U} = 220,0 \text{ В}$. Аспаптың осы диапазондағы дәлдік класы (негізгі абсолюттік қателіктің шекті мәні A_n) мынадай түрде берілген:

$$A_n = \pm (0,005X_k + 0,005X),$$

мұндағы $X_{\text{ек}}$ — өлшеу диапазонының жоғарғы мәні (біздің жағдайымызда $X_{\text{ек}} = 400 \text{ В}$); X – өлшенген мән (220,0 В).

Аспаптың төлқұжатында «...номиналды температурадан әрбір 10 °С өзгешелігіне қосымша қателік +20 °С қоршаған ортаның 0 ден +50 °С дейінгі жұмыс температурасының диапазонының шегінде негізгі қателіктің жартысына тең» деп жазылған. Эксперимент кезінде қоршаған орта температурасы + 35 °С-қа тең деп тіркелді. Барлық қалған ӘШ, өздерінің қалыпты мәндерінің шегінде болды деп ұйғарайық.

Есепті шешу үшін ең қарапайым (анықталған) тәсілді - ең нашар жағдайдағы бағалауды қолданамыз, яғни, сенімді ықтималдықпен $p_{\text{дов}} = 1$ берілген жағдайдағы қателіктердің максималды мүмкін болатын мәнін

анықтаймыз. Негізгі абсолюттік қателіктің шекті мәні:

$$\begin{aligned} D_0 &= \pm (0,005 \cdot 400 + 0,005 \cdot 220) = \\ &= \pm (2,0 + 1,1) = \pm 3,1 \text{ В.} \end{aligned}$$

Қосымша абсолюттік қателіктің шекті мәні D_d былай анықталады:

$$D_d = (1/2)D_0(35 - 20) \quad (1/2)3,1 \cdot 15 \quad 23 \text{ В}$$

«1010».

өлшеу нәтижесінің қосынды аспаптық абсолюттік D және салыстырмалы 5 қателіктері:

$$D = D_0 + D_d \ll \pm(3,1 + 2,3) \ll \pm 5,4 \text{ В;}$$

$$5 \ll \pm \text{ — } 100 \ll \pm 2,5\%.$$

$$220$$

Нақты қателіктердің осы есептелген шектік мәндерден аспайтын кез келген нақтылы мәні бола алатынын еске түсіреміз.

Осы өлшеудің соңғы нәтижесін дұрыс жазу мынадай болады:

$$X = 220,0 \text{ В; } D = \pm 5,4 \text{ В; } p_{\text{дов}} = 1,$$

мұндағы X — өлшеу нәтижесі; D — қосындылық абсолюттік қателіктің шекті мәні; $p_{\text{дов}}$ — қателіктің нақты мәнінің есептелген D мәнінен аспауының сенімді ықтималдығы (нақты аспаптық қателік бұл экспериментте ешқандай жағдайда модулі бойынша 5,4 В мәннен артық бола алмайды).

Өлшеу нәтижесінің қосындылық қателігін есептеу жалпы жағдайда (негізгі және қосымша аспаптық, әдістемелік, өзара әсер, субъективті) құраушылардың максималды мүмкін болатын мәнін табуды ұйғарады.

1.4.2. Көп реттік тікелей өлшеулер

Көп реттік (көптеген) тікелей өлшеулерде бірдей (жалпы жағдайда әртүрлі) физикалық шамаларды бақылау қатарын алады. Бұл ретте екі міндет қойылуы мүмкін.

Бірінші міндеттің қойылуы: өлшенетін шама өзгермейді, ал көптеген әртүрлі бақылаулар (өлшеудің жеке нәтижелері) аспапта айтарлықтай кездейсоқ қателіктердің болуынан болған делік. Және сонда өлшенген мәнге нені қабылдау (өлшеудің соңғы нәтижесіне) және нәтиженің қосындылық қателігін қалай бағалау мәселелері шешіледі..

Екінші міндеттің қойылуы: өлшенетін шаманың өзі кездейсоқ және сонда осы кездейсоқ шаманың математикалық болжамын бағалауды анықтау және оның орташа квадраттық ауытқуын бағалау мәселелері шешіледі. Екі міндетті шешудің математикалық аппараты нақты жалпы, алайда, қойылым мәні әртүрлі.

Техникалық өлшеулер практикасында көбірек таралған бірінші жағдайды ғана қарастырамыз. Бірдей өзгермейтін X шаманы бір аспаппен өлшеу кезінде алынған бақылаулар қатары $x_1, x_2, \dots, x_n$ бар деп жорамалдаймыз. Аспапта тек кездейсоқ қателік бар (оның жүйелік қателігін ескермеуге болады $A_c = 0$). Сонда өлшенетін шаманың нақты мәнінің $\underline{X^*}$ бағалануын, яғни өлшеу нәтижесін барлық бастапқы бақылаулардың орташа арифметикалығы $\underline{x}$ деп санау керек:

$$\underline{X^*} = \bar{\bar{x}}$$

Егер жүйелік қателікті A_c ескермеуге болмайтын болса және оның мәні белгілі деп ұйғарсақ, онда алынған нәтижені түзету керек:

$$\underline{X^*} = \bar{\bar{x}} - A_c$$

Егер жүйелік қателіктің мәні A_c белгісіз болса, есептің дұрыс шешімі болмайды.

Табылған бағалаудың сенімділігінің өлшемі $\underline{X^*}$ осы орташа арифметикалықтың $\underline{X^*}$ орташа квадраттық ауытқуын бағалау σ^* (кіші сигма) болады:

$$\sigma^* = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

мысал қарастырайық. Айтарлықтай кездейсоқ қателігі бар вольтметрмен электр тізбегіндегі айнымалы кернеудің Ц әрекеттік мәндерін бақылау қатары (жеке тікелей өлшеулердің нәтижелері) алынды деп жорамалдайық.:

есептеу нөмірі.. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Ц, В 218 214 210 212 204 214 208 212 218 222 220 216

Вольтметрде тек кездейсоқ қателік қана бар (жүйелік жоқ, яғни, $D_c = 0$), бақылау уақытында өлшенетін шама өзгермеді деп ұйғарып, өлшеудің соңғы нәтижесін бағалауды X^* және осы нәтиженің орташа квадраттық ауытқуын σ^* бағалауды табуға болады.

Жоғарыда келтірілген өрнектерге сәйкес ізделетін мәндерді есептейміз: $X^* = 214,0$ В; $\sigma^* = 1,5$ В. Кездейсоқ қателіктердің таралуының қалыпты заңы жағдайында сенімді ықтималдықтың $p_{\text{дов}}$ нақты мәнін беріп абсолюттік қателікті D табуға болады. Мысалы, талап етілетін сенімді ықтималдық $p_{\text{дов}} = 0,95$ кезінде абсолюттік қателіктің мәні $D = \pm 2 \cdot 1,5 = \pm 3,0$ В құрайды, ал $p_{\text{дов}} = 0,997$ ықтималдық үшін абсолюттік қателіктің мәні $D = \pm 3 \cdot 1,5 = \pm 4,5$ В құрайды.

1.4.3. Жанама өлшеулерді өңдеу

Электрлік өлшеулер практикасында жанама өлшеулер едәуір жиі кездеседі. Өлшеу нәтижесінің қателігін бағалау мәселесі – мұндай эксперименттердегі маңыздылардың бірі. Қолданылатын өлшеу құралдары, өлшенетін шамалар және эксперимент жүргізу шарттары туралы толық бастапқы ақпарат болғанда өлшеу нәтижесінің қосындылық қателігін бағалау есебін жеткілікті дәлме-дәл шешуге болады. Бұл есепті шешудің екі амалы болуы мүмкін: анықталған және ықтималды, бірінші амалды қарастырамыз.

Анықталған амал (кейде ең нашар жағдай әдісі деп аталады) көбінесе кәдімгі техникалық өлшеулерге және олардың әдетте оңтайланған үдерістер үлгілері және амалдары бар экспресс-өлшеулерге тән. Осы амалды қарастырудың алдында қажетті жорамалдарды ескертеміз:

а) аспаптар дұрыс, өздерінің дәлдік кластарына сәйкес нақты қателіктері бар. Сонымен бірге олардың қателіктері – тек жүйелік, яғни осы эксперимент бойы өзгермейді. Кездейсоқ қателіктер жоқ;

б) бастапқы өлшенетін шамалар негізгі параметрлердің (осы эксперимент бойы) өзгермейтін мәндерімен сипатталды;

в) ӨҚ жұмыс жағдайы — қалыпты немесе жұмыстық;

г) ізделетін шаманың Y бастапқы шамадан X_j функционалды тәуелділігі жеткілікті дәл белгілі;

д) оператордың жеткілікті біліктілігі бар.

Егер бізді қызықтыратын шама Y бастапқы шамалармен X_j белгілі функционалды тәуелділікпен F байланысқан:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

және абсолюттік қателіктердің A шекті мәндері, әрбір бастапқы шаманың X анықтамасы белгілі болса, онда ізделетін шаманы Y өлшеу нәтижесінің абсолюттік қателігінің A_Y шекті мәнін жалпы жағдайда жеке қателіктердің жиналуы деп аталатын формуламен анықтауға болады :

$$A_Y = \sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial X_k} \right)^2 A_k^2}$$

мұндағы ---
 dX ,

табылған X шамаларына сәйкес нүктелердегі әрбір бастапқы шама бойынша F функционалының дербес туындылары; A - бастапқы шаманы X анықтаудың абсолюттік қателіктерінің шектік мәндері.

Екі дербес, бірақ едәуір таралған функционалды тәуелділік F жағдайын қарастырайық.

Бірінші дербес жағдай — F функционалының екі қосындысы бар. Егер функционалдық тәуелділік түрі — $K aX$,

$$Y = aX^K$$

болса, мұндағы a — функционалды тәуелділік коэффициенттері, онда абсолюттік қателіктердің шектік мәндері A_Y

$$A_Y = K a X^{K-1} A_X$$

$$A_Y = K a X^{K-1} A_X$$

$$A_Y = K a X^{K-1} A_X$$

формуласымен анықталады.

Бұл ретте салыстырмалы қателік S_Y , % әдеттегідей табылуы мүмкін:

$$S_Y = \frac{A_Y}{Y} \cdot 100\%$$

Мысалы, егер $Y = 5X_1 + 2X_2 + X_3$, онда $A_Y = 5A_1 + 2A_2 + A_3$. *Екінші дербес жағдай* - функционал F көбейтінді түрінде болады. Егер функционалды тәуелділік

$$Y = \prod_{i=1}^n X_i^{\alpha_i}$$

$$A_Y = Y \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\alpha_i}{X_i} A_{X_i} \right)^2}$$

Түрінде болса $\Delta Y = \sum_{i=1}^n a_i \Delta x_i$ дәлдік көбейтіндісінің көбейтілу белгісі; a_i — коэффициенттер – бастапқы шамалардың X дәрежелерінің көрсеткіштері, онда салыстырмалы қателіктің шекті мәні

$5 \gamma = E \text{ at } 5,$

$$i=1$$

формуласымен анықталады. Мұндағы 5_1 - бастапқы шамаларды X анықтау қателіктерінің шекті мәндері - бастапқы шамаларды X салыстырмалы қателіктерінің шекті мәндерін анықтау.

Сосын абсолюттік қателіктердің шектік мәндері A_Y әдетегідей табылады:

$$\Delta_Y = \frac{\delta_Y Y}{\dots}$$

Мысалы, егер Y функционалының түр

$$Y = X_1 X_2 X_3$$

болса, онда салыстырмалы қателік мәні

$$5_Y = 25_1 + 35_2 + 55_3.$$

Дегенмен ресми үшінші қосылғыш қосындыға минус таңбасымен кіруі керек, бірақ жеке қателіктердің шекті мәндері іс жүзінде әрқашан симметриялы болғандықтан ($\pm$), онда ең нашар жағдайда (барлық құраушылардың мәндер мен таңбаларды ең қолайсыз тіркесі) жалпы қателік шегі жеке құраушылардың модулдерінің қосындысы болады.

1.4.4. Жанама өлшеу нәтижесінің қателігін есептеу

Белгілі кедергі мәні бар жүктемеде амперметр көмегімен белсенді қуатты жанама өлшеу нәтижесінің қателігін есептеу мысалын қарастырамыз. Жүктемедегі I ток пен R жүктеме кедергісінің белгілі және тұрақты мәндері кезінде белсенді қуат P тең:

$$P = I^2 R.$$

I және R өлшемдерінің мәндері дәлдік кластарымен анықталатын өзіндік нақты қателіктері бар әр түрлі аспаптармен өлшенеді. Осы бастапқы нәтижелердің қателіктері төлқұжат деректері мен қолданылатын аспаптардың көрсеткіштері нәтижесінде табылуы мүмкін (амперметр және омметр).

Осындай дара функционалды тәуелдік оқиғасы үшін (туынды түріндегі функционал) шекті жиынтық салыстырмалы қателік 5 әрбір құраушының олардың функционалға үлесін ескере отырып мәнін анықтаудың шекті салыстырмалы қателіктерінің жиынтығы ретінде

табылуы мүмкін:

$$5 = 25 / + 5_R.$$

Ток пен кедергіні тікелей өлшеу нәтижелері мен аспаптардың төлқұжаттық деректері бойынша табылған бастапқы өлшемдерді анықтаудың шекті салыстырмалы қателіктері тиісінше, $5_I = \pm 1,5\%$; $5_R = \pm 1\%$ тең деп ойлайық. Онда қуаттың жанама өлшеуі нәтижесінің жиынтық шекті салыстырмалы қателігі 5 мына түрде жазылады

$$5 = \pm (2 - 1,5 + 1) = \pm 4\%.$$

А абсолюттік жиынтық қателік Р қуатты есептеудің табылған нәтижесінде қарапайым түрде табылуы мүмкін:

$$A = -5P.$$

$$100$$

Әрине, жалпы жағдайда тек аспаптық қателіктерді ғана емес (аспаптарға қатысты), сонымен бірге мүмкін әдістемелік қателіктерді де ескеру қажет.

Бақылау сұрақтары

1. Келесі қателіктерге анықтама беріңіз:

- жүйелік және кездейсоқ;
- аддитивтік және мультипликатив;
- өзара әрекеттестік қателігі;
- субъективтік;
- динамикалық.

Мысалдар келтіріңіз.

2. Қандай екі өлшемдердің ара салмақтарына («күш», «кедергі») 120 дБ мәні сәйкес келеді?

3. Өлшеу техникасында «декада» және «октава» терминдері қандай мағына береді?

4. Өлшем диапазоны 0... 300 В және дәлдік класы 1,5 (яғни келтірілген қателік шегімен $\pm 1,5\%$) болатын қалқандық вольтметрмен қалыпты жағдайларда $U = 200$ В өлшеу нәтижесі алынған. Шекті аспаптық абсолюттік және салыстырмалы қателіктерді анықтаңыз.

5. Әсер етуші өлшемдердің (мысалы, температураның) қалыпты мәндерден асып кетуі өзгерісімен туындаған қателік қалай аталады?

6. 10^{12} тең болатын еселік бірлік (қосымша) және 10^{-12} тең болатын үлестік бірлік (қосымша) қалай аталады?

7. Халықаралық бірліктер жүйесінде (SI) қанша негізгі және қосымша бірліктер бар? Оларды атап шығуға тырысыңыз. Төменде келтірілген бірліктердің қайсысы осы жүйеде негізгі болып табылады: ньютон, килограмм, паскаль немесе джоуль?

8. Контактті сандық термометр дәлдігі класы $A = \pm (0,01R + + 0,01FS)$, °C. Абсолюттік және салыстырмалы қателіктердің шекті мәндерін табыңыз, егер аспаптың көрсеткіштері $0 = +250$ °C, өлшеу диапазоны 0... +1000 °C, тәжірибе жүргізу жағдайлары – қалыпты болса.

9. Қалқандық амперметрдің дәлдік класы 2,5 (негізгі келтірілген

қателіктің шегі). Өлшеу диапазон 0.200 А. Амперметр көрсеткіштері $I_x = 50$ А. негізгі аспаптық салыстырмалы қателігінің шегін бағалаңыз.

10. Тұрақты токтың кернеуін вольтметрмен өлшеу кезінде аспап пен сигнал көзінің өзара әрекеттестігінің салыстырмалы қателігі қалай анықталады?

11. Жанама өлшеу дегеніміз не? Мысалдар келтіріңіз.

12. Негізгі аспаптық қателіктің аддитивтік және мультипликатив құраушыларын, сондай-ақ кернеуді өлшеу нәтижесінің негізгі қателігін бағалаңыз, егер сандық вольтметрдің дәлдік класы мынадай түрде берілген болса: $A = \pm (1,0\% \text{ өлшеу нәтижесі } + 0,5 \% \text{ өлшеу диапазоны})$; өлшеу диапазоны 0.100 В; аспап көрсеткіштері — 50 В.

ЭЛЕКТР СИГНАЛДАРЫ МЕН ТІЗБЕКТЕРІНІҢ НЕГІЗГІ СИПАТТАМАЛАРЫ

2.1. ПЕРИОДТЫҚ СИГНАЛДАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛІК КӨРСЕТІЛІМІ

Электр кернеулерінің, токтарының, қуаттарының (электр тізбектерінің кейбір элементтері мен сипаттамалары сияқты) периодтық сигналдары сандық мәндермен (параметрлік көрсетілім) өрнектелуі мүмкін, не функциялармен сипатталуы мүмкін (функциялық көрсетілім). 2.1, а суретінде параметрлік көрсетілім – өлшеу кезінде қолданылып жүрген желілік кернеу мәндерін өлшеу кезінде сандық мультиметр индикаторының көрсеткіші мысалы, ал 2.1, б суретінде — функциялық көрсетілімі – электрондық-сәулелік осциллографтың экранында осы кернеу сигналы қисығының кескіні мысалы көрсетілген.

Параметрлік көрсетілім статикалық объектілер мен процестердің (оңтайланған) модельдері үшін сипатты, ал функциялық көрсетілім, керісінше, динамикалық көзқарастар мен тұрғыларды бейнелейді.

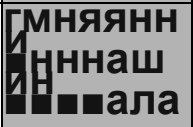
Периодтық электр сигналдары мен тізбектерінің кейбір негізгі параметрлері мен сипаттамаларын қарастырамыз.

2.2 суретте периодтық сигналдардың кейбір негізгі параметрлері көрсетілген. Кернеудің, токтың және қуаттың периодтық сигналдары уақыттық және амплитудалық параметрлерімен (деңгей параметрлерімен) сипатталады.

Бірінші топқа (уақыттық параметрлердің) T период, f сигнал жиілігі, ϕ фазалық жылжыту, сондай-ақ олармен байланысты параметрлер, мысалы, ω ϕ (егер әңгіме бір жиіліктегі екі синусоидты сигналдары туралы болса).

Сигналдың T периоды — бір толық сигнал өзгеруінің ұзақтығы, уақыт бірлігімен өлшенеді [секундтармен (с), миллисекундтармен (мс), микросекундтармен (мкс) және т.б.].

Сигналдың f жиілігі — уақыт бірлігіндегі (секундта) сигнал периодтарының саны.

Γ		
-aen.sv		
о		

Сур. 2.1. Сигналдардың
параметрлік (а) және функциялық
(б) көрсетілімдері



Сур. 2.2. Периодтық сигналдардың параметрлік көрсетілімі

Жиілік — ол периодка кері өлшем $f = 1/T$. Жиіліктің негізгі өлшем бірлігі — герц (Гц): $= 1/c$. Негізгі бірліктен басқа еселенген бірліктер қолданылады: килогерц (кГц), мегагерц (МГц) және т.б. Біздің елімізде электр тізбегінің номиналдық мәні — 50 Гц. Сонымен қатар T периодының номиналдық мәні $T = 1/f = 1/50 = 0,02 \text{ с} = 20 \text{ мс}$.

Фазалық жылжыту ϕ бір жиіліктегі екі синусоидты сигналдың салыстырмалы уақыттық жылжытуын сипаттайды және градуспен өрнектеледі (мысалы $\phi = 30^\circ$).

Шеңберлік (бұрыштық) жиілік ю f жиілігімен $\omega = 2\pi f$ қатынасында байланыста болады, радиан секундпен өлшенеді (рад/с). Сигналдың T периоды $T = 360^\circ$ немесе $T = 2\pi$ радиан ($\pi = 3,14$).

Формасы бойынша тікбұрышты, уақытша параметрлерге жақын периодты сигналдар үшін A_n импульсінің ұзақтығын және T периодтың A_n импульсі ұзақтығына қатынасын білдіретін Q қуыстығын да жатқызады:

$$Q = T/A_n$$

Деңгей параметрлеріне сигналдың ең көп (амплитудалық, шындық), орташа, орташа түзетулі және орташа квадраттық (ағымдағы, алғашында тиімді термині қолданылған) мәндері жатады. Олардың ішінен электр сигналдарының ерекшеліктерін бағалауға арналған ең маңыздысы және ең пайдалысы орташа квадраттық (ағымдағы) мән— СКЗ (Root Mean Square — RMS) болып табылады, себебі ол ғана жұмыс істеу, әрекет ету (қыздыру, қозғалту, жарықтандыру және т.б.) қабілетін анықтайды.

Периодтық кернеулер мен токтардың жиілігіне тәуелсіздігіне байланысты енгізілген өлшеу құралдарының басым көпшілігі орташа квадраттық (ағымдағы) мәндерде синусоидты сигнал кезінде градусталады.

2.1.2. Коэффициент амплитуды и формы

Деңгей параметрлеріне амплитуда коэффициенті мен формалары, қуаттың гармоникалық бұрмалау коэффициенті ($\cos \phi$) жатады.

Процестердің статикалық модельдерін қолдану кезінде (статикалық өлшеулерде) сигналдардың барлық көрсетілген параметрлері уақыт ішінде өзгеріссіз шамаланады.

2.1.1. Кернеулер мен токтар

2.3 суретте T периодымен периодтық кернеудің $u(t)$ мысалында деңгейдің кейбір параметрлерін анықтаудағы айырмашылық көрсетілген.

Кернеудің орташа мәні (U_c) мына формула бойынша анықталады

$$U_c = \frac{1}{T} \int u(t) dt.$$

Тұрақты құраушысы болмайтын (жиі кең таралған жағдай) периодтық сигналдың орташа мәні нольге тең, сондықтан қызық емес.

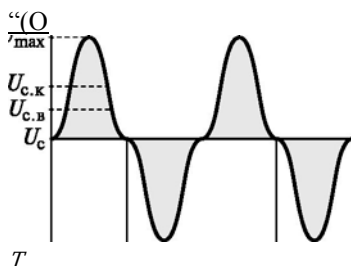
Кернеудің түзетілген орташа мәні ($U_{c.в}$) мына формула бойынша анықталады

$$U_{c.в} = \frac{1}{T} \int |u(t)| dt.$$

Кернеу $u(t)$ мен токтың $i(t)$ периодтық сигналдарының функциялары (міндетті түрде бейсинусоидты) белгілі болса, онда T периодында орташаландырылған ток $I_{c.к}$ пен кернеудің $U_{c.к}$ орташа квадраттық

$$U_{c.к} = \sqrt{\frac{1}{T} \int u^2(t) dt};$$

$$I_{c.к} = \sqrt{\frac{1}{T} \int i^2(t) dt}.$$



(ағымдағы) мәндері келесі түрде есептеледі:

Сур. 2.3. Периодтық сигнал

Периодтық сигналдың сипаты, оның формасы, оның бейсинусоидты дәрежесі қарапайым түрде амплитуда K_a және форма K_f коэффициенттерімен бағалануы мүмкін.

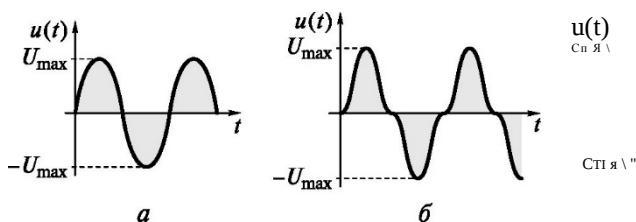
$$K_a = \frac{U}{U_{\max}} \quad K_f = \frac{U_{\max}}{U_{\text{с.к.}}} \cdot \varphi$$

U
с.к. U
с.в

Синусоидты сигнал жағдайы үшін (сур. 2.4, а) амплитуда мен форма коэффициенттерінің мәндері тең, сәйкесінше, $K_a = \sqrt{2} \approx 1,41$; $K_f = 1,11$. Басқа формадағы сигналдарының көрсетілген синусоидты сигнал үшін қатты өзгешеленетін K_a және K_f коэффициенттерінің мәндерін иеленуі мүмкін. Мысалы бейсинусоидты сигнал үшін (сур. 2.4, б) $K_a = 2$; $K_f = 1,2$, ал тікбұрышты сигнал үшін (сур. 2.4, в) $K_a = 1$; $K_f = 1$.

Зерттелетін сигналдың ерекшеліктерін, электр тізбегінің өзгешелігін, қолданылатын аспаптардың мүмкіншіліктері мен сипаттамаларын білу өлшеулер жүргізген кезде ауыр қателердің алдын алуға көмектеседі. Мысалы, осындай ұқсас әмбебап өлшеу аспабының (тестер) магнит электрлік өлшеу механизмі мен жартылай өткізгіш бір немесе екі жартылай периодты түзеткіш болады, яғни жиі талап етілетін ағымдағыға емес, кернеулер мен токтардың айнымалыларының орташа мәндеріне әсерін тигізеді. Мұндай өлшегіш тек синусоидтыға жақын сигналдар формасы кезінде ағымдағы мәндердің қанағаттандырушы өлшеу нәтижелерін береді, ал мысалы, тікбұрыштыға (2.4, в суретті қараңыз) ұқсайтын сигнал жағдайында ағымдағы мәнді анықтаудағы қате шамамен 10% құрауы мүмкін.

Бейсинусоидты периодты сигналдардың дәрежесін сипаттаудың (немесе синусоидтылықтың бұрмалану дәрежесі) тағы бір мүмкіншілігі болып ток немесе кернеудің қисықтарының *гармоникалық бұрмалану коэффициенті* табылады. Бұл коэффициент форманың бұрмалануына жоғарғы (яғни негізгісіне қарағанда үлкен жиіліктер) гармоникалардың үлесі қаншалықты жоғары екенін көрсетеді, және пайызбен өрнектеледі. Осы коэффициенттің мәні неғұрлым аз болса,



Сур. 2.4. Синусоидты (а), бейсинусоидты (б) және тікбұрышты (в) сигналдар

соғұрлым сигнал $i(t)$ және $u(t)$ синусоидты жақын жерде. Тек негізгі жиіліктің синусоидты сигналы үшін осы коэффициент мәні нольге тең бола еді.

2.1.2. Коэффициенты амплитуды и формы

2.1.3. k_M қуат коэффициенті және $\cos \phi$

Бір жиіліктегі екі периодтық сигнал (мысалы, тізбектегі кернеу мен тоқтың) бір-біріне қатысты уақыт ішінде біршама At интервалға жылжуы мүмкін. Егер сигналдар синусоидты болса, онда ϕ фазалардың жылжу (фазалық жылжу) бұрышы туралы айтуға болады (Сур. 2.5).

ϕ Фазалық жылжу әдетте $^\circ$ градуспен өлшенеді:

$$\Phi = \gamma 360,$$

мұнда At — сигналдар арасында уақытша жылжу; T — период.

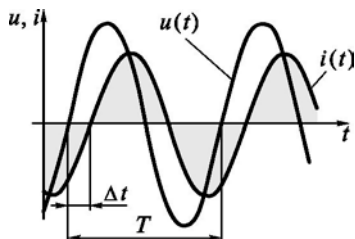
$\cos \phi$ параметрлері мен k_M қуат коэффициенті (Power Factor — PF) электр энергиясының түрлену тиімділігін, тасымалдану және қолданылуын анықтайды. Осы параметрлердің мәнінің бірлігіне неғұрлым жақын болған сайын, соғұрлым жақсы (яғни соғұрлым электр энергиясын пайдалану тиімділігі жоғары).

$\cos \phi$ түсінігін ресми түрде тек синусоидты сигналдар үшін қолдануға болады. Алайда тәжірибеде нақты сигналдар формасы синусоидке жеткілікті жақын деген болжауда жиі қолданады.

Шынайы электр тізбегіндегі жүк-салмақ таза белсенді, таза реактивті болып табылмайды, кешенді кедергі болып табылады. Егер жүк-салмақтың сипаты индуктивті болса (яғни жүк-салмақтың белсенді және индуктивті құраушылары болса), онда тізбектегі синусоидты ток белсенді және индуктивті құраушылардың ара-қатынасымен анықталатын беттестірілген синусоидты кернеуден біршама ϕ бұрышқа қалып қояды. Кернеудің сыйымдылық сипаты кезінде тізбектегі ток кернеуді белсенді және сыйымдылықтық құраушыларының ара-қатынасына тәуелді бұрышына озып кетеді. Дәл осы ϕ бұрышы белсенді және реактив қуаттардың арасындағы ара қатынасын анықтайды. ϕ мәні неғұрлым нольге жақын болса ($\cos \phi$ мәнінің бірлігіне неғұрлым жақын), соғұрлым жақсы.

Біршама ортақ жағдай үшін, яғни кез келген формадағы сигналдар үшін k_M қуат коэффициенті түсінігі қолданылады, ол P белсенді қуаттың S толық қуатқа қатынасымен анықталады. k_M коэффициенті мынадай болады:

$$k_M = P/S = P/(U_C I_{C.k}).$$



Сур. 2.5. Фазалық жылжу

2.1.4. Қуат және и энергия

Толық қуат S ағымдағы ток $I_{СК}$ пен кернеу $U_{СК}$ мәндерінің туындысымен анықталады және белсенді P және реактив Q қуаттарының геометриялық қосындысына тең болады:

$$S = I_{СК} I_{СК} = V \underline{P^2 + Q^2}.$$

Белсенді қуат — жүктемемен (қайтарымсыз) қолданылатын толық қуаттың пайдалы құраушысы, реактив қуаттың айырмашылығы ол қолданылмайды, тізбекте пайдасыз «қыдырып» жүреді. Мысалы, таза реактив салмақ жағдайында (толық кедергінің белсенді құраушысы жоқ, жүктеме таза индуктивті болсын деп алайық) электр тізбегінде айнымалы ток ағады, бірақ сонымен қатар энергия пайдалы әрекетке жұмсалмайды, мезгіл-мезгіл электр энергиясынан магнит өрісіне және кері өзгеріп тұрады. Біршама реактив қуаты бірталай өткізгіштер қимасын талап етеді, сымдар мен байланыстарды қыздырады, окшаулауды кептіреді.

Синусоидты кернеу $u_{СК}$ мен токтың $i_{СК}$, T периоды, ϕ фазалар жылжуының өзгермейтін ағымдағы мәндерінің өзгеше жағдайында кернеу $u(t)$ мен ток $i(t)$ қисықтарының арасында P белсенді қуат пен Q (параметрлер ретінде, яғни мәндер, сандар ретінде) реактив қуат сәйкесінше тең болады:

$$P = I_{СК} I_{СК} \cos \phi; Q = U_{СК} I_{СК} \sin \phi.$$

Q реактив қуат, егер S толық және P белсенді қуаттар белгілі болса, мына формула бойынша табылады

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

P белсенді қуат жалпы жағдайда кернеу мен токтың өзгеріссіз ағымдағы мәндері кезінде (бейсинусоидты жағдай үшін, яғни полигармоникалық сигналдар) ұқсас болады, бірақ $\cos \phi$ емес, $\cos \phi$ қуат коэффициентін ескере отырып болады:

$$P = I_{СК} I_{СК} \cos \phi.$$

Біраз $\Delta t = t_2 - t_1$ интервалда пайдаланылған белсенді энергия W (мән, сан ретінде) қуат $p(t)$ функциясының белгілі бір интегралы болып табылады:

2

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt.$$

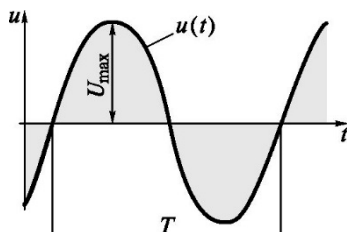
1

Жеке жағдайда Δt біраз интервалында тұрақты P қуатпен тұтынылған W белсенді энергия қарапайым көбейтіндімен анықталады:

$$W = P \Delta t.$$

2.2. ПЕРИОДТЫҚ СИГНАЛДАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ КӨРСЕТІЛІМІ

Кез келген формадағы $x(t)$ периодтық сигналы функционалды түрде әр қалай, яғни әр түрлі салаларда көрсетілген. Басқаларынан жиі уақыттық (сигнал уақыт функциясымен көрсетіледі) және жиілікті (сигнал жиілік функциясымен көрсетіледі) аралықтардағы сигналдарды көрсетуді қолданады.



Сур. 2.6. Уақыттық арадағы периодтық сигналдың графиктік көрсетілімі

Осы аралықтардың әрқайсысында аналитикалық немесе графиктік көрсетілім болуы мүмкін. Мысалы уақыттық аралықта (біршама үйреншікті және сондықтан да кең таралған) кернеудің таза синусоидты (моногармоникалық) сигналы мынадай түрде $u(t)$ функциямен аналитикалық тұрғыда көрсетілуі мүмкін:

$$u(t) = U_{\max} \sin \omega t,$$

мұнда $U_{\max}$ — сигналдың амплитудалы (ең көп) мәні; ω — сигналдың шеңбер жиілігі ($\omega = 2\pi f = 2\pi / T$); t — ағымдағы уақыт.

Графиктік көрсетілім — ол сигналдың лездік мәндерінің уақыт ішінде өзгеруінің график түріндегі сигнал кескіні (Сур. 2.6).

2.2.1. Кернеулер мен токтар

Бір жиіліктегі екі синусоидты сигналдардың жағдайлары үшін, мысалы, электр тізбегіндегі кернеу мен ток үшін уақыт аралығындағы функциялық көрсетілім мынадай түрде бейнеленеді:

$$u(t) = U_{\max} \sin \omega t;$$

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \phi),$$

мұнда ϕ — ток функциясының кернеу функциясына қатысты фазалық жылыжуы.

Периодтық сигналдың уақыттық және жиіліктік (спектральды) көрсетілімдері тура және кері Фурье түрленулерімен байланысты (ФТ) — Fourier Transform. Тура ФТ сигналдың уақыттық функциясын $x(t)$ біле тұрып оның спектрін $\underline{X}(f)$ анықтауға мүмкіндік береді.

Кері ФТ керісінше, сигнал спектрін $S(f)$ біле отырып сигналдың уақыттық көрсетілімін $x(t)$ (функциясын) табуға мүмкіндік береді.

Кернеулер мен токтардың спектральды құрамы – мысалы, келіп түсетін электр энергиясының және/немесе жеке тұтынушылардың ерекшеліктерінің сапасын бағалау кезінде сигналдың маңызды сипаттамаларының бірі. Ол негізгі – 50 Гц қарағанда біршама жоғары жиіліктегі гармоникалардың болуын және үлесін (әдетте ағымдағы мәндерде) бейнелейді.

2.2.2. Қуат және энергия

Кернеу мен ток сияқты қуатты да не сан, не уақыт функциясы ретінде елестетуге болады. Қуат уақыт функциясы ретінде $p(t)$ бір жиіліктегі кернеу $u(t)$ мен токтың $i(t)$ периодты функцияларының туындысы:

$$p(t) = u(t) i(t).$$

Берілген периодтық функцияның $p(t)$ жиілігі бастапқы сигналдардың жиілігінен екі есе жоғары (Сур. 2.7).

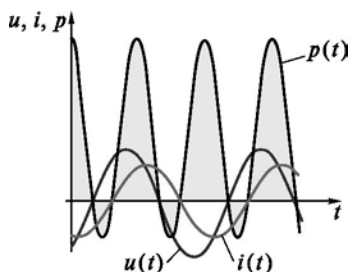
Жалпы ортақ жағдайда T периодта орташаландырылған белсенді P қуат (мән, сан ретінде) T период ішінде функцияның интегралы немесе кернеу $u(t)$ мен токтың $i(t)$ туындысының $p(t)$ интегралы:

$$P = T \int_0^T p(t) dt = T \int_0^T u(t) i(t) dt.$$

ϕ фазалық жылжуы өзгеруіне (синусоидты сигналдар үшін) тәуелді қуат $p(t)$ (уақыт функциясы) тәртібінің графиктік бейнеленуі 2.8 суретте көрсетілген.

ϕ ноль мәнінде (өте оңды нұсқаға сай келетін – таза белсенді жүктемеге) P белсенді қуат ең көп, ал Q реактив қуат болмайды (2.8, а суретті қараңыз). ϕ фазалық жылжу қаншалықты көп болса, соншалықты ортақ қуаттың белсенді және реактив құраушыларының ара-қатынасы төмен, соншалықты энергияны пайдалану тиімділігі төмен. Мысалы, таза индуктивтік жүктемені елестетсек (ток кернеуден $\phi = 90^\circ$ -ға артта қалады), онда бұл жағдайда (Сур. 2.8, в) белсенді қуат $P = 0$, ал реактив қуат Q – ең көп.

Белсенді қуат та уақыт функциясы $P(t)$ бола алады. Мысалы, егер электр энергиясын (бір ток көзінен) бірнеше тұтынушы мезгіл-мезгіл өшіріп және/немесе қосып отырса, онда



Сур. 2.7. Қуат — уақыт функциясы $p(t)$

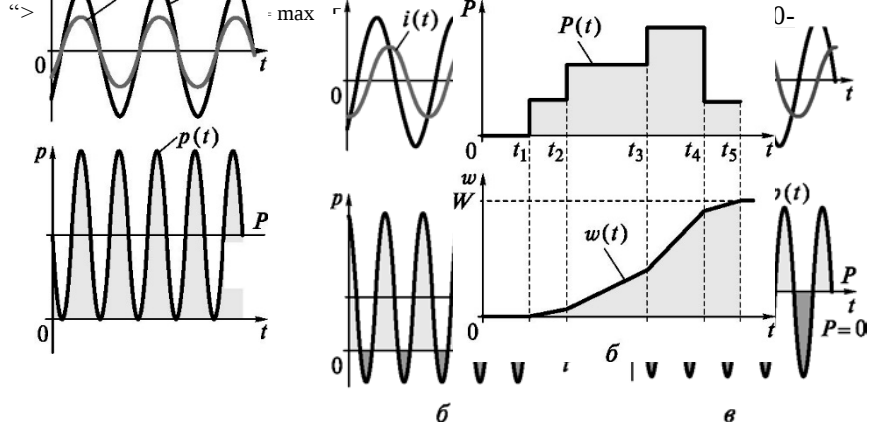
(Сур. 2.9, а) сәйкесінше, жиынтық белсенді қуат 2.9, б суретінде көрсетілгендей өзгереді.

Басқа да қарстырылған өлшемдер сияқты белсенді энергия уақыт функциясымен $w(t)$ көрсетілуі мүмкін (2.9, б суретін қараңыз). Егер белсенді қуат $P(t)$ қалай өзін білдіретіні белгілі және кейбір уақыт At интервалдарында болса – оның оның мәндері белгілі және тұрақты, онда $(t_5...t_1)$ интервалда тұтынылған белсенді энергияны (P, At) туындыларының жиынтығы деп табуға болады (2.9, б суретті қараңыз):

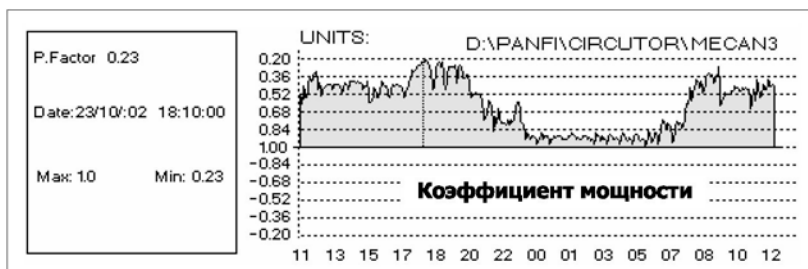
$$W = \sum_{i=1}^n P_i \Delta t_i$$

$\underline{h-h}$	$\underline{h}$
$\underline{h-h}$	$\underline{I1+I2}$
$\underline{h-h}$	$\underline{h+h+h}$
$\underline{h-h}$	$\underline{h}$

Сур. 2.8. белсенді қуаттың фазалар жылжуы бұрышына тәуелділігі: а — $\phi = 0$; б — $\phi = 60^\circ$; в — $\phi = 90^\circ$



Сур. 2.9. Қуат және энергия: а — схема; б — функционалдық тәуелдіктер $P(t)$ және $w(t)$



Сур. 2.10. Қуат коэффициентінің өзгерістері

Жалпы жағдайда егер белсенді қуат функциясы $P(t)$ белгілі болса, $(t_j \dots t_0)$ кейбір интервалда тұтынылған W энергия мынадай анықталады:

$$W = \int_{t_0}^t P(t) dt.$$

2.2.3. κ_m қуат коэффициенті және $\cos \phi$

Шынайы технологиялық процестерде әдетте уақытта өзгеріп тұратын жүктеме кездерінде (электр энергиясын бірнеше кейбір тұтынушылардың қосуы мен өшуі) κ_m (немесе $\cos \phi$) қуат коэффициенті уақыт ішінде өзгеріп тұрады және сондай-ақ $\kappa_m(t)$ уақыт функциясымен беріледі. 2.10 суретте тәулік ішінде өнеркәсіптік кәсіпорынның механикалық цехында енгізуге тарату құрылғысында тіркелген шынайы диаграмма мысалы келтірілген. Қуат коэффициенті функциясының κ_{JJ} мәндері өте кең диапазонда өзгеріп тұратын — 1,0 ден 0,23 дейін.

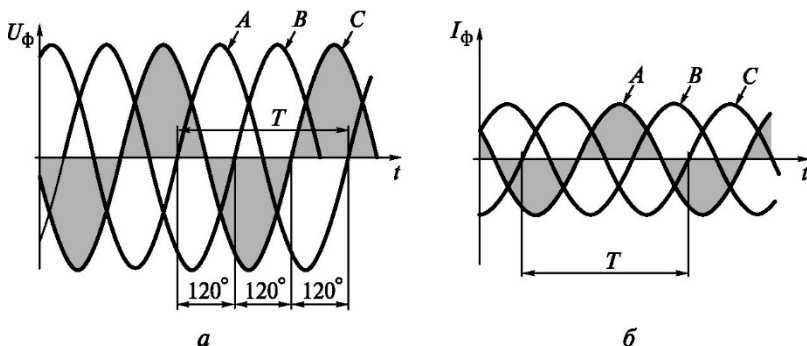
κ_m қуат коэффициентінің теріс мәндері жүктеменің сыйымдылық сипатын білдіретіні мүмкін екенін белгілейміз. κ_m мәні бірлікке неғұрлым жақын болған сайын соғұрлым жақсырақ. Таза белсенді тұтынушылар кезінде (дәріптелген нұсқа) осы коэффициент мәні бірге тең болушы еді.

2.3. ҮШФАЗАЛЫ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

Заманауи электроэнергетика негізінде электр энергиясын үш фазалы өндіру, тасымалдау, түрлендіру мен тұтыну принциптері жатыр.

2.3.1. Үшфазалы тізбектердегі кернеулер мен токтар

Үшфазалы тізбектерде бір-біріне қатысты $1/3$ периодқа T жылжытылған бір жиіліктегі синусоидты сипаттағы үш периодты кернеулер қолданылады (ТМД елдерінде 50 Гц), яғни 120° .



Сур. 2.11. Уақыттық диаграммалар: *a* — фазалық кернеулердің (Цф); *б* — фазалық токтардың (I_ϕ)

Фазалық токтар мен кернеулердің уақыттық диаграммалары 2.11 суретте келтірілген. Бірінші фаза — А; екінші — В; үшінші — С.

Біршама ортақ жағдай — үш фазалы желіге үшфазалық жүктеменің («жұлдыз» типті салмақ) төрт сымдық жалғануы — 2.12 суретте көрсетілген.

N нейтрал сым мен (U_A, U_B, U_C) сызықтық сымдар арасындағы кернеулерді *фазалық* (Цф) деп атайды, ал сызықтық сымдар арасындағы кернеулерді U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} — *сызықтық* (U_ϕ) деп атайды. Симметриялы тізбектер жағдайында осы кернеулер арасындағы қатынастар:

$$U_\phi = \sqrt{3} U_{\phi\phi};$$

$$I_\phi = I_{\phi\phi} / \sqrt{3}.$$

Симметриялы схемада барлық фазалар жүктемесінің Z_A, Z_B, Z_C кешендік кедергілері бірдей, барлық фазалық кернеулері бірдей, барлық фазалық токтар бірдей, барлық фазалық жылжулар бірдей:

$$U_A = U_B = U_C = U_{\phi\phi} = U_\phi / \sqrt{3};$$

$$I_A = I_B = I_C = I_\phi = I_{\phi\phi} / \sqrt{3}.$$

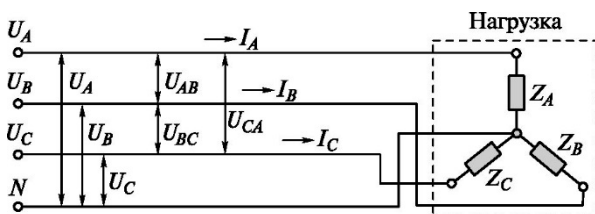


Рис. 2.12. Фазные и линейные напряжения и токи

2.3.2. Үшфазалы тізбектегі энергия мен қуат

Егер тізбек симметриялы және кернеулер синусоидты болса, онда жиынтық белсенді P , реактив Q мен толық S қуаттар тиісті фазалық (тең) қуаттардың үш еселенген мәндерімен анықталады:

$$P = 3U_{\phi}/\phi \cos \phi = 3I_{\phi}/\phi \cos \phi;$$

$$Q = 3U_{\phi}/\phi \sin \phi = 3I_{\phi}/\phi \sin \phi;$$

$$S = 3I_{\phi}/\phi = I_{\phi}/\phi.$$

Сонымен бірге I_{ϕ} мәні кешенді фазалық жүктеменің I_{ϕ} белсенді кедергісінің оның толық кедергісіне Z_{ϕ} қатынасы:

$$I_{\phi} =$$

Жалпы жағдайда үш фазалық қабылдағыш тұтынуының жиынтық белсенді қуаты $P^{\wedge}$ егер барлық фазалардың P_1, P_2, P_3 белсенді қуаттары белгілі болса, олардың қосындысына тең:

$$P^{\wedge} = P_1 + P_2 + P_3$$

Кейбір интервалда $\Delta t = t_1 - t_0$ тұтынылған жиынтық белсенді энергия жиынтық қуат $P^{\wedge}(t)$ функциясының белгілі интегралы болып табылады:

$$W_x = \int_{t_0}^{t_1} P_x(t) dt$$

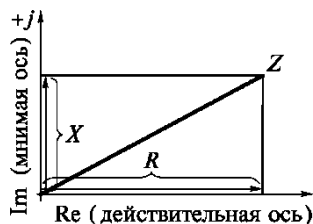
Жеке жағдайда кейбір интервалда Δt тұрақты қуат $P^{\wedge}(t)$ кезінде тұтынылған белсенді энергия $W^{\wedge}$ қарапайым туындымен анықталады:

$$W = P^{\wedge}(\Delta t)$$

2.4. КЕШЕНДІ КЕДЕРГІЛЕР

Электротехникада, электротехникада, электр өлшеулерінде *кешенді кедергілер* Z түсінігі маңызды болып табылады. Айнымалы токтың электр тізбектеріндегі нақты жүктемелер толық белсенді немесе толық реактив болмайды. Кез келген нақты электр құрылғысының детальдік эквиваленттік схемасында белсенді, сондай-ақ реактив элементтер болады. Мысалы, қарапайым трансформатор орамы белсенді және индуктивті құраушылардан тұрады.

Сур. 2.13. Z Кешенді өлшемнің графиктік көрсетілімі



Әрі қарайғы баяндауды синусоидты сигналдар үшін жүргіземіз. Жалпы жағдайда кез келген Z салмағы көлбеу түзуі кесіндісімен көрсетілуі мүмкін (Сур. 2.13), оның проекциясы нақты оське (Real-Re) кешенді кедергінің беленді құраушысы R . Осы түзудің проекциясы жорамал оське (Imaginary-Im) jX реактив құраушысы:

$$\underline{Z} = \underbrace{Re}_{\text{шынайы бөлік}} + j \underbrace{Im}_{\text{жорамал бөлік}}$$

$$Z = R + jX$$

белсенді реактив
құраушы құраушы

Z кешенді кедергісінің скаляр мәні белсенді және реактив құраушылардың геометриялық қосындысымен анықталады:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

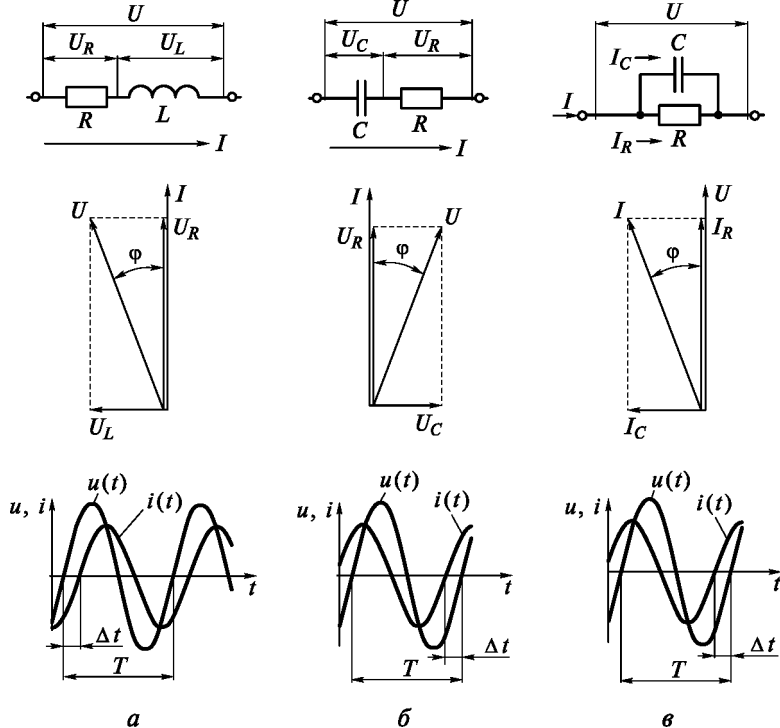
2.4.1. Фазалық жылжу

Z салмағы кедергісінің кешенділігі периодтық кернеулер мен токтар арасында фазалық жылжуға әкеліп соқтырады, оның мәні белсенді және реактив құраушылар арасындағы сандық ара-қатынасқа, сондай-ақ сигналдар жиілігіне тәуелді.

2.14 суретінде кейбір қарапайым кешенді кедергілердің эквивалентті схемаларының кең таралған мысалдары келтірілген: белсенді индуктивті сипаттағы (2.14, а суретін қараңыз) және белсенді сыйымдылықты сипаттағы (2.14, б және в суретін қараңыз). Бірінші жағдайда ток $i(t)$ жүктемеде ϕ бұрышына кернеуден $u(t)$ артта қалып барады, екінші және үшінші жағдайларда ток кернеуден озып кетеді.

Фазовый сдвиг ϕ , °, фазалық жылжу уақыттық жылжумен Δt және периодпен T келесі қатынаспен байланысты:

$$\phi = -360.$$



a

б

в

Сур. 2.14. Токтар мен кернеулердің фазалық жылжулары:

a — белсенді-индуктивті жүктеме; *б* және *в* — белсенді-сыйымдылықты жүктеме; U — жалпы кернеу; R, L, C — жалпы кешенді кедергінің белсенді, индуктивті және сыйымдылықты құраушыларын құратын, сәйкесінше резистор, индуктивтілік катушкасы және конденсатор; U_R, U_L, U_C — белсенді, индуктивті және сыйымдылықты құраушыларының сәйкесінше кернеулері; I — кешенді кедергі арқылы өтетін жалпы ток; I_R, I_C — белсенді және сыйымдылықты құраушылардағы тиісінше токтар; φ — I ток пен кернеу U арасындағы фазалық жылжу; $u(t), i(t)$ — сәйкесінше ток пен кернеудің функциялары; Δt — ток I пен кернеу U арасындағы уақыттық жылжу; T — период

T периоды кернеу (ток) жиілігіне f кері өлшем болып табылады:

$$T = 1/f$$

ю шеңберлік жиілік f жиілігімен келесідей қатынаста байланысты болады:

$$\omega = 2\pi f$$

На Сур. 2.14 $U_R = IR$; $U_L = Ij\omega L$; $U_C = I$

$$IR = U; IC = U / j\omega C$$

$$j \omega C$$

2.4.2. Сапалылық және шығындар бұрышының тангенсі

Кешенді кедергілердің «таза» реактивтіліктерге жақындығын бағалау үшін (таза индуктивтілік немесе таза сыйымдылық) сапалылық Q және шығындар бұрышының тангенсі $\operatorname{tg} 5$ түсініктерін қолданады. Неғұрлым сапалылықтың (немесе неғұрлым $\operatorname{tg} 5$ аз болса) сандық шамасы көп болса, соғұрлым кешенді кедергі нақты реактивтілікке жақынырақ. Мысалы, индуктивті сипаттағы кешенді кедергінің эквиваленттік схемасы үшін (2.14, а суретін қараңыз) неғұрлым сапалылық Q мәні (немесе неғұрлым $\operatorname{tg} 5$ аз болса) көп болса, соғұрлым кешенді кедергі нақты индуктивтілікке жақын.

Тізбектес эквиваленттік схемалар үшін (мысалы, 2.14, а және б суретіндегідей) сапалылық Q кешенді кедергінің реактивтілік құраушысының X оның белсенді R құраушысына қатынасымен $Q = \frac{X}{R}$ анықталады. Сонымен қатар шығындар бұрышының тангенсі $\operatorname{tg} 5 = 1/Q = R/X$ кері өлшем.

индуктивтіліктің реактив кедергісі $X_L = j \omega L$, ал сыйымдылық үшін $X_C = 1/j \omega C$ екенін еске түсіреміз.

Параллель эквиваленттік схемалар үшін (мысалы, 2.14, в суретіндегідей) сапалылық Q кешенді кедергінің белсенді құраушысының оның реактивтілік құраушысына қатынасымен $Q = R/X$ анықталады. Сонымен қатар шығындар бұрышының тангенсі $\operatorname{tg} 5 = 1/Q = X/R$ кері өлшем.

сапалылық Q пен шығындар бұрышының тангенсі $\operatorname{tg} 5$ мәндері кешенді кедергінің тұрақты параметрлері болып табылмайды, кернеу (немесе ток) жиілігіне тәуелді болады деп белгілейміз.

2.5. СИГНАЛ ФОРМАСЫНЫҢ БЕЙСИНОСИДТЫҒЫ

Кернеулер мен токтардың шынайы формалары синусоидты болып табылмайды, сол немесе өзге дәрежеде бұрмаланған болады. Бұрмаланулар сигналдарда гармоникалардың болуымен, яғни жиілігі негізгісінен жоғары болатын синусоидты сигналдарда болуымен анықталады. Осы гармоникалардың амплитудалары неғұрлым маңыздырақ болған сайын соғұрлым бұрмаланулар қаттырақ. Сигналдың нақты формасы балық гармоникалардың қосындысымен олардың фазалық жылжуларын ескере отырып анықталады.

Сигналдар формасының бұрмалануы сондай-ақ немесе параметрлік (санмен) түрде, немесе уақыт және (немесе) жиілік функциясымен сипатталуы мүмкін.

2.5.1. Параметрлік көрсетілім

Полигармоникалық сигналдың (яғни көптеген жеке гармоникалардан тұратын) ағымдағы мәні U ағымдағы барлық гармоникалар мәндерінің геометриялық қосындысы. Мысалы, кернеудің бейсинусоидты

сигналының жалпы ағымдағы мәні мына формула бойынша анықталады

$$\underline{U} = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2},$$

мұнда U_0 — тұрақты құраушының мәні (егер ол құрамында болса); $U_1, U_2, \dots, U_n$ — сәйкесінше бірінші, екінші, n -ші гармоникалардың ағымдағы мәндері.

Сандық түрде бұрмаланулар интегральды қисық формасының бейсинусоидтық коэффициентімен (синусоидтық бұрмалану коэффициентімен, ортақ гармоникалық бұрмалануларының коэффициентімен — Total Harmonic Distortion — THD) бағалануы мүмкін. Осы коэффициент әр түрлі стандарттарда әрқалай өрнектеледі.

IEC 555 халықаралық стандартында және бірқатар ұлттық стандарттарда THD мәні кейбір n номеріне дейінгі (мысалы, 15-шісіне дейін немесе 40-на дейін) барлық гармоникалардың (алғашқы- негізгісінен басқасы) ағымдағы мәндерінің геометриялық жиынтықтың барлық гармоникалардың (біріншісін қоса алғанда) ағымдағы мәндерінің геометриялық жиынтығына қатынасы ретінде анықталған. Кейде форманың бейсинусоидтығын гармоникалық бұрмаланулардың коэффициентімен (ГБК) — n кейбір номеріне дейінгі барлық гармоникалардың (алғашқысынан — негізгісінен басқа) ағымдағы мәндерінің геометриялық қосындысының ағымдағы негізгі (бірінші) гармоника мәніне қатынасымен бағалайды.

«Жалпы қолданыстағы электрмен жабдықтау жүйелерінде электр энергиясының сапасының нормалары» МЕМСТ 13 109—97 сәйкес кернеу қисығы K_U синусоидтығының бұрмалау коэффициентін екіншісінен бастап барлық гармоникалардың ағымдағы мәндері геометриялық қосындысының фазалық кернеудің U_{PM} ағымдағы номиналдық мәніне қатынасымен анықтауға рұқсат етіледі.

Бейсинусоидтықтың кез келген нұсқасында бұрмалауларды сипаттайтын коэффициенттері пайызбен өрнектеледі.

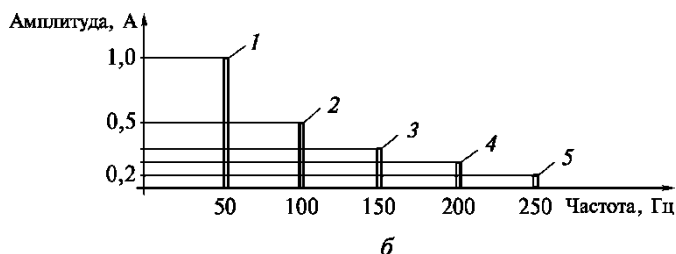
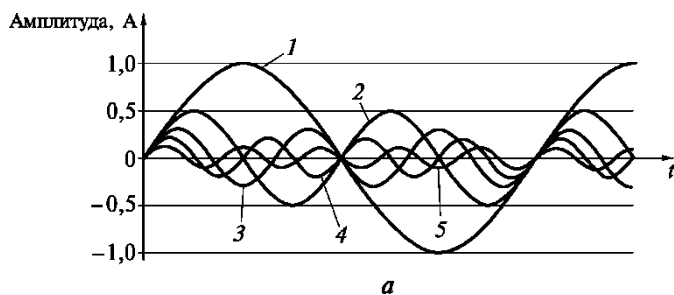
қисық бейсинусоидтығы коэффициентінің сандық мәні (гармоникалық бұрмаланулар коэффициентінің немесе THD) нақты бір сигнал формасы туралы талдауға мүмкіндік бермейді, тек жоғарғы гармоникалардың сандық үлесі туралы ғана айтатынын байқаймыз.

2.5.2. Функционалдық көрсетілім

Біз белгілегендей, ток пен кернеудің бейсинусоидты формасы сигналдар бірнеше әр түрлі жиіліктегі және амплитудадағы гармоникалардың (синусоидтар) қосындысы болып табылатындығымен түсіндіріледі. Неғұрлым осы құраушылар көп болған сайын және неғұрлым олардың амплитудалары көп болған сайын, соғұрлым бұрмалаулар маңыздырақ болады.

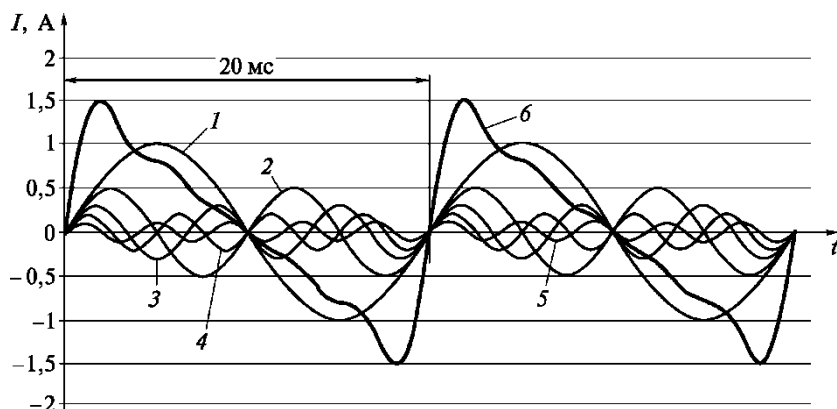
Кемшіліксіз (синусоидты) сигнал тек бір гармоникадан — біріншісінен (негізгісінен) тұратын еді.

2.15, a суретте ток сигналының гармоникалық құрамының (бес бастапқы гармоникалар жинағы) мысалы келтірілген.



Сур. 2.15. Гармоникалар жинағы (а) мен сигналдың амплитудалық спектрі (б):

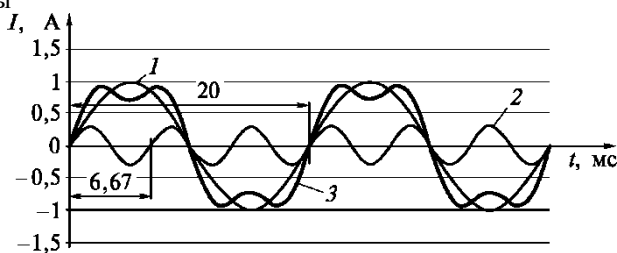
1 — бірінші гармоника (50 Гц); 2 — екінші гармоника (100 Гц); 3 — үшінші гармоника (150 Гц); 4 — төртінші гармоника (200 Гц); 5 — бесінші гармоника (250 Гц)



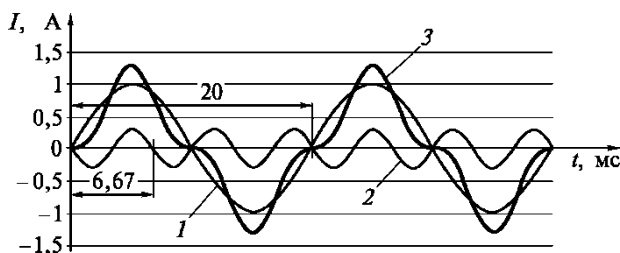
Сур. 2.16. Бес гармониканы қосындылау

1 — бірінші (негізгі) гармоника жиілігі 50 Гц және амплитудасы 1,0 А; 2 — екінші гармоника жиілігі 100 Гц және амплитудасы 0,5 А; 3 — үшінші гармоника жиілігі 150 Гц және амплитудасы 0,3 А; 4 — төртінші

гармоника жиілігі 200 Гц және амплитудасы 0,2 А; 5 — бесінші гармоника жиілігі 250 Гц және амплитудасы 0,1 А; 6 — бес гармониканың қосындысы



a



б

Сур. 2.17. Екі (бірінші және екінші) гармониканы қосу нұсқалары:

- 1 — бірінші (негізгі) гармоника жиілігі 50 Гц және амплитудасы 1,0 А; 2 — үшінші гармоника жиілігі 150 Гц және амплитудасы 0,3 А; 3 — екі гармоника қосындысы

Гармоникалардың жиіліктерінің мәндері сәйкесінше, тең: бірінші (негізгі) — 50 Гц, екінші — 100 Гц, үшінші — 150 Гц, төртінші — 200 Гц, бесінші — 250 Гц. Сәйкесінше гармоникалардың амплитудалары да тең: бірінші (негізгі) — 1,0 А, екінші — 0,5 А, үшінші — 0,3 А, төртінші — 0,2 А, бесінші — 0,1 А.

2.15, б суретінде осы сигналдың амплитудалық спектрі бейнеленген. Сигналдың нақты формасы бастапқы гармоникалардың синхронды ағымдағы лездік мәндердің қарапайым қосындысымен анықталады. Берілген жағдайда, яғни гармоникалардың осындай реті мен осындай олардың фазалық жылжуы нұсқасында сигнал формасы 2.16 суретіндегідей бейнеленеді.

Екі гармоникасы: бірінші (негізгі) — жиілігі 50 Гц және амплитудасы 1,0 А мен үшінші, жиілігі 150 Гц және амплитудасы 0,3 А, болатын ток сигналдарының мысалы 2.17, *a* және *б* суретінде келтірілген.

Бірдей гармоникалық құраушылар жиынтықтарынан тұратын қосынды сигналдардың формаларындағы өзгешеліктер (мысалы, 2.17 сурет) бастапқы гармоникалардың алғашқы фазаларының өзгешелігімен, яғни гармоникалардың әр түрлі уақыттық орналасуымен тудырылған.

Сонымен нақты сигналдардың бейсинусоидтығы (форманың

бұрмалануы) бастапқы гармоникалардың санымен ғана емес алғашқы фазалық жылжумен де, яғни олардың фазалық спектрімен де анықталады.

2.6. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ САПАСЫ

Электр энергиясының сапасы технологиялық процестің мүмкіншіліктерін, (әсіресе, жоғары технологияларды қолданған кезде), қондырғының өнімділігін, оның жұмыс істеуінің тұрақтылығы мен мықтылығын, жалпы энергия шығындау мен шығындарды, және соңында – объект өнімінің сапасы мен бағасын анықтайды.

Кейбір жағдайларда электр энергиясының сапасының нашарлауы кезінде апаттар орын алуы мүмкін, салдары ретінде өндіріске және ТКШ объектілеріне үлкен зардап әкеледі.

Әр түрлі электр жабдықтары кернеу бұрмалануына әрқалай жауап қайтарады. Мысалы, қыздыру лампалары, немесе электр қыздырғыштар желілік кернеудің көптеген типтік бұрмалауларына жауап қайтармайды. Сол кезде кейбір тұтынушылар қияңқы мінезді және жоғары сапалы электр энергиясын талап етеді.

Олардың арасында, мысалы, электрондық (сандық) бағдарламалық басқаруы бар станоктар роботталған кешендер, әр түрлі микропроцессорлық контроллерлер, оргтехника, дербес компьютерлер және т.б. Сонымен қатар осындай тұтынушылар саны электр жабдығы жалпы құрамында үздіксіз артып келеді. Кәсіпорында технологиялық мәдениет неғұрлым көп болған сайын соғұрлым электр энергиясының сапасына сезімтал объектілердің үлесі көп. Ұқсас тұтынушылар үшін мардымсыз желі бұрмалаулары үлкен кесірін тигізуі мүмкін.

Осындай жабдықтың шалыс және төтенше жұмыс істеуін анықтау және себептерінің алдын алу үшін, оның нақты бұрмалауларға қабылдағыштығын бағалау үшін электр тізбектері мен сигналдарының жеке параметрлерін анықтау әдістеріне ие болу керек, заманауи жоғары өнімділікті микропроцессорлық және компьютерлік тіркеуші және талдаушы өлшеуіш техникаға ие болу (қолдана білу) керек.

Электр желілері мен тізбектерінде электр энергиясын тасымалдау, тарату, түрлендіру мен тұтыну процесінде айнымалы сигналдың энергияны тасымалдауыш негізгі параметрлері – өзгере алады (ол толықтай дұрыс). Мысалы, электр станцияларымен өндірілетін кернеу қисығының формасы синусоидтыға (ол тәжірибе жүзінде таза гармоникалық сигнал) жеткілікті жақын және сигнал жиілігі 50 Гц-тен қатты өзгешеленбейді. Бірақ өзгеше тұтынушы (мысалы, тиристорлық басқаруы бар технологиялық объектінің қуатты электр жетегі) кернеу формасын өте қатты өзгертуі мүмкін.

Электр энергиясының сапасын нашарлатушы мүмкін себепкерлер болып энергиямен қамсыздандырушы ұйымдар, сонымен қатар өзіндік жүктемесі бар тұтынушылар да болуы мүмкін. Мысалы желі жиілігінің бірталай ауытқуына энергияны жеткізіп беруші кінәлі, ал қатты бейсинусоидтығына – сызықты емес жүктемесі бар тұтынушы кінәлі.

Біздің елімізде электр энергиясының сапасы «Жалпы қолданыстағы электрмен жабдықтау жүйелерінде электр энергиясының сапасының

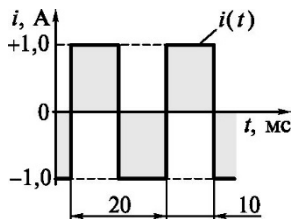
нормалары» МЕМСТ 13 109—97 реттеледі.

Электр энергиясының сапасының негізгі көрсеткіштеріне (ЭСК) жатады: кернеу ауытқуы; кернеу тербелістері; кернеу бейсинусоидтығы; кернеу бейсимметриясы; жиілік ауытқуы; кернеу құлауы; кернеу импульсі мен уақыттық ток кернеуінің ұлғаюы.

Көрсетілген стандарт негізгі ЭСК-ге талаптарды орнатады. Егер электр желісінің жұмыс режимдері қалыпты болса, онда ЭСК мәндері қалыпты мәндер шегінен шықпайтын болады.

Бақылау сұрақтары

1. 1 кГц жиілігі бар синусоидты сигнал периоды неге тең?
2. Периодтық сигналдың орташа түзетілген мәнінің өрнегін жазыңыз.
3. Амплитуда коэффициенттері және периодтық сигнал формалары дегеніміз не? Синусоидты және тікбұрышты формадағы сигналдар үшін осы коэффициенттерінің мәндері неге тең?
4. Синусоидты сигнал үшін ең көп және ағымдағы мәндер қалай байланысқан?
5. Электр тізбегіндегі ток пен кернеудің синусоидты сигналдары арасындағы фазалық жылжу $\phi = 30^\circ$ құрайды. Сигналдардың 50 Гц жиіліктері бірдей. Осы сигналдар арасындағы уақыттық жылжу неге тең?
6. Егер бір жиілікті электр тізбегінде белсенді және реактив қуаттар белгілі болса, толық қуатты қалай табу керек?
7. Симметриялы үш фазалы желіде синусоидты кернеулердің сызықтық және фазалық мәндері өзара қалай байланысты?
8. «Сапалылық» және «шығындар бұрышының тангенсі» түсініктері нені сипаттайды? Индуктивті сипаттағы кешенді кедергі жағдайы үшін сапалылық өрнегін жазыңыз (тізбекті схема).



9. Суретте көрсетілген токтың тікбұрышты сигналдың орташа, орташа түзетілген мәндері неге тең? Сигнал амплитудасы ± 1 А, периоды 20 мс. Сондай-ақ амплитуда және форма коэффициенттерінің мәндерін анықтаңыз.
10. Кернеулер мен токтардың сигнал формаларының бейсинусоидтығы немен ескертілген? Мысалдар келтіріңіз. Жиілігі бойынша 2 есе өзгешеленетін бір амплитудадағы екі гармоника болатын сигнал формасын суреттеп көріңіз.

11. Кернеудің бейсинусоидты периодты сигналы тұрақты құраушыдан $\underline{U}_0 = 1,0 \text{ В}$, сондай-ақ ағымдағы мәндері сәйкесінше, $U = 1,0 \text{ В}$ и $U_2 = 0,5 \text{ В}$ тең болатын екі гармоникалардан тұрады. Осы бейсинусоидты жиынтық ағымдағы мәні неге тең?

3.1. ЖАЛПЫ МӘЛІМЕТТЕР

Өлшеуіш аспап (ӨА) — өлшеу құралдарының кең таралған түрі. Барлық ӨА екі үлкен топқа бөлуге болады: аналогты және сандық.

Аналогты аспаптар (АӨА) — ол өлшенетін өлшемнің кіруі өзгерісінің көрсеткіштері үздіксіз функция болып табылатын аспаптар (берілген диапазонда көптеген мәндерді қабылдай алатын). АӨА тобын екі топшаларға бөлуге болады: статикалық өлшеулерге арналған аспаптар (вольтметрлер, амперметрлер, омметрлер және т.б.) және динамикалық өлшеулерге арналған аспаптар.

Динамикалық өлшеулерге арналған аспаптар өз кезегінде АӨА көрсететін (мысалы, электрондық-сәулелік осциллографтар, спектр анализаторлары) және тіркеуші (мысалы, өздігінен жазатын аспаптар, жарық сәулелік осциллографтар) деп бөлінеді.

Берілген бөлімде статикалық өлшеулерге арналған АӨА-ды қарастырамыз: электромеханикалық және электрондық ӨА.

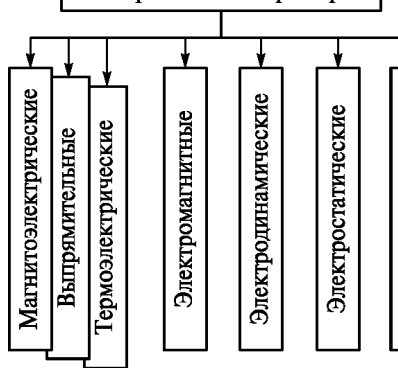
Электромеханикалық ӨА кіріс сигналының электр энергиясын есептеуші құрылғының қозғалмалы бөлігінің бұрыштық (сирегірек – сызықтық) орын ауыстыратын механикалық энергияға түрлендіруге негізделген. Өздік қолданыстан басқа электромеханикалық ӨА көптеген электрондық АӨА шығу құрылғысы ретінде де қолданылады.

Электрондық ӨА — ол есептеуші құрылғының нұсқағышының механикалық орын ауыстыруы үшін энергия өлшенетін сигналдан емес (электромеханикалық аспаптардағыдай емес) қосалқы энергия көзінен, мысалы, аспапты қоректеуші электр желісінен келіп түсетін АӨА.

3.2. ЭЛЕКТРМЕХАНИКАЛЫҚ ӨЛШЕУ АСПАПТАРЫ

Қазіргі күнде технологиялық процестерде қолданылатын стационарлық өлшеу аспаптарының көпшілігі — ол классикалық аналогты электромеханикалық аспаптар. Олардың метрологиялық және эксплуатациялық сипаттамалары техникалық өлшеулердің негізгі тапсырмаларын шешу үшін жеткілікті.

электромеханикалық вольтметрлер, амперметрлер, омметрлер, фазометрлер, ваттметрлер, белсенді және реактив энергия есептеуіштер кең таралған. Электромеханикалық өлшеу аспаптарында өлшенетін өлшем мәнін нұсқағыштың (мысалы, аспаптың тілі) пропорционал ауытқуға (көрінетін орын ауыстыру) түрлендіруге мүмкіндік жасайтын әр түрлі физикалық принциптер жүзеге асырылған. Электромеханикалық өлшеу аспаптарының қысқартылған жіктелуі 3.1 суретте келтірілген.



Сур. 3.1. Электромеханикалық өлшеу аспаптарының жіктелуі

Барлық электромеханикалық аспаптардың алуан түрлі конструкциялары (жүйелер) мен схемалары ішінен кейбір ең көп таралғанын қарастырамыз. Осы құрылғылар алуан түрлі электрлік және бей электрлік шамалары өлшеуіштерінің негізінде жатыр.

3.2.1. Магнит электрлік жүйенің аспаптары

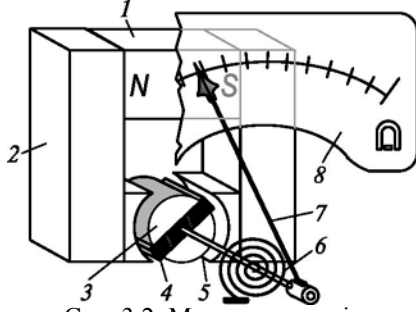
Электромеханикалық аспаптарды жасау кезінде қолданылатын ең қарапайым (тарихи тұрғыда ең ерте) жүйелердің бірі магнит электрлік аспап болып табылады.

Конструкциясы және жұмыс істеу принципі. 3.2 суретте электр шамасын (кіріс өлшенетін ток) механикалық (ауытқу бұрышы) шамаға түрлендіретін жүйе механизмінің конструкциясы және есептеуіш құрылғы (нұсқағыш және шкала) қысқартылып көрсетілген.

Тұрақты магнит 1, магнит өткізгіш 2 және магниттік жұмсақ материалдан жасалған цилиндр білік 3 ауа саңылауында бірқалыпты радиал магнит өрісін туындатады, онда өлшенетін тогы бар жақтау 4 орналасады және мүмкін айналады. Жақтау (мыс сымының бірнеше ондаған орамы) нұсқар 7 бекітілген осьпен 5 мықты байланған. Осы элементтер механизмнің қозғалмалы бөлігін құрайды.

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; *b* — аспаптарды қосу сұлбасы



Сур. 3.2. Магнит-электрлік механизм конструкциясы:

Магнит өрісінде болатын тогы бар өткізгішке күш әсер етеді. Саңылаудың магнит саңылауында болатын жақтауда Өлшенетін ток I жүріп өткен кезде саңылаудағы B магнит өрісі индукциясының, S белсенді жақтау (яғни магнит өрісінде болатын) ауданының, w орамдар санының және жақтаудағы токтың I , B магнит өрісі индукциясының туындысына тең болатын айналдыру кезі туындайды M : $M = BS w I$.

Есептеуші құрылғы — нұсқар 7 мен шкала 8 — жақтаудың ауытқу бұрышын (бұрылысын) a көрсеткіштерге (есептеу) түрлендіреді. Спираль серіппе 6 $M_{пр}$ қарсы іс-қимыл жасайтын кез тудыру үшін арналған:

1 — тұрақты магнит; 2 — магнит өткізгіш; 3 — жұмсақ магнит материалдан жасалған цилиндр білік; 4 — өлшенетін тогы бар жақтау; 5 — ось; 6 — спираль серіппе; 7 — нұсқар; 8 — шкала

$$M_{пр} = aO,$$

мұнда a — қозғалмалы бөлік бұрылысының бұрышы; O — меншікті қарсы іс-қимыл жасайтын кез. Айналдыру кезі жақтауды айналдырады. Қарсы іс-қимыл

жасайтын кез айналдыру кезіне алдынан шығуға бағытталған. Жақтауды бұрау процесінде қарсы іс-қимыл жасайтын кез $M_{пр}$ пропорционал өседі. Ол кездер теңескенше жүреді. $M = M_{пр}$ кезінде

$$BS w I = aO.$$

Сәйкесінше бұрылыс бұрышы мына түрде болады

$$a = (BS w I) / O.$$

Сонымен B , S , w , O параметрлерінің мәндері үнемі тұрақты болғандықтан $MЭ$ аспаптарының a бұрылыс бұрышының (және, сәйкесінше, көрсеткіштер) өлшенетін шама (берілген жағдайда I тогы) мәніне сызықтық тәуелділігі туралы айтуға болады.

Амперметрлер мен вольтметрлер. Кіші токтарды өлшеу үшін (100 мА дейін) тікелей магнит электрлік өлшеу механизмдері қолданылады. Егер механизмнің толық ауытқуының тоғынан асып түсетін токтарды өлшеу қажет болса, шунттар (аз кедергісі бар дәл резисторлар: омының ондық — мыңдық үлестері) қолданылады 3.3, а суреті. Сонымен қатар өлшеу механизмі (ӨМ) арқылы өлшенетін I токтың тек бөлігі болатын I_m ток өтеді. ӨМ жақтауы мен $L_{ш}$ шунтының арасындағы кедергілердің қатынасын біле отырып аспап шкаласын қайта градуирлеуге немесе өлшеу нәтижесіне көрсеткіштерді қайта санауға болады.

Магнит электрлік вольтметрдің схемасы

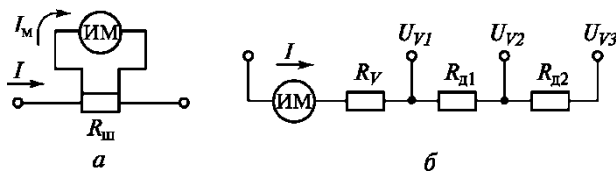
3.3, б. суретте келтірілген Жеткілікті үлкен кедергісі бар резистор R_V ӨМ

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:

a — кіріс сигнал; b — аспаптарды қосу сигналы

тізбектесіп қосылады. Қосымша резисторлар $R^\wedge$ және R_{n2} жүйе кернеуін U_V өлшеудің бірнеше диапазондарын қамтамасыз етеді.

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:
a — кіру сигналы; *б* — аспаптарды қосу сұлбасы



Сур. 3.3. Магнит электрлік жүйенің амперметрі (а) және вольтметрі (б) ($U_{V3} > U_{V2} > U_{V1}$). Ток I ӨМ арқылы кез келген диапазонда механизм үшін $I_{ном}$ мәнінен асып кетпеуі тиіс.

Көп шектік вольтметр мысалын қарастырамыз. $L_{им} = 10$ Ом кедергісі және $I_{ном} = 0,001$ А номиналды тогы бар МЭ механизмі бар деп аламыз. Онда осындай механизм негізінде $U_1 = 1$ В өлшеу диапазоны бар вольтметр механизмін ұйымдастыру үшін $U_1 = 1$ В өлшенетін кернеу кезінде механизм $I_{ном} = 1,0$ мА арқылы ток қамтамасыз ететін механизммен осындай кедергідегі резисторды R_V қосу керек. Осы кедергінің мәнін табамыз:

$$R_V = (U_1 / I_{ном}) - R_{им} = (1 / 0,001) - 10 = 990 \text{ Ом.}$$

Егер біз өлшеу диапазоны $U = 1$ В және ішкі кедергісі $R^{\wedge} = R^{\wedge} + R_V = 1$ кОм МЭ вольтметрге ие болсақ, өлшеу шегін $U_2 = 10$ В дейін кеңейту үшін тізбектес қосымша $R^{\wedge} = 9$ кОм кедергісі бар резисторды қосу қажет. Өлшеу шегін $U_3 = 100$ В дейін кеңейту үшін (яғни тағы бір диапазонды ұйымдастыру үшін) $R^{\wedge}$ резисторымен тізбектес тағы бір қосымша резисторды $R^{\wedge} = 90$ кОм қосу керек. Сонымен тұрақты токтың көп шектік вольтметрінің схемасын аламыз (3.3, б суретін қараңыз).

Магнит электрлік аспаптардың ерекшеліктері. Жүйенің МЭ аспаптары басқа электр механикалық аспаптармен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие болады. Ол біршама жоғары дәлдік пен сезімталдық; біртекті (сызықтық) шкала; сигнал көзінен салыстырмалы аз меншік энергия тұтыну; сыртқы магнит өрістерінің тәжірибе жүзінде әсерінің болмауы (себебі өзіндік өріс саңылауда бірталай). Сондай-ақ кемшіліктері де бар. Ол ӨМ жұмысының тек тұрақты токпен жұмыс істеу мүмкіндігі; нақты конструкциясының салыстырмалы күрделілігі; артық жүктемелерге, механикалық әсерлерге, соққыларға, вибрацияға байқалатын сезімталдық; уақыт өте келе серіппенің серпімділік қасиетінің өзгеруі, сондай-ақ қоршаған орта температурасының өзгеруінен көрсеткіштердің тәуелділігі.

Заманауи нақты конструкциялар, әрине қарастырғаннан да күрделірек.



МЭ жүйенің аспаптар шкалаларында белгіленуі:

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

Магнит электрлік аспап мысалы. Заманауи МЭ жүйесі аспабының мысалы ретінде ӨҰ «Электроточприбор» (Омбы қ.) шығарылатын М 2044 вольтамперметрін қарастырамыз. Ол тұрақты ток тізбектерінде ток пен кернеуді өлшеуге арналған. Осы көп шектік аспап токтар мен кернеулердің өзгерулерінің кең диапазондарында өлшеулерді жоғары дәлдікпен және сезімталдықпен қамтамасыз етеді.

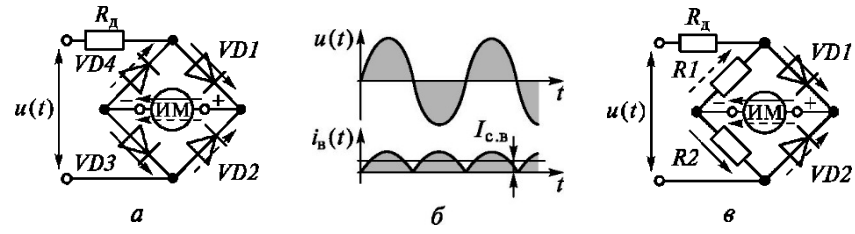
Өлшенетін тұрақты кернеулердің диапазондары	0... 15 мВ/30 мВ/75 мВ/0,15 В/ 0,3 В/0,75 В/1,5 В/3 В/7,5 В/15 В/ 30 В/75 В/150 В/300 В/600 В
Өлшенетін тұрақты токтардың диапазондары	0.75 мА/150 мА/300 мА/0,75 А/ 1,5 А/3 А/7,5 А/15 А/30 А 0,2
Дәлдік класы, %.....	Біртекті, айналы, бөліктер саны 150, ұзындығы 150 мм 243 x 200 x 100
Аспап шкаласы.....	

Габариттік өлшемдері, мм
М 2044 вольтамперметрiнiң техникалық сипаттамалары

3.2.2. Түзетуші жүйенің аспаптары

М айналдыру кезі өрнегінен МЭ жүйесінің аспаптары тікелей тек тұрақты кернеулермен және токтармен қолданылуы мүмкін екені шығады, ал айнымалы ток тізбектерінде жұмыс істеу үшін айнымалы токты тұрақтыға түрлендірушілер — түзеткіштер (детекторлар) қажет болады). Әр түрлі типті детекторлар да қолданылуы мүмкін: амплитудалық мәндегі, орташа түзетілген мәндегі, орташа квадраттық (ағымдағы) мәндегі. Қарапайым аналогты электр механикалық аспаптарда кең таралғаны қарапайым және арзан ретінде орташа түзетілген мәндегі детекторлар.

3.4, а суретінде екі жартылай периодты түзеткіші бар вольтметрдің айнымалы кернеу схемасының нұсқасы көрсетілген, ал 3.4, б суретінде — магнит электрлік ӨМ арқылы кіру кернеуінің u(t) және



Сур. 3.4. Схемы (а, в) вольтметра среднего выпрямленного значения, уақыттық диаграммалар (б)

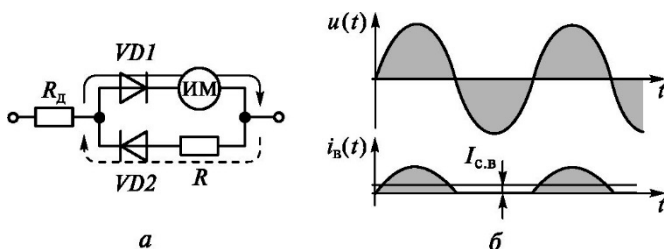
3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:
а — кіру сигналы; *б* — аспаптарды қосу сұлбасы

түзетілген токтың 4(t) уақыттық диаграммалары көрсетілген.

Түзеткіш түзетілген кіру кернеуінің полярлығына тәуелсіз ток 4(t) ΘM арқылы тек бір жаққа қарай өтетіндей түрде қосылған VD1, VD2, VD3, VD4 төрт жартылай өткізгіш диодтардан жасалған көпірмен құралған. Егер қандай-да бір уақыттық интервалда жоғарғы кіріс қысқышында (3.4, а суретін қараңыз) оң потенциал болса, онда VD1 және VD3 диодтары ашылады, ал VD2 және VD4 диодтары жабық, және ΘM арқылы ток оңнан солға қарай өтеді. Егер оң потенциал төменгі кіріс қысқышында болса, онда VD2 және VD4 диодтары ашылады (сонымен қатар VD1 және VD3 диодтары жабық) және ток ΘM арқылы оңнан солға қарай өтеді. Және айналдырушы кез түзетілген токтың функциясы болып табылғандықтан, бірақ ΘM қозғалмалы бөлігінің механикалық инерциялық салдарынан 10 Гц жиіліктен жоғары кездерде аспап көрсеткіштері жақтауда өтіп жатқан токтың 4(t) орташа мәніне тең, яғни орташа түзетілген мәнге $1_{c.v}$ тең. Қосымша резистор L_d , біріншіден, МЭ механизмінің кіріс кернеуі мен номиналды ток арасындағы байланысты орнатады, екіншіден вольтметрдің жеткілікті түрде жоғары кіріс кедергісін қамтамасыз етеді. Сонымен вольтметрдің көрсеткіштері кіріс кернеуінің $u(t)$ орташа түзетілген мәніне пропорционал. Қарастырылған схемадан басқа екі жартылай периодты түзетудің біршама арзан шешімдері де қолданылады, мысалы 3.4, в суретіндегідей (R1 және R2 резисторларының кедергілері бірдей).

Кейбір қарапайым аспаптарда бір жарты периодты түзету жүзеге асырылған (Сур. 3.5, а). Сонымен бірге резистор R кедергісінің мәнін ΘM жақтауының кедергісіне тең етіп таңдап алады.

Осы жағдайда аспаптың сезімталдығы төменірек, өйткені токтың орташа түзетілген мәні осы схемада екі жарты периодты түзетуге қарағанда екі есе аз (Сур. 3.5, б).



Сур. 3.5. Бір жарты периодты түзеткіші бар вольтметр схемасы (а), уақыттық диаграммалар (б)

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

3.4 және 3.5 суреттерінде көрсетілген схемалар көптеген аналогты көпфункционалы өлшеу аспаптарының — тестерлердің негізінде жатыр. Вольтметрлердің өлшеу диапазонының кеңейтілуі әр түрлі қосымша резисторлардың қосылуымен (ауыстырып қосуымен) жүзеге асырылады.

Вольтметрлер мен амперметрлер айнымалы сигналдың ағымдағы емес (жіі талап етілетін), орташа түзетілген мәніне жауап қайтаратынын есте сақтау маңызды. Олар әдетте ағымдағы мәндерде синусоидты сигналдың жеке жағдайы (кең таралған болса да) үшін градуирленеді. Сондықтан байқалатын бейсинусоидты сигналдармен жұмыс кезінде өлшеудің үлкен бұрмаланулары мүмкін. Мысалы, тікбұрышты формаған жақын сигнал формасы кезінде бұрмалану 10 %-ға жете алады.



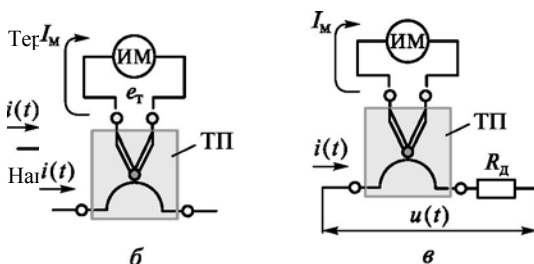
“W”

Түзету жүйесінің аспаптардың шкалаларында белгіленуі:

3.2.3. Термоэлектрлік жүйенің аспаптары

Термоэлектрлік (ТЭ) өлшеу аспаптары электр энергиясын жылулыққа және содан соң қайтадан электрлікке түрлендіруге негізделген. Осы жүйенің аспаптары термоэлектрлік түрлендіргіштен (ТТ) және магнитэлектрлік өлшеу механизмінен тұрады. Термоэлектрлік түрлендіргіш қыздырғыш (нихром немесе константаннан тұратын жіңішке сым) пен термопараның бірігуін бейнелейді (Сур. 3.6, а). Термопараның e_T ТермоЭДС оның жұмыс дәнекерлеу температурасынан, яғни өз алдына ол арқылы өтетін токтың $i(t)$ ағымдағы мәнімен анықталатын қыздырғыш температурасынан тәуелді.

ТТ қыздырғышы бойынша өтетін ток $i(t)$ (айнымалы немесе тұрақты) термопараның жұмыстық дәнекерлеуін осы токтың ағымдағы мәнінің квадратына пропорционалды температураға дейін қыздырады.



Сур. 3.6. Термоэлектрлік аспаптар
схемасы: а — Түрлендіргіш ТЭ; б —
Амперметр ТЭ; в — Вольтметр ТЭ

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:
а — кіру сигналы; б — аспаптарды қосу сұлбасы

Термопараның еркін ұштары магнит электрлік ӨМ-ге қосылады (Сур. 3.6, б). ӨМ арқылы өтетін ток I_m :

$$I_m = e_{\text{т}}^{\text{Р}} I_{\text{т}}$$

мұнда $e_{\text{т}}$ — термопараның термоЭДС термопары; $R^{\text{т}}$ — термопара мен мен ӨМ жиынтық кедергісі.

Аспап көрсеткіші келесі формула бойынша анықталады:

$$a = kI^2,$$

мұнда k — ТТ конструкциясының ерекшеліктерімен анықталатын пропорционалдық коэффициенті; I — өлшенетін токтың $i(t)$ ағымдағы мәні.

3.6, б суретінде амперметр ТЭ, ал 3.6, в суретінде – вольтметр схемасы келтірілген.

Кіші токтар мен кернеулерді өлшеу үшін (өйткені термопараның термоЭДС мәндері – бірліктер – ондаған милливольт) аспап схемасына термопараның шығу сигналын арттыратын тұрақты токты күшейткіш енгізіледі (3.3 бөлімшені қараңыз). ТЭ амперметрлерінің өлшеу диапазондарының мәндердің арту жағына кеңейтілуі токтың өлшеуіш трансформаторлары көмегімен жүзеге асырылады. Вольтметрлердің ТЭ шектерінің кеңейтілуі жағдайында қосымша әр түрлі кедергілері бар резисторларды қолданады.

ТЭ аспаптарының артықшылықтарына мыналарды жатқызуға болады:

- тұрақты және айнымала токпен және кернеулермен жұмыс;
- нағыз орташа квадраттық (ағымдағы) мәнге сигнал формасынан тәуелсіз реакция;
- өлшенетін сигналдардың жиіліктерінің кең диапазоны (ондаған мегагерцтерге дейін);
- аспаптардың салыстырмалы жоғары дәлдігі (дәлдіктің типтік кластары 1,0...1,5).

ТЭ кемшіліктеріне жатады:

- ТТ біршама жылулық инерттілігіне төмен тезерекеттілігі;
- аспаптардың зерттелетін сигнал көзінен байқалатын меншіктік тұтыну;
- аспаптар шкаласының әркелкілігі (квадраттық);
- термопараның еркін ұштарының өзгеруінен дәлдіктің тәуелділігі;
- кіші асқын жүктемелік қабілет.



Шкалаларда термоэлектрлік аспаптардың белгіленуі:

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
 a — кіріс сигнал; b — аспаптарды қосу сигналы

3.2.4. Электр магнит жүйесінің аспаптары

Өнеркәсіптік жиіліктегі айналымы ток электр тізбектерінде жұмыс істеуге арналған қалқандық өлшеу аспаптарында магнит электрлік жүйе алдында бірқатар артықшылықтары бар электр магниттік (ЭМ) жүйе кең қолданылады.

Конструкциясы және жұмыс істеу принципі. Осы ЭМ Ең қарапайым конструкция негізінде (Сур. 3.7) өлшенетін тогы бар I қуыс катушка (немесе өлшенетін кернеуге U вольтметр жағдайында пропорционал тогы бар).

Протекающий по катушке 1 катушкасы бойынша өтетін ток жұмсақ магнит материалдан жасалған және 2 осьте бекітілген 4 білікті тартатын (катушка ішіне тартып алатын) магнит ағынын туындатады.

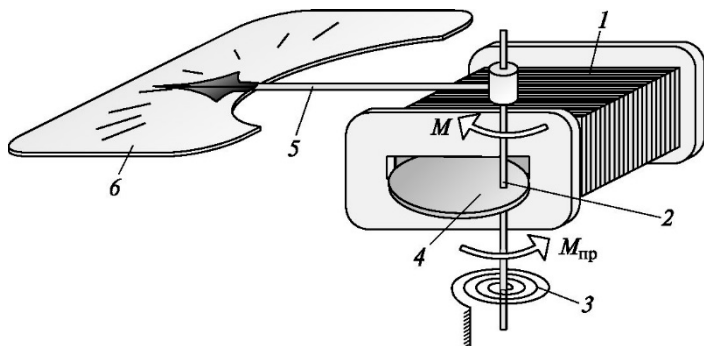
Сонымен бірге а бұрылыс бұрышы бойынша осы электр механикалық жүйенің энергиясының туындысына тең M айналдыру кезі пайда болады: мұнда I — катушкадағы токтың ағымдағы мәні; L — катушканың индуктивтілігі; α — біліктің бұрылыс бұрышы.

Спираль серіппе 3 қарсы іс-қимыл жасайтын кезді $M_{пр}$ құру үшін қызмет етеді:

$$M_{пр} = aO,$$

мұнда O — салыстырмалы қарсы іс-қимыл жасайтын кез.

M және $M_{пр}$ кездері бір-біріне бағытталған. С ростом угла поворота α бұрылыс бұрышының артуымен қарсы іс-қимыл жасайтын кез $M_{пр}$ пропорционалды түрде артады.



Сур. 3.7. Электр магниттік механизм құрылғысы:

1 — өлшенетін тогы бар катушка; 2 — ось; 3 — спираль серіппе; 4 — жұмсақ магнит материалдан жасалған білік; 5 — нұсқар; 6 — шкала

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы

Ол кездер теңескеше жалғасады. $M = M_{np}$ кезінде

Сәйкесінше, бұрылыс бұрышы

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

$$a = \text{---}$$

$$\frac{1^2}{20} \frac{dL}{da}$$

Есептеуші құрылғы — нұсқар 5 және шкала 6 — біліктің бұрылыс бұрышын көрсеткіштерге түрлендіреді (есептеу).

Соңғы теңдеуден ЭМ аспаптары тұрақты және айнымалы ток тізбектерінде жұмыс істей алатыны шығады; сондай-ақ ЭМ аспаптардың шкаласы – сызықты емес (квадраттық).

Сыртқы магнит өрістерінен мықты қорғаныспен қамтамасыз ететін тұйық магнит өткізгіші бар ЭМ өлшеу механизмдерінің басқа да конструкциялары болады.

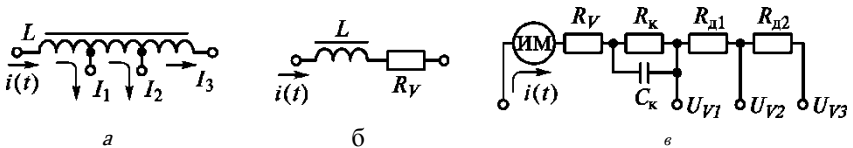
Амперметрлер мен вольтметрлер. ЭМ жүйенің амперметрлер конструкциясының негізінде токтарды өлшеу шектерін өзгертуге болатын: $I_1 > I_2 > I_3$ бірнеше секциялардан тұратын (Сур. 3.8, а) катушка жатыр.

Вольтметрдың катушкамен тізбектес қарапайым схемасында қосымша резистор R_V (Сур. 3.8, б) кіреді. Мұндай схемада кернеу жиілігінің артуымен өлшеу механизмі катушкасының индуктивті кедергісі артады:

$$X_L = j \omega L.$$

Сонымен бірге тізбектің жиынтық кедергісі артады, катушкадағы ток түседі, ол аспап көрсеткішінің азаюына әкеледі.

Жеткілікті кең жиілікті диапазонда толық кешендік кедергіні шамамен тұрақты қылып ұстап тұру үшін вольтметр схемасына (Сур. 3.8, в) катушка кедергісінің артуының орнын толтырып отыратын кедергісі жиілік артқан сайын төмендейтін жиіліктік коррекция (конденсатор C_K и резистор R_K) тізбегі енгізіледі. Қосымша резисторлар $R_{д1}$ және $R_{д2}$ көмегімен кернеуді өлшеудің бірнеше диапазондарында жұмыс істеу мүмкіншілігі қамтамасыз етіледі.



Сур. 3.8. Электр магниттік жүйенің амперметрлер (а) және вольтметрлер схемасы

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

ЭМ аспаптарының ерекшеліктері. Электр магниттік жүйенің аспаптары тұрақты және айнымалы ток пен кернеулерді өлшеу үшін қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар олар айнымалы сигналдың нағыз орташа квадраттық (ағымдағы) мәніне оның формасына тәуелсіз (өзін салыстырмалы кең емес жиіліктік диапазоны шегінде) жауап қайтарады. Одан бөлек, маңызды артықшылығы болып осы жүйенің аспаптары аса үлкен жүктемелерге төзімді, (мүмкін екі және үш есе артық жүктемелер), конструкциясының салыстырмалы қарапайымдығы, және тиісінше, берік және арзан ЭМ аспаптар – оларды кең таралған қалқандық аспаптар деп айтуға да болады.

ЭМ жүйесі аспаптарының кемшіліктері мынадай:

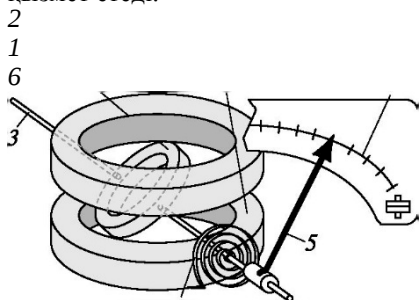
- сызықты емес (квадраттық) шкала;
- өлшенетін сигналдардың жиіліктік диапазоны жіңішке (жүздеген герц — килогерц бірліктер);
- сыртқы магнит өрістерінің байқалатын әсері;
- жоғары емес дәлдік класы (типтік — 1,5...2,5%).

ЭМ жүйе аспаптарының шкалаларда белгіленуі:



3.2.5. Электр динамикалық жүйе аспаптары

Конструкциясы және жұмыс істеу принципі. 3.9 суретте электр динамикалық (ЭД) өлшеу механизмінің қысқартылған конструкциясы келтірілген. Тоғы бар I_1 қозғалмайтын катушка 1 екі бөлікке бөлінген; тоғы бар I_2 қозғалатын катушка 2 қозғалмайтын катушка ішінде оське 3 бекітілген. Спираль серіппе 4 қарсы іс-қимыл жасайтын кезді тудыру үшін қызмет етеді.



Жұмыс істеу принципі I_1 және I_2 токтары бар екі катушканың магнит ағындарының өзара әрекет етуіне негізделген. Катушкалар арқылы өтетін токтар бір бағытты алуға тырысатын магнит ағындарын туындатады, сонымен қатар қозғалмалы катушка қозғалмайтын катушка ішінде бұрылады. М айналдыру кезі өлшеу

Сур. 3.9. Электр динамикалық өлшеу механизмінің конструкциясы үшін:

1 — қозғалмайтын катушка; 2 —
қозғалмалы катушка; 3 — ось; 4 —
спираль серіппе; 5 — нұсқар; 6 —

шкала

$$M = I_1 I_2 \frac{dL_{1-2}}{d\alpha},$$

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы

$$M = I_1 I_2 \cos \varphi \frac{dL_{1-2}}{d\alpha},$$

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
a — кіріс сигнал; *б* — аспаптарды қосу сигналы

мұнда $L_{1,2}$ — катушкарлардың өзара индуктивтілігі; α — қозғалмалы бөліктің бұрылыс бұрышы.

а

б

'()

ГТК _

Электр динамикалық аспаптар тұрақты және айнымалы ток тізбектерінде қолданыла алады. Екінші жағдайда синусоидты токтар кезінде айналдыру кезі мына формула бойынша анықталады.

Сур. 3.10. Электр динамикалық амперметрдің схемасы:
а — бұдан әрі байланыстырумен катушек; б — параллельді

мұнда I_1, I_2 — катушкарлардағы айнымалы токтардың ағымдағы мәндері; Φ — катушкарлардағы токтар арасында фазалар жылжуының бұрышы.

ЭД механизмі негізінде амперметрлер, вольтметрлер, ваттметрлер, фазометрлер шығарылады.

Амперметрлер мен вольтметрлер. Катушкарлардың 3.10, а суретінде көрсетілген тізбектесіп жалғану схемасы миллиамперметрлерде қолданылады. Катушкарлардың параллель жалғануымен 3.10 б суретінің схемасы 0,5 А аса токтардағы амперметрлерде қолданылады.

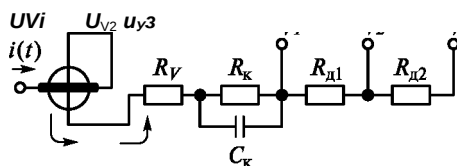
Вольтметр схемасында катушкарлардың тізбектес жалғануы қолданылған (Сур. 3.11).

R_V резисторы аспаптың кіріс кедергісін арттыру қызмет етеді. $R_{д1}$ және $R_{д2}$ қосымша резисторлары бірнеше диапазондарда жұмыс істеу мүмкіншілігімен қамтамасыз етеді (номиналды кіріс кернеулерінің мәндері $U_{V3} > U_{V2} > U_{V1}$).

Мұнда электр магниттік жүйедегі вольтметрлердегідей катушкарлардың индуктивтік кедергісі өлшенетін сигналдың жиілігінің артуымен өседі. Сондықтан толық кешендік кедергіні ЭМ аспаптарымен ұқсас жағдайындағыдай жиіліктің кейбір диапазондарында шамамен тұрақты қылып ұстап тұру үшін жиіліктік коррекция қолданылады (конденсатор C_K және резистор $R^\wedge$).

Ваттметрлер. ЭД механизмі негізінде әр түрлі типті аспаптар шығарылады, бірақ негізгі қолданысты осы принцип ваттметрлерден тапты.

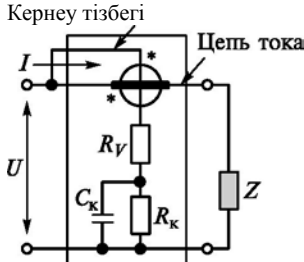
Айналдырушы кездің өрнегіндегі екі токтың туындысы ЭД механизмдері негізіндегі ваттметрлерді тұрғызу үшін негіз болып табылады. Егер бір катушкада ток жүктемеге өтетін токқа тең болса, ал



Сур. 3.11. Электр динамикалық

жүйедегі ваттметрдің схемасын көрсеткіші мен реакциясы:

а — кіру сигналы; б — аспаптарды қосу сұлбасы



Сур. 3.12. Схема
ваттметра
электродинамической
системы

екінші катушкада ток жүктемедегі кернеуге пропорционал болса, онда аспаптың көрсеткіштері белсенді қуатқа пропорционал болады. Ваттметрдің қосылу схемасы 3.12 суретте келтірілген.

Кернеу катушкасының тізбегінде жиіліктік коррекция элементтері болады (конденсатор C_K және резистор R_K).

ЭД аспаптарының ерекшеліктері. ЭД аспаптарының артықшылықтарына мыналар жатады: жоғары дәлдік (0,1 % дейін); тұрақты, айнымалы токта жұмыс істеу мүмкіншілігі; осы жүйенің амперметрлері мен вольтметрлері

айнымалы және тұрақты токтың немесе кернеудің ағымдағы мәніне жауап қайтарады. Кемшіліктері:

- салыстырмалы төмен сезімталдығы;
- сыртқы магнит өрістерінің мүмкін әсер етуі (ол механизмнің экрандалуын талап етуі мүмкін);
- катушкардың кедергілеріне қоршаған орта температураларының байқалатын әсері, оның салдарынан аспап көрсеткіштеріне әсері;
- сигнал көзінен меншіктік энергия тұтыну қуаты;
- сызықты емес (квадраттық) шкала;
- шектелген жиіліктік диапазон (1...5 кГц).

Асп **п**
аппард **тп**
ың

шкалаларында ЭД жүйесінің белгіленуі:

Механизмнің магниттік экрандалуы бар ЭД жүйесінің белгіленуі:

Катушкардың магнит ағындары классикалық нұсқадағыдай ауа бойынша емес қосымша магнит өткізгіштер бойынша тұйықталатын конструкциялар алуантүрлілігі болады. Ол ферродинамикалық жүйе (ФД). Магниттік кедергінің азаюының арқасында механизмнің айналдыру кезі біршама артады, сондықтан аспаптың меншіктік тұтыну қуаты төмендеуі және (немесе) оның сезімталдығы артуы мүмкін. Сонымен қатар магнит өткізгіштердің болуы сыртқы магнит өрістерінің әсерін төмендетеді және сондықтан механизмді экрандау қажет емес. ФД аспаптарының дәлдігі төмен, ал жиілік диапазоны ЭД салыстырғанда жіңішкерек.



ФД жүйенің аспаптар шкаласында белгіленуі:

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

ЭД және ФД аспаптарының негізгі қолдануы — өнеркәсіптік жиіліктегі (50 Гц) айнымалы ток электр тізбектеріндегі жұмыс.

3.2.6. Электр статикалық вольтметрлер

Электр статикалық (ЭС) вольтметрлер негізінен жоғары вольттық тізбектердегі айнымалы және тұрақты токтағы кернеулерді өлшеуге арналған.

Конструкциясы және жұмыс істеу принципі. Электр статикалық механизм құрылғысының жұмыс істеу принципі зарядталған электродтардың өзара әрекеттесуіне негізделген. Осы ӨМ (Сур. 3.13) конструкциясы негізінде айнымалы сыйымдылықты түзетін екі электрод (араларында ауа саңылауы болатын алюминий пластиналар). Өлшенетін кернеу U өзіндік камераны түзетін, қозғалмайтын пластинаға 1 және оське 3 бекітілген қозғалмалы пластинаға 2 беріледі. Спираль серіппе 4 $M_{пр}$ қарсы іс-қимыл жасайтын кезді құру үшін қызмет етеді. Нұсқау 5 пен шкала 6 есептеуші құрылғыны туындатады.

Пластиналарға келтірілген кернеу U пластиналар арасында электр өрісін туындатады. Электр статикалық тартылыс күштері әсерінен қозғалмалы пластина нұсқары бар осьті бұра отырып қозғалмайтын пластина камерасына тартылады. Келтірілген (өлшенетін) кернеу неғұрлым жоғары болса, соғұрлым қозғалмайтын (пластиналарды жабу ауданы артады) пластина ішіне қозғалмалы пластина тереңірек кіреді және соғұрлым бұрылыс бұрышы көптеу болады. Қозғалмалы пластина геометриясы аспап шкаласының сызықтығын (біркелкілігі) арттыратындай таңдалады.

M айналдыру кезі a бұрылу бұрышы бойынша осы электр механикалық жүйенің туынды энергиясына тең:

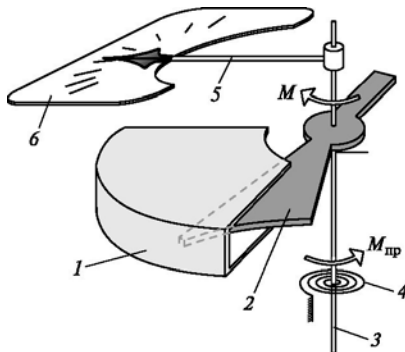
мұнда U — пластиналардағы кернеу;
 C — пластиналар арасындағы сыйымдылық; a — білік осі бұрылысының бұрышы.

Қарсы іс-қимыл жасайтын кез мына формула бойынша анықталады

$$M_{пр} = aO,$$

мұнда O — салыстырмалы қарсы іс-қимыл жасайтын кез.

M және $M_{пр}$ кездері бір-біріне бағытталған.



Сур. 3.13. Электр статикалық механизм құрылғысы:

1 — қозғалмайтын пластина; 2 — қозғалмалы пластина; 3 — ось; 4 — спираль серіппе; 5 — нұсқар; 6 — шкала

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы

а бұрылысы бұрышының артуымен $M_{пр}$ қарсы іс-қимыл жасайтын кез пропорционал өседі. Ол кездер теңескенше жалғасады. $M = M_{пр}$ кезінде

$$\frac{-u^2}{a} = aO. 2 d$$

Сәйкесінше, ЭС вольтметр шкаласының теңдеуі мынадай түрде болады

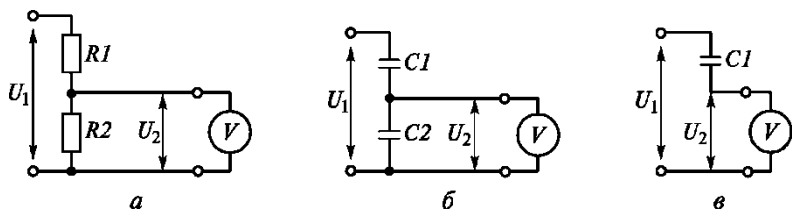
$$= \frac{U^2 dC a}{2Q d a}$$

соңғы теңдеуден шығатыны, біріншіден ЭС аспаптар тұрақты және айнымалы ток тізбектерінде кернеуді өлшей алады, екіншіден, ЭС вольтметрлерінің шкаласы – сызықты емес (квадраттық).

ЭС вольтметрлерінің өлшеу диапазондарын кеңейтуді бірнеше тәсілдермен орындауға болады. Тұрақты токта ол кернеуді резистивті бөлгіш көмегімен жасалады (Сур. 3.14, а). Айнымалы токта кернеудің сыйымдылықты бөлгішін қолданады (Сур. 3.14, б) немесе ЭС механизмінің сыйымдылығымен бірлесіп кернеу бөлгішін құратын қосымша конденсаторды (Сур. 3.14, в) пайдаланады.

ЭС вольтметрлерінің ерекшеліктері. ЭС вольтметрлерінің артықшылықтарына келесілерді жатқызуға болады:

- жоғары кіріс кедергісі (тұрақты кернеуде — шексіз, ал төмен және орташа жиіліктерде ондаған және одан да көп мегаом құрайды), ол өлшенетін кернеу көзінен меншік энергияның өте аз тұтынылуын білдіреді;
- кернеудің орташа квадраттық (ағымдағы) мәніне реакция сигнал формасынан тәуелді емес;
- өлшенетін кернеулер жиіліктерінің кең диапазоны (бірліктер — ондаған мегагерц);
- салыстырмалы жоғары дәлдік (дәлдіктің типтік кластары 1,0... 1,5);



Сур. 3.14. Төмендегілердің көмегімен ЭС вольтметрін өлшеу диапазондарын кеңейту тәсілдері:

а — резистивті бөлгіш; б — сыйымдылықты бөлгіш; в — қосымша конденсатор

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:

а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

- қарапайым конструкции және сәйкесінше, жеткілікті мықтылық, ЭС вольтметрлерінің кемшіліктері:

- сызықты емес шкала;

- аз сезімталдық;

- механизмді экрандалуын талап етуші мүмкін сыртқы электр өрістерінің маңызды әсері.

ЭС вольтметрлерінің негізгі қолданылуы — жоғары вольттық тізбектерде, аз қуатты тізбектерде, сондай-ақ жоғары жиілікті сигналдары бар тізбектерде өлшеулер.



ЭС вольтметрлерінің шкалаларда белгіленуі:

1
1
1

Экрандалған ӨМ бар ЭС вольтметрлерінің белгіленуі:

3.2.7. Индукциялық жүйе аспаптары

Конструкциясы және жұмыс істеу принципі. Индукциялық аспаптардың жұмыс істеу принципі қозғалмады өткізгіште (мысалы, дискте) индукцияланған тогы бар екі немесе бірнеше айналымы магнит ағындарының өзара әрекеттесуіне негізделген. Осы жүйенің типтік өкілі болып классикалық *индукциялық есептегіш* – белсенді энергияны өлшеуіш табылады.

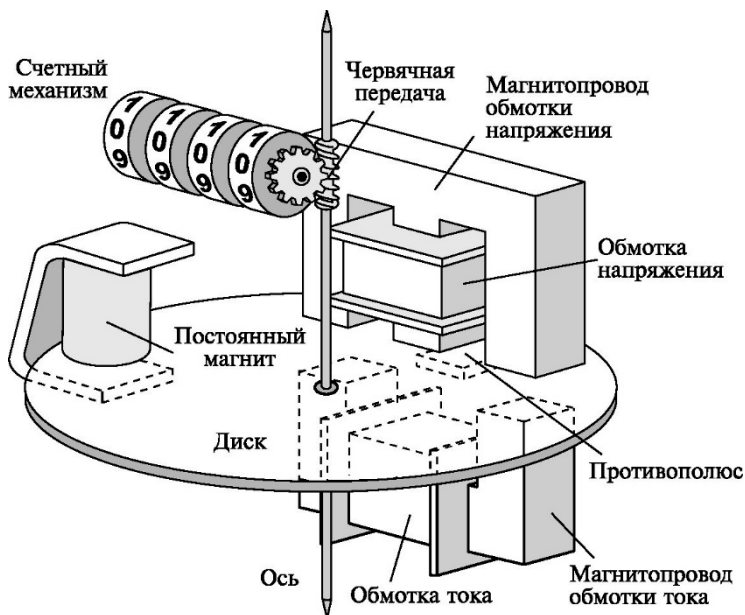
Белсенді энергияның индукциялық бір фазалы есептегіш құрылғысы мен жұмыс істеу принципі қарастырамыз. 3.15 суретте осындай аспаптың қысқартылған конструкциясы көрсетілген. Негізгі элементтері болып өз орамдары бар (кернеулік және токтік) екі магнит өткізгіш, айналатын диск және есептегіш механизм табылады. Ваттметр сияқты есептегіштің ток пен кернеу орамдары болады. Есептегіш тізбекке ваттметр сияқты қосылады.

Схема (Сур. 3.16) мен векторлық диаграмма (Сур. 3.17) посы аспаптың жұмыс істеу принципі түсіндіреді.

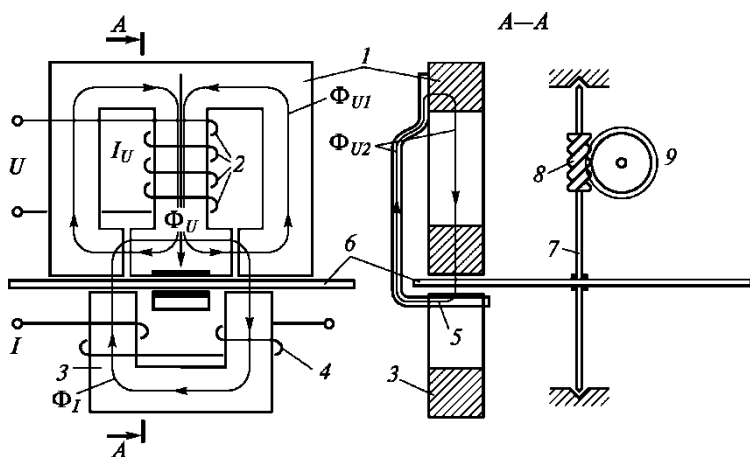
Есептегіш жұмысын ағымдағы мәндері бар U және I тең болатын синусоидты формадағы кернеу мен токтың кіріс сигналдары мысалында қарастырамыз. Кернеу орамына 2 қойылған кіріс кернеуі U онда 90° жақын фаза бойынша жылжуы бар ток туындатады (осы орамның үлкен индуктивтік кедергісі салдарынан). Ток I_U кернеудің 1 магнит өткізгіш орамының білігінде $\Phi_{и1}$ магнит ағынын туындатады. Осы ағын $\Phi_{и1}$ екі ағынға бөлінеді: жұмыс істемейтін $\Phi_{и1}$, ол магнит өткізгіш ішінде тұйықталады 1; және негізгі ағын $\Phi_{и2}$, ол осьте 7 бекітілген қиып өтетін және онымен бірге айналатын 6. Осы негізгі ағын қарсы полюс 5 арқылы тұйықталады.

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы



Сур. 3.15. Белсенді энергияның бір фазалы есептегішінің қосылу схемасы



3.16.сурет Есептеуіштің түсіндіру әрекеті принципінің схемасы:

1 — кернеу орамының магнит өткізгіші; 2 — кернеу орамы; 3 — ток орамының магнит өткізгіші; 4 — ток орамы; 5 — қарама-қарсы полюс; 6 — диск; 7 — ось;

8 — бұрамдықты беріліс; 9 — есептеуші механизм

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:

а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

Ток орамынан 4 өтетін кіріс тогы I дискті 6 екі рет қиып өтетін магнит өткізгіште 3 магнит ағынын Φ_U туындатады. Φ_y ағыны токтан I бірнеше шығын бұрышына α_y артта қалып қояды (себебі осындай орамның кедергісі а болады).

Сонымен, дискті кеңістікте сәйкес келмейтін және у фазалық жылжуы болатын екі магнит ағыны қиып өтеді $\Phi_{и2}$ және Φ_y . Сонымен қатар дискте M айналдыру кезі пайда болады:

$$M = cf\Phi_{U2}\Phi_I \sin \gamma,$$

мұнда c — қандай-да бір константа; f — кернеу жиілігі.

Магнит өткізгіштер материалдарының магниттелу сызықтық учаскесінде санауға болады:

$$\Phi_y = kjI;$$

$$\Phi_{и2} = \frac{k_2 U}{Z_U} >$$

мұнда k_1 және k_2 — пропорционалды коэффициенттері; Z_U — кернеу орамының толық кешендік кедергісі.

Кернеу орамының кедергісінің реактив (индуктивті) құраушысы Z_U белсендіге қарағанда біршама көп, мынадай етіп жазуға болады

$$Z_U \sim 2\pi f L_U,$$

мұнда L_U — кернеу орамының индуктивтігі. Онда

$$\begin{aligned} &= k_2 U = \frac{k_3 U}{2\pi f L_U} \\ & f \end{aligned}$$

мұнда $k_3 = k_2 / (2\pi f L_U)$.

Сәйкесінше, M айналдыру кезі берілген электр магнит механикалық жүйесінде келесідей анықтауға болады:

$$M = kUI \sin \gamma,$$

мұнда k — пропорционалдың жалпы коэффициенті пропорциональности.

Айналдыру кезі ағымдағы белсенді қуатқа пропорционал болуы үшін мына шартты орындау керек

$$\sin \gamma = \cos \phi.$$

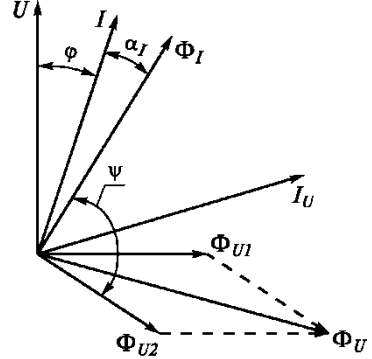


Рис. 3.17. Векторная диаграмма

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; б — аспаптарды қосу сұлбасы

Ал ол өз кезегінде егер $\gamma + \phi = 90^\circ$ болса, орындалады. Бұл теңдеу шығындар а/ бұрышының өзгеруімен (реттеуімен) қамтамасыз етілуі мүмкін. Осы бұрыштың өзгеруі екі сатылы жүзеге асырылады: өрескел — магнит өткізгішке 3кигізілген қысқа тұйықталған орамдар санының өзгерісімен, ал бірсарынды — қосымша тізбек кедергісінің өзгерісімен (осы конструкция элементтері 3.15 және 3.16 көрсетілмеген).

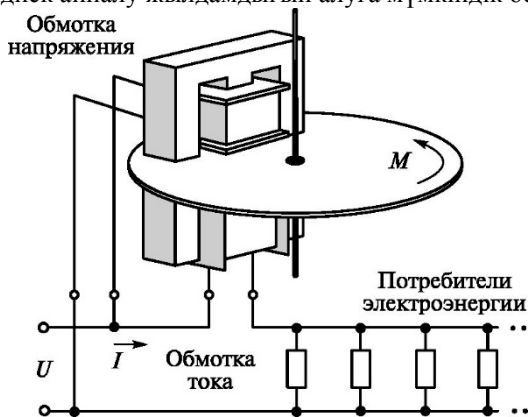
Сонымен М айналдыру кезінің белсенді қуаттың ағымдағы мәніне пропорционалдығы қамтамасыз етіледі. Тұтынылған белсенді энергия нәтижесін алу үшін ағымдағы қуаттың мәндерін интеграциялау жеткілікті. Осы интеграциялау есептегіш механизммен 9, бұрамдықты берілісі 8 бар байланыстырушы осыпен 7 жүзеге асырылған.

Тұрақты магни тежеуіш кезін құруға және ағымдағы белсенді қуат мәніне пропорционал бұрыштық айналдыру жылдамдығын қамтамасыз етуге арналған. Сонымен қатар шынайы конструкцияда қосымша элементті қамтамасыз ететін, үйкеліс кезін орнын толтыратын, сонымен қатар «өздігінен жүруді» болдырмайтын элементтері болады (3.15 және 3.16 суретте келтірілмеген).

Есептегіштің қосылуы. 3.18 суретте белсенді энергияның бір фазалы есептеішінің қосылу схемасы келтірілген.

Нақты есептегі үшін номиналды кернеуге қарағанда көбірек кернеуі бар тізбектерде жұмыс істеу үшін кернеудің және /немесе тоқтың өлшеуіш трансформаторлары қолданылады. Қосылу схемасы ваттметрдегідей болады.

Реактив энергияны өлшеу үшін индукциялық өлшеуіштер қолданылады. Олардың жұмыс істеу принциптері қарастырылғанға ұқсас келеді. Кейбір өзгешеліктері конструкциясында, қосылуды ұйымдастыруында, және соған тиісті векторлық диаграммаларда ағымдағы реактив қуаттың мәніне пропорционал диск айналу жылдамдығын алуға мүмкіндік береді.



Сур. 3.18. Белсенді энергияның бір фазалы есептегішінің қосылу схемасы

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
 a — кіріс сигнал; b — аспаптарды қосу сигналы

Номиналды тұрақты есептегіш. Есептегішпен ескерілетін энергия бірлігіне келетін дисктің айналымдар санын есептегіштің беріліс саны деп атайды. Мысалы, төлқұжатта «2000 айналым 1 кВт-сағ сәйкес» деп айтылған. Беріліс санына кері, яғни дисктің бір айналымына келетін коэффициент *есептегіштің номиналды тұрақтысы* $C_{\text{ном}}$ деп аталады. Мысалы:

$$C_{\text{ном}} = \frac{3600}{2000} = 1800 \text{ Вт} \cdot \text{с/об.}$$

Зная $C_{\text{ном}}$ және айналымдар санын N біле отырып тұтынылған белсенді энергияны табуға болады:

$$W = C_{\text{ном}} N$$

Мысал. Есептегіштің номиналды тұрақты мәні белгілі $C_{\text{ном}} = 1800 \text{ Вт} \cdot \text{с/об.}$ Бақылау уақыты ішінде дисктің 400 айналымы тіркелген ($N = 400 \text{ об.}$). Бақылау уақытында тұтынылған белсенді энергия мәнін табамыз:

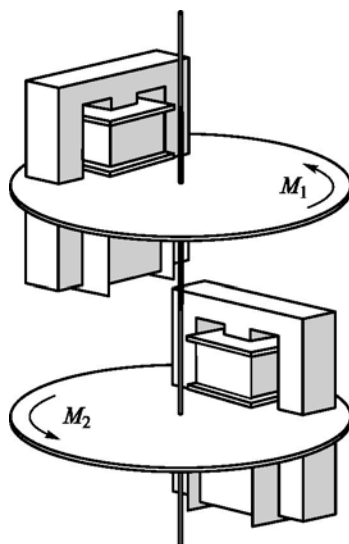
$$W = 1800 \cdot 400 = 720\,000 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 0,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Индукциялық есептегіштердің дәлдік кластары (салыстырмалы ауытқумен беріледі) әдетте жоғары емес: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0.

Аспаптар шкаласында

индуктивті жүйесінің

белгілеуі:



Сур. 3.19. Қосэлементті үш фазалы есептегіш

Үшфазалы есептегіштер. Үш фазалы тізбектерде жиынтық белсенді және реактив энергияны есепке алу үшін екі элементті және үш элементті есептегіштер қолданылады. Осындай есептегіштерде сол бір фазалы аспаптардағыдай конструктивтік элементтер (бір, екі, үш механизм) қолданылады. Дисктер (екі немесе үш) ортақ оське бекітілген. Дисктердің айналдыру кездері қосылады, және осьтің айналу жылдамдығы ағымдағы тұтынылып жатқан жиынтық қуатқа тәуелді. 3.19 суретте екі элементті үш фазалы есептегіш құрылымы қысқартылып көрсетілген. Осы жағдайда айналу жылдамдығы M_1 және M_2 кездерінің жиынтығымен анықталады. Үш фазалы есептегіштер үш фазалы ваттметрлер сияқты қосылады.

Бүгінде белсенді энергияны өлшеу тапсырмаларында энергияны сандық

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы

өлшеу (микропроцессорлық) есептегіштері кең қолданылады. Техникалық экспресс-өлшеу тапсырмаларында қысқа уақыттық тәжірибелерде тұтынылған энергияны бағалау үшін автономдық аз габаритті сандық өлшеу регистраторлары (анализаторлары) қолданылады, оларда белсенді және реактив энергияны есептеу режимі болады немесе осы шамаларды компьютер мен арнайы бағдарламалық жабдық көмегімен табуға мүмкіндік береді.

3.3. ЭЛЕКТРОНДЫҚ ӨЛШЕУ АСПАПТАРЫ

Электрондық ӨА (ЭӨА) электромеханикалыққа карағанда біршама күрделі құрылғылар. Олардың сигналды бөлгіш, күшейткіш, түзеткіш және фильтрация функцияларын атқаратын, бір электр шамаларын басқасына түрлендіретін бірнеше түрлі түрлендірушілері болады. Шығу құрылғылары ретінде көптеген ЭӨА тиісті градуирлеу шкаласы бар магнит электрлік өлшеу механизмдері қолданылады.

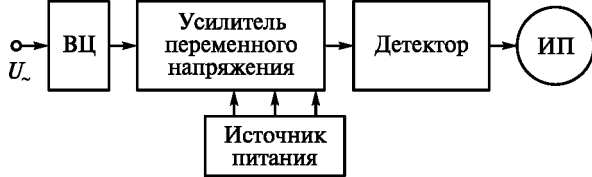
Электрлік өлшеу тапсырмаларында ЭӨА алуан түрлі типтері қолданылады (айнымалы және тұрақты кернеу вольтметрлері, жиілік өлшегіштер мен фазометрлер, омметрлер, индуктивтілік пен сыйымдылықты өлшеуіштер, алуан түрлі генераторлар, осциллографтар мен анализаторлар). Осы алуантүрліліктің ішінен кең таралған аспаптар ретінде электрондық вольтметрлерін тобын бөліп көрсетеміз және вольтметрлер мысалында ЭӨА тұрғызу мен қолдану негізгі ерекшеліктерін қарастырамыз.

3.3.1. Айнымалы кернеудің электрондық вольтметрлері

Айнымалы кернеудің электрондық вольтметрлері 3.20 суретт келтірілген екі құрылымдық схемалардың бірі бойынша құрылады. Өлшенетін айнымалы кернеу $U_{\sim}$ вольтметр кірісіне келіп түседі. Аспаптың кіріс тізбегі КТ-де кернеуді бөлгіштер, ауыстырып қосқыштар, қосымша түрлендіргіштер, фильтрлер және т.б. болады. Күшейткіш сигналдарды қажет деңгейге дейін күшейту үшін керек. Детектор сол және өзге схемада айнымалы кіріс (немесе күшейтілген) сигналын түзету үшін қызмет етеді; ӨА — шкаласы қажет мәндерде градуирленетін шығу өлшегіш аспабы (жиі магнит электрлік жүйеде).

б

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы



a



Сур. 3.20. Айнымалы кернеу электрондық
вольтметрлерінің құрылымдары: *a* —
күшейткіш—детектор — аспап; *б* — детектор —
күшейткіш — аспап

Схемалар зерттелетін сигналдың негізгі кезеңдерінің түрлендіруінің кезектесуімен ерекшеленеді. Бірінші жағдайда (3.20, *a* суретін қараңыз) кіріс периодты кернеуі $U_{\sim}$ алдымен айнымалы кернеу күшейткішінің көмегімен күшейтіледі, содан соң детектормен түзетіледі. Осы схема бойынша тұрғызылған аспаптар (күшейткіш—детектор — аспап), жоғары сезімталдыққа ие, бірақ өлшенетін кернеулердің жиіліктерінің аз диапазонына ие болады (шамамен 20 МГц).

3.20, б схемасы бойынша тұрғызылған аспаптарда (детектор — күшейткіш—аспап), кіріс сигналы алдымен детектормен түзетіледі, содан соң тұрақты кернеу күшейткішімен күшейтіледі. Мұндай вольтметрлер, керісінше, жоғары диапазондағы жиіліктерге ие болады (20 Гц бастап 500 МГц дейін), бірақ сезімталдығы өте аз (нашар) болады (сезімталдық шамасы 0,5 В бастап).

3.3.2. Түзеткіштер (детекторлар)

Айнымалы кернеулі электрондық вольтметрдің негізгі элементтерінің бірі түзеткіш (детектор) — айнымалы кернеуді тұрақтыға түрлендіргіш болып табылады. Әсіресе детектордың ерекшеліктері айтарлықтай шамада вольтметрдің сипаттамасы мен функционалдық мүмкіндіктерін анықтайды. Вольтметрдің тағайындалуына байланысты детектордың түрлі сұлбалары қолданылады:

- Амплитудалық мәнді;
- Орта түзетілген мәнді;
- Орта квадраттық (әрекеттік) мәнді.

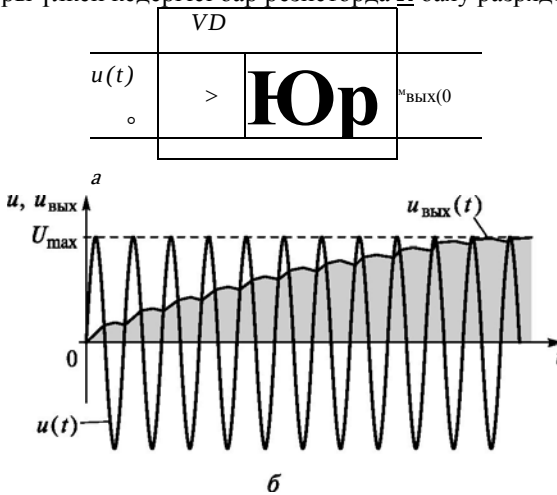
3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:
a — кіру сигналы; *б* — аспаптарды қосу сұлбасы

Амплитудалық мәнді детекторлар (немесе амплитудалық детекторлар — АД) ашық кіруі бар АД (АДАК) және жабық кіруі бар АД (АДЖК) деп бөлінеді. Амплитудалық детекторлар кейде шындық детекторлар деп аталады. Осындай детекторлардың жұмысы мен құрылғысын қарастырайық. Детектордың екі нұсқасының жұмысын қарастырған кезде алдыңғы каскадтың шығыс кедергісі (немесе күшейткіш – вольтметрдің құрылымына байланысты) елеместей аз деп болжайық және конденсатордың C заряд t_3 уақыты мен разрядының t_p уақытының тұрақтыларының мәндерін анықтамайды.

3.21,а-суретте АДАК қысқартылған сұлбасы, ал 3.21,б-суретінде – осындай детектордың кірмелік $u(t)$ және шығыс $u_{\text{вых}}(t)$ кернеулерінің өзгеруінің уақытша диаграммасы келтірілген.

Сұлба құрамында жартылай өткізгіш диод VD , конденсатор C және жүктемелік резистор R бар.

Жоғарғы кіру қысқышына кірмелік кернеуінің $u(t)$ оң жартытолқыны түсімі кезінде (нақтырақ айтқанда, жоғарғы және төменгі кіру қысқыштарының арасындағы потенциалдардың оң айырмашылығы кезінде) VD диоды ашылады (бұл кезде оның кедергісі ең аз болады - r_0), және C конденсаторы арқылы оны зарядтаушы тоқ өтеді. Кірмелік кернеуі $u(t)$ мен конденсатордағы кернеудің ағымдағы кіру мәнінің теріс айырмашылығы кезінде VD диоды жабылады (бұл кезде оның кедергісі ең көп болады), және C конденсаторы үлкен кедергісі бар резисторда R баяу разрядталады.



3.21-сурет. Ашық кіруі бар амплитудалық детектор: а — сұлба; б — уақытша диаграмма

C конденсаторының заряд уақытының t_3 тұрақтылығы разряд уақытының t_p тұрақтысынан біршама аз болғандықтан:

$$(T_3 = \underline{C_{20}}) \ll (T_p = \underline{CR}),$$

онда конденсатордағы кернеу үздіксіз өседі, және кіру сигналының бірнеше кезеңінен кейін детектордың шығуында кернеу $u_{\text{вых}}(t)$ іс жүзінде кірмелік

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:

а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

кернеуінің $u(t)$ амплитудалық мәніне $U_{\max}$ тең болады.

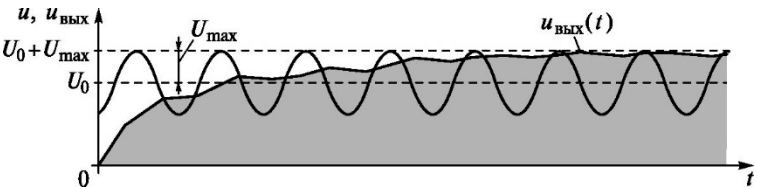
Көптеген нақты жағдайларда кезеңдік кіру сигналының түрінің маңызы болмайтынын айта кету керек.

Егер кірмелік кернеу $u(t)$ құрауыштардың айнымалы ($U_{\max}$ амплитудасымен) және тұрақтының U_0 қосындысын берсе (3.22-сурет), онда АДАК реакциясы ауыспалы үдеріс аяқталған кезде кірмелік кернеудің ең үлкен мәніне сәйкес келетін болады, яғни шығыс кернеуі $U_0 + + U_{\max}$ қосындысына тең, және бұдан шығатыны шығыс өлшеу құралының көрсеткіштері дәл осы қосындымен анықталатын болады.

Кезеңдік кіру сигналының құрауышының айнымалысының түрі бұл жағдайда да іс жүзінде мәні болмайды.

3.23-суретте көрсетілген жабық кірісті амплитудалық детектор (АДЖК) қарастырылған АДАК ұқсас тұрақты құрамдассыз айнымалы кіру сигналына жауап қайтарады.

Бұл нұсқада да артқы кірмелік қысқышта кернеудің оң жартытолқыны кезінде, нақтырақ айтқанда, кірмелік кернеудің конденсатордағы кернеуден $u_C(t)$ көбірек ағымдағы мәнінде $u(t)$ VD диоды ашылады, және C конденсаторы оның кішкене кедергісі арқылы тез зарядталады. Егер кірмелік кернеудің ағымдағы мәні $u(t)$ конденсатордағы кернеуден аз болса $u_C(t)$, онда VD диоды жабық, және C конденсаторы резистордың R үлкен кедергісі арқылы баяу разрядталады. C конденсаторы тез зарядталып, баяу разрядталатын болғандықтан, онда мұндағы кернеу $u_C(t)$ ақырын өседі (модуль бойынша) және кіру сигналының бірнеше кезеңінен кейін амплитудалық мәнге жетеді $-U_{\max}$ (3.24-сурет).



3.22-сурет. Айнымалы және тұрақты сигналдардың қосындысына АДАК реакциясы
Жабық кірісі бар амплитудалық детектор

	+ C 11		-		•Кф		
$u(t)$	15		$7VD \setminus [\text{Б}$		$\Pi \frac{1}{1}$	=	Ивых(0
o	+	*	1	M 0 °		Сф	

3.23-сурет. Жабық кірісі бар амплитудалық детектор

Резистордағы R кернеу $u_R(t)$ кірмелік кернеу $u(t)$ мен конденсатордағы кернеудің $u_C(t)$ айырмасын береді. Бұл кернеу орнатылған режимде пішіні бойынша кірмелік өлшенетінді қайталайды, бірақ амплитудалық мәнге

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы

жылжытылған $-U_{\max}$. Ары қарай тұрақты және айнымалы құрауыштың қосындысынан тұратын $-U_{\max}$, кернеу $u_R(t)$ төмен жиілікті сүзгіштерге келіп түседі (ТЖС), ол бұл сигналдың түрін тегістейді. Сүзгіштің шығыс кернеуі $u_s(t)$ оның кірмелік кернеуінің орта мәніне сәйкес келеді, яғни $-U_{\max}$. Осылайша, шығыс кернеу $u_{\text{ср}}(t)$ кіру сигналының бірнеше кезеңінен кейін іс жүзінде кірмелік өлшенетін кернеудің ең үлкен (амплитудалық) мәніне $U_{\max}$ тең болады.

Құрамында айнымалыдан ($U_{\max}$ амплитудасымен) басқа, тұрақты құрауышы U_0 бар кіру сигналы кезінде АДЖК АДАК қарағанда өзін басқаша жүргізеді. Бұл жағдайда бірнеше кезеңнен кейін C конденсаторы $U_{\max} + U_0$ қосындысына тең кернеуге дейін зарядталады, яғни C конденсаторы тұрақты құрамдасты өткізбейді, және сүзгіштің шығыс кернеуі $u_s(t)$ кіру сигналының айнымалы құрамдасының тек қана амплитудасымен $U_{\max}$ анықталатын болады.

Орта түзетілген мәнді детекторлар (ОТМ) біржарты периодты және екіжарты периодты детекторларға бөлінеді. ОТМ екі жарты периодты нұсқасын ең көп таралған ретінде қарастырайық (3.25, а-сурет).

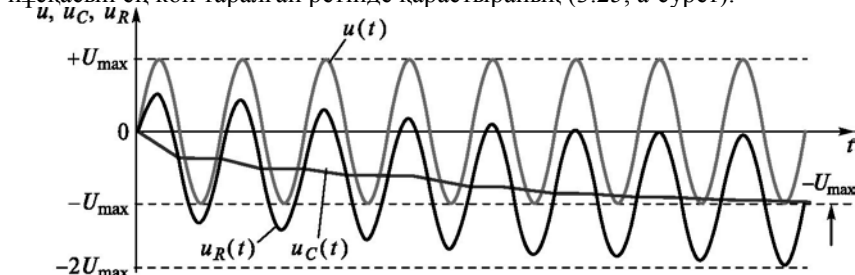


Рис. 3.24. Реакция амплитудного детектора с закрытым входом

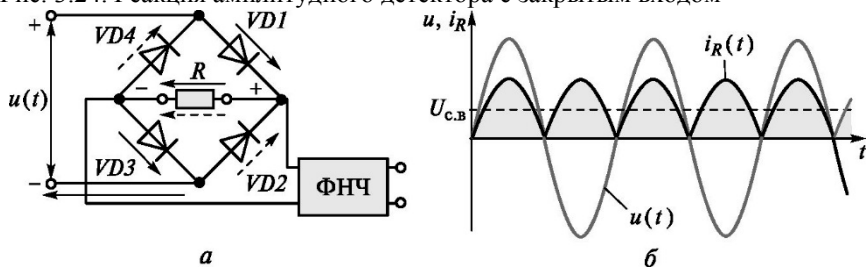


Рис. 3.25. Детектор среднего выпрямленного значения: а — схема; б — временная диаграмма

Детектордың сұлбасының негізінде көпірлік сұлбада жалғанған төрт бірдей жартылай өткізгішті диод ($VD1, VD2, VD3, VD4$) болады. Жоғарғы қысқышқа кірмелік кернеудің $u(t)$ оң жартытолқыны түскен кезде $VD1$ мен $VD3$ диодтары ашылады (басқа диодтар жабық) және R резисторы арқылы ток өтеді (оңнан солға). ТЖС кірмелік кедергісі өте үлкен және өзінің түзеткішінің жұмысына әсер етпейді деп ойлайық. Жоғарғы қысқыштағы

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:

а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

теріс жартытолқын кезінде $u(t)$ (яғни төменгі қысқыштағы оң жартытолқыны кезінде) тек қана $VD2$ мен $VD4$ диодтары ашылады және R резисторы арқылы сол бағытта қайтадан тоқ өтеді (оңнан солға). Осылайша тоқ резистор арқылы әрқашан бір бағытта өтеді (3.25, б-сурет). Бұл ток $i_R(t)$ резистордағы R кернеудің төмендеуін жасайды. Бұл бірполярлы (түзетілген) кернеу, оның орта мәні кірмелік кернеудің $u(t)$ орта түзетілген мәніне пропорционал, содан кейін ТЖС кіруіне түседі, оның көмегімен сигналды тегістеу орындалады. Нәтижесінде сүзгіштің шығысында кірмелік кернеудің $u(t)$ орта түзетілген мәніне $и_{с-в}$ пропорционал тұрақты кернеу пайда болады.

Орта квадраттық мәнді детекторлар. орта квадраттық мәнді детекторлар (ОКМ) — Root Mean Square (RMS) аппроксимациялаушы детекторлар (қажетті нәтижені тек жуықтап беретін құрылғылар) және ақиқатты ОКМ детекторлар деп бөлінеді (True RMS — TRMS).

ОКМ аппроксимациялаушы детекторының құрылғысын қарастырайық (3.26, а-сурет).

Сұлбаның негізгі элементтері біртүрлі резистивтік-диодты тізбектер жиынтығы ($R1 — VD1$, $R2 — VD2$, $R3 — VD3$, ..., $Rn — Vn$); резисторлармен $r1, r2, r3, ..., rn, r0$ және тұрақты белгілі кернеудің көзімен U_0 түзілген кернеу бөлгіші; сонымен қатар төмен жиілікті сүзгіш (ТЖС) болып табылады. Кернеу бөлгіші дәйекті өспелі тірек потенциалдар қатарын түзеді ($\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n$). Төмен жиілікті сүзгіш шығыс кернеуінің қисығын тегістеу үшін арналған.

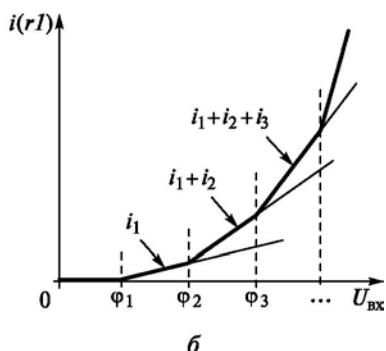
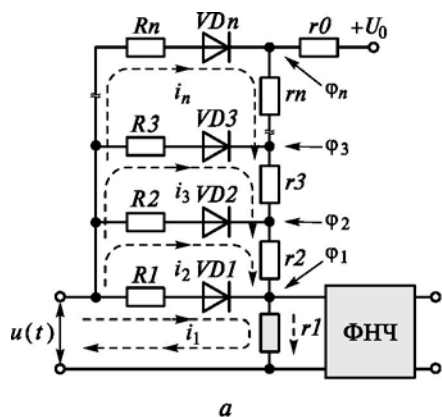
Детектор кіруіне ағымдағы мәні U_{BX} потенциал мәнінен ϕ_x (бірақ басқа қалған потенциалдар мәнінен аз) көп болатын кернеу $u(t)$ түскен кезде, $VD1$ диоды ашылады және $R1 — VD1 — r1$ тізбегі бойымен ток i_1 өтеді. Егер кірмелік кернеу өсетін болса, ағымдағы мәні $и_{вх}$ потенциалдан ϕ_2 асып түспегенше, ток та i_1 пропорционал өсетін болады. Бұл кезде ашылған диодпен $VD1$ қатар $VD2$ диоды да ашылады және $r1$ резисторы арқылы токтар қосындысы ($i_1 + i_2$) өтеді (3.26, б-сурет). Кірмелік кернеуді ары қарай өсірген сайын, басқа да резистивтік-диодты тізбектер дәйекті ашылатын болады және резистордағы $r1$ жалпы ток өседі. Осылайша, кірмелік кернеудің ағымдағы мәні $и_{вх}$ көп болған сайын, соншалықты резистивтік-диодтық тізбектердің көп саны ашылады, және резистордан $r1$ өтетін жалпы ток та көп болады. Резистивтік-диодтық тізбектердің параметрлері мен сандарын іріктеумен жалпы токтың кірмелік кернеудің $и_{вх}$ ағымдағы мәнінен тәуелділігінен (демек, детектордың шығыс кернеуінің тәуелділігі) қажетті квадраттың сипатына жетуге болады.

Ақиқатты ОКМ детекторлар қарастырылған аппроксимациялаушылардан айырмашылығы шын (нақты) орта квадраттық (эрекеттік) мәнге ғана эрекет етеді, ол кірмелік кернеудің қисығының пішініне байланысты емес. 3.27,а-суретте ақиқатты ОКМ қарапайым детекторы келтірілген, оның негізінде термоэлектрлік түрлендіргіш болады.

Кірмелік өлшенетін кернеу $u(t)$ айнымалы кернеудің күшейткішінің көмегімен $U_{с-в}$ күшейеді және термоэлектрлік түрлендіргішке түседі (ТТ),

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

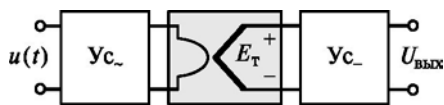
a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы



3.26-сурет. Орта квадраттық мәнді аппроксимациялаушы детектор (а) және оның түрлену сипаттамасы (б)

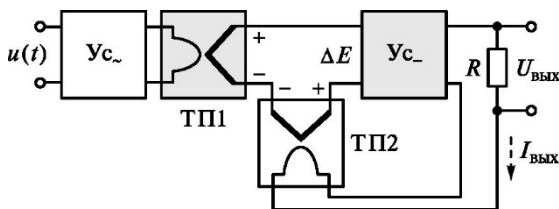
3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

ТП



а

Н Т



б

3.27-сурет. Термоэлектрлік детектордың құрылысының нұсқалары (а мен б)

құрамында екі бөлік болады: қыздырғыш (Қ) пен терможұп (Т). Қ арқылы өтетін айнаымалы ток оны кірмелік өлшенетін кернеудің $u(t)$ әсерлік мәнінің квадратына пропорционал температураға дейін қыздырады. Қыздырғыштан тікелей жақындықта терможұптың жұмыстың дәнекерлеуі орналасқан, сондықтан оның термоЭҚК мәні E_m қыздырғыш температурасымен анықталады, осыдан өлшенетін кернеудің $u(t)$ әсерлік мәніне пропорционал болады. Тұрақты кернеу күшейткіші $Ус_$ терможұптың аз деңгейлі шығу сигналын күшейтеді. Осылайша, кіру сигналының түрінен тәуелсіз мұндай детектордың шығыс тұрақты кернеуі дәл нақты әсерлі мәніне пропорционал болады.

Осындай ОКМ детектор құрылғысының нұсқасының бірін қарастырайық (3.27, б-сурет). Қарастырылған құрылымдағыдай түрлендірудің түзу арнасы күшейткішпен $Ус_$ және термотүрлендіргішпен ТП1 түзіледі. ОКМ кірмелік кернеу көп болған сайын, соншалықта терможұптың ТП1 термоЭҚК және тұрақты кернеу күшейткішінің $Ус_$ шығу тоғы $I_{ВЫХ}$ да көп болады. Бұл токпен екінші термотүрлендіргіштің ТП2 қыздырғышы терможұптың ТП1 термоЭҚК тең ТП2 терможұптың термоЭҚК түзетін температураға дейін қыздырылады. Екі ТЖ терможұптары қарсы қосылған. Сондықтан кірмелік кернеудің $u(t)$ ОКМ кез келген өзгерісі кезінде сәйкесінше шығу тоғы $I_{ВЫХ}$ да, осыдан ТЖ2 термоЭҚК де өзгереді.

Осылайша, күшейткіштің $Ус_$ кіруінде екі термоЭҚК AE ең аз айырмашылығына автоматты түрде қолдау көрсетіледі: ТЖ2 пен ТЖ2. Осындай теріс кері байланыстың арқасында түрлендірудің сызықтығы мен нақтылығы едәуір көтеріледі. Шығу тоғы $I_{ВЫХ}$, көмекші резистор арқылы өтіп R өлшенетін кірмелік кернеудің $u(t)$ нақты (ақиқат) ОКМ пропорционал детектордың шығыс кернеуін $I_{ВЫХ}$ түзеді.

Термоэлектрлік детекторлары бар электрондық вольтметрлердің негізгі

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:

a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы

артықшылықтары түрлендірудің жоғары дәлдігі (0,1 % дейін); жиіліктердің кең диапазоны (10 МГц дейін); кернеудің нақты ОКМ өлшеу болып табылады. Мұндай вольтметрлердің жалғыз кемшілігі – салыстырмалы жоғары емес тезәрекеттігі дерлік, яғни кіру сигналының ОКМ тез өзгеруі бірден ЖЖ жылулық инерциялық күшіне қабылданбайды.

3.3.3. Электрондық өлшеу аспаптарының ерекшеліктері

Электрондық вольтметрлердің электр механиктермен салыстырғандағы негізгі құндылығы келесілер:

- Зерттелетін тізбектің ең аз тұтыну қуаты (сигнал көзі), ол аспаптардың үлкен кірмелік кедергісімен қамтамасыз етілген ($10^5...10^7$ Ом);
- Күшейткіштер мен бөлгіштерді қолдану арқасында зерттелетін кернеулердің кең диапазоны (10 мкВ-дан 1000 В дейін);
- Жоғары сезімталдық (0,1...1,0 мкВ);
- Кіру кезеңдік сигналдардың жиілігінің кең диапазоны (кейбір типтерде — 500 МГц дейін);
- Аса кең функционалдық мүмкіндіктер, бірнеше түрлі параметрлерді бір аспаппен өлшеу мүмкіндігі (мысалы, тұрақты және айнымалы кернеу, тұрақты токқа кедергі, кешенді кедергінің параметрлері).

Бұл аспаптардың кемшіліктеріне келесілер жатады:

- Термоэлектрлік вольтметрлерді қоспағанда, салыстырмалы үлкен аспап қателігі (1,5.4%);
- Құрылғының күрделілігі, және нәтиже ретінде салыстырмалы жоғары емес сенімділік пен жоғары бағасы;
- Қосымша қоректендіру көзін талап ету (немесе сыртқы — электр желісі, немесе ішкі — батарея);
- Салыстырмалы үлкен габариттері мен массасы.

3.4. СИГНАЛ ТҮРЛЕРІНІҢ АСПАП КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Мерзімдік сигналдармен жұмыс кезінде құрылғының артықшылықтары мен сол немесе басқа типті өлшеу аспабының градуирлеуін білген маңызды. Әдеттегідей, аспаптар орта квадраттық (әрекеттегі) мәндерде сигналдың синусоидалық (немесе – іс жүзінде синусоидалдық) түрінің жеке жағдайы үшін (алайда таралған болғанымен) градуирленеді.

Мұндай градуирлеу дәл әрекеттік мән электротехника мен электрэнергетикадағы көптеген өлшеу эксперименттері үшін ең маңыздысы болып табылатындығымен түсіндіріледі. Синусоидалық кернеудің бір көзіне параллель қосылған түрлі жүйелер аспаптары нақты әрекеттік мәнге барынша жақын ұқсас көрсеткіштер берер еді (әрине олардың аспаптық қателіктерін ескерумен). Алайда елеулі синусоидалық емес сигналдары бар нақты эксперименттер үшін нақты аспапты таңдауда өте мұқият болу керек, себебі едәуір қателер болуы мүмкін, өйткені аспаптардық барлық типтері

3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:

a — кіріс сигнал; *б* — аспаптарды қосу сигналы

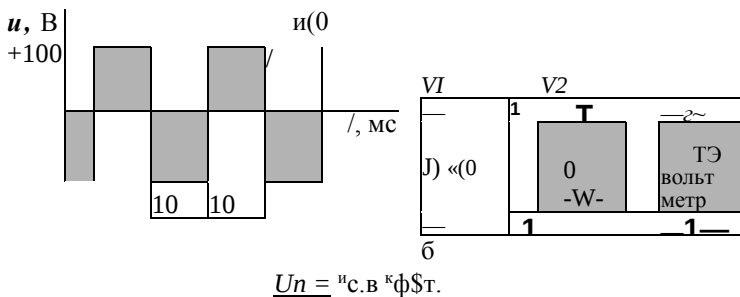
дәл әрекеттік мәнге әсер етпейді.

Айнымалы кернеудің түрлі аналогтық вольтметрлердің мысалында аспаптардың градуирлеуі мен реакциясының өзгешеліктері сұрақтарын қарастырайық. Алайда, барлық келесі пікірлер сәйкес жүйелердің электрмеханикалық амперметрлері үшін де әділ болады.

3.4.1. Тұрақты құрамдасы жоқ сигнал

Амплитудасы ± 100 В, жиілігі 50 Гц және қуыстылығы 2 (3.28, а-сурет) тікбұрышты кернеу $u(t)$ көзіне екі вольтметр параллель жалғанған деп ойлайық: V1 — электрмеханикалық түзеткіш вольтметр және V2 — термоэлектрлік детекторы бар электрондық вольтметр (ТЭ вольтметр).

Нәтижелердің қателігінің барлық құрауыштарымен ескермей, аспаптардың көрсеткіштерін табайық. Кірмелік кернеудің $U_{с.в}$ орта түзетілген мәніне әрекет ететін бірінші (түзеткіш) вольтметр V1 синусоидалық сигнал жағдайы үшін әрекеттік мәндерге градуирленген, яғни оның көрсеткіштері U_{V1} оның реакциясымен синусоида түрінің коэффициентімен байланысқан ($\hat{u}_{\sin} = 1,11$):



0

3.29-сурет. Аспаптардың көрсеткіші мен реакциясы:
 a — кіру сигналы; b — аспаптарды қосу сұлбасы

Берілген экспериментте VI вольтметрі, $U_{C.B} = 100$ В әрекет етіп, $U_{V1} = 100 - 1,11 = 111$ В көрсетеді, ол өлшенетін кернеудің нақты әрекеттік мәніне сәйкес келмейді.

Екінші V2 вольтметрі (электрондық термоэлектрлік) нақты ОКМ кернеуге әрекет етеді және әрине ОКМ де градуирленген. Сондықтан оның көрсеткіші U_{V2} — кіру сигналының дұрыс әрекеттік мәні, ол берілген жағдайда 100 В тең.

Кернеудің бір көзіне қосылған екі жарамды аспаптардың көрсеткіштерінің арасындағы айырмашылық барынша үлкен және 10 % аса құрайтынын айта кетейік. Себебі — кірмелік кернеудің $u(t)$ қатты бейсинусоидтығы.

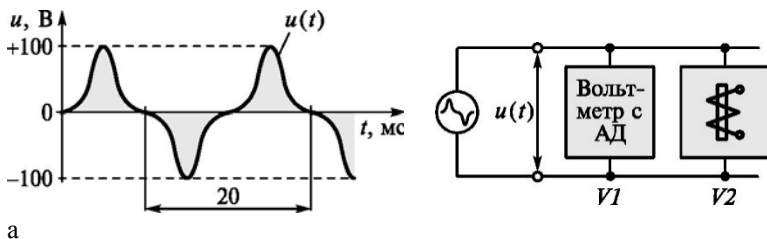
Тағы бір мысал қарастырайық. Екі вольтметр: VI — амплитудалық детекторы (АД) бар электрондық вольтметр мен V2 — электрмагнит жүйесінің электрмеханикалық вольтметрі бейсинусоидтық кернеудің $u(t)$ көзіне параллель қосылған (3.29, а-сурет). Өлшенетін кернеу амплитудасы $U_{max} = \pm 100$ В, жиілігі — 50 Гц, амплитуда коэффициенті $k_a = 2$.

Барлық қателіктерді ескермей, аспаптардың көрсеткіштерін тауып көрейік (3.29, б-сурет). Бірінші вольтметр VI кірмелік кернеудің амплитудалық мәніне U_{max} әрекет етеді, синусодалық сигнал жағдайы үшін әрекеттік мәндерде градуирленеді, яғни оның көрсеткіштері U_{V1} оның реакциясымен синусоид амплитудасының k_a коэффициентімен байланысқан ($k_{a!ap} = 1,41$):

$$U_{V1} = U_{max} / \sqrt{2}.$$

Бұл экспериментте V1 вольтметрі, $U_{max} = 100$ В амплитудасына әрекет етіп, $U_{V1} = 100 : 1,41 \sim 71$ В көрсетеді, ол өлшенетін кернеудің нақты әрекеттік мәніне тең емес. Берілген сигналда нақы әрекеттік (орта квадрат) мән $U_{C.K.}$:

$$U_{C.K.} = U_{max} / k = 100 : 2 = 50 \text{ В}.$$



3.29.сурет Реакция және аспаптарды көрсету:
 а — кіріс сигнал; б — аспаптарды қосу сигналы

Екінші вольтметр V_2 (электрмагниттік жүйенің) өлшенетін кернеудің дәл әрекеттік мәніне әрекет етеді және ОКМ градуирленген. Сондықтан ол кіру сигналының дұрыс әрекеттік мәнін көрсетеді, ол берілген сигналда $U_{V2} = u_{сж} = 50$ В тең.

Бұл жағдайда да кіруінде бір сигнал болатын екі аспаптардың көрсеткіштеріндегі сонша үлкен айырмашылық (бір жарым есе дерлік!) – зерттелетін сигналдың барынша бейсинусоидалдығының және олардың әрекет ету қағидатындағы айырмашылықтардың салдары.

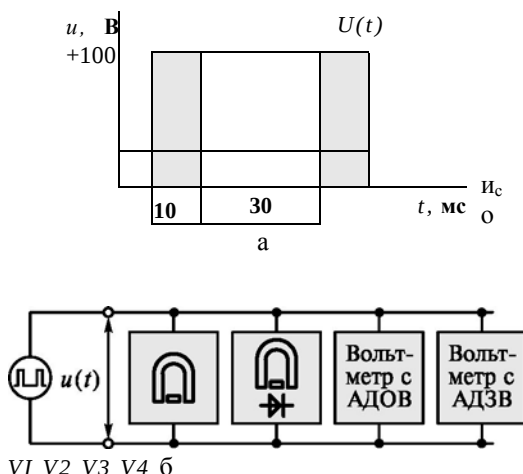
3.4.2. Сигнал — айнымалы және тұрақты құрамдастарының қосындысы

Сигналдың аса күрделілірек жағдайын талдайық – амплитудасы $U_{max} = +100$ В, импульс ұзақтығы 10 мс, үзіліс ұзақтығы 30 мс тікбұрышты пішінді бірполярлық кезеңдік сигнал (3.30, а-сурет).

Осындай кернеу көзіне бір уақытта түрлі жүйенің төрт вольтметрі қосылған деп ойлайық (3.30, б-сурет): V_1 — магниттэлектрлік; V_2 — түзеткіш; V_3 — ашық кіруі бар амплитудалық детекторлы электрондық вольтметр (АДАК); V_4 — жабық кіруі бар амплитудалық детекторлы электрондық вольтметр (АДЖК).

Келесілерді табу керек деп болжайық (барлық қателіктерді ескермей):

- барлық вольтметрлердің көрсеткіштері;



3.30-сурет. Түрлі аспаптардың реакциясы мен көрсеткіштері:
а — кіру сигналы; б — аспаптарды қосу сұлбасы

- Кіру сигналының орта мәні U_c ;
- Сигналдың орташа түзетілген мәні $U_{c.B}$;
- Орта квадрат (әрекеттік) мәні $U_{c.K}$;
- Сигналдың амплитуда коэффициенті k_a ;
- Сигнал түрінің коэффициенті k_f .

V1 вольтметрі (магниттіэлектрлік) орта мәнге әрекет етеді, және мұндай жиілікті айнымалы сигналдарымен жұмыс жасау үшін арналмаған болғандықтан, орта мәнді көрсетеді. Жалпы жағдайда орта мән u_c кезеңдегі сигнал функциясының интегралы болып табылады. Мұндай пішінді берілген сигнал үшін u_c мәні импульс ауданының кезеңге қатынасымен анықталады және мынадай түрлі болады

$$u_c = (100 \div 10): 40 = 25 \text{ В.}$$

Берілген жағдайда орташа түзетілген мән $u_{св}$ орташа мәнімен U_c сәйкес келеді, себебі сигнал бірполярлы:

$$u_{св} = u_c = 25 \text{ В.}$$

Орташа квадраттық (әрекеттік) мән $u_{ск}$ белгілі жалпы өрнекке сәйкес есептелуі мүмкін (2.1.1-тарауын қараңыз):

$$u_{ск} = 50 \text{ В.}$$

Кіру сигналының амплитудалық мәні белгілі және $U_{max} = 100 \text{ В}$ тең болғандықтан, онда енді амплитуда коэффициентінің мәнін k_a және берілген сигнал түрін k_f таба аламыз:

$$k_a = U_{max}/u_c = 100 : 25 = 4;$$

$$k_f = u_{ск}/u_c = 50:25 = 2.$$

Енді қосылған аспаптар ($V1, V2, V3, V4$)неге әрекет етеді және қандай мәндерде градуирленгендерін еске түсіріп, олардың көрсеткіштерін табу және жазу оңай: $U_{V1} = 25 \text{ В}$; $U_{V2} = 25,11 \sim 27,8 \text{ В}$; $U_{V3} = 100:1,41 = 71 \text{ В}$; $U_{V4} = (100 - 25):1,41 = 53,2 \text{ В}$.

Шынайы эксперименттерде (сигнал түрі әдетте белгісіз) жарамды аспаптардың көрсеткіштеріндегі мұндай айырмашылық өлшенетін сигналдың елеулі бейсинусоидалдығы туралы куәлік беретінін айта кетейік.

Енді кері есепті қарастырайық. Кезеңдік бейсинусоидалдық кернеудің бір көзіне параллель қосылған түрлі әрекет ету қағидатты төрт вольтметрдің ($V1; V2; V3; V4$) көрсеткіштері бізге белгілі деп ойлайық. Бірінші вольтметр $V1$ — магниттіэлектрлік — $U_{V1} = 20 \text{ В}$ көрсетті; екінші $V2$ — АДАК электрондық — $U_{V2} = 21,3 \text{ В}$ көрсетті; үшінші $V3$ — АДЖК электрондық — $U_{V3} = 7,1 \text{ В}$; төртінші $V4$ — термоэлектрлік детекторы бар электрондық — $U_{V4} = 22,4 \text{ В}$ көрсетті. Аспаптар көрсеткіші едәуір ерекшеленетіндігіне қарағанда, өлшенетін сигнал — бейсинусоидалдық, және уақыт осіне қатысты симметриялық емес болуы мүмкін, яғни нөлдік емес тұрақты құрамдасы болады.

Барлық қателіктерді ескермей, кіру сигналының амплитудалық U_{max} , орташа u_c және әрекеттік $u_{ск}$ мәндерін, сонымен қатар оның құрамдасының

$U_{\max}$ тек қана айнымалысының амплитудасын табу керек. Бірінші аспап V1 (МЭ вольтметр) кернеудің орташа мәніне әрекет етеді және оның сол орташа мәнін көрсетеді $u_c = 20$ В. Бұл кіру сигналында тұрақты құрамдастың болуын білдіреді $U_0 = 20$ В. Жалпы амплитудалық мәнді $U_{\max}$ АДАК бар электрондық вольтметрдің V2 көрсеткіштері бойынша U_{V2} анықтауға болады:

$$U_{\max} = U_{V2} \cdot k_{\sin} = 21,3 \cdot 1,41 \approx 30 \text{ В.}$$

Кіру сигналының нақты $i_{c.k}$ (әрекеттік) мәнін термоэлектрлік детекторы бар вольтметр береді:

$$i_{ck} = U_{V4} = 22,4 \text{ В.}$$

АДЖК бар вольтметрдің V3 көрсеткіштері U_{V3} тек қана айнымалы құрамдастың амплитудасын $U_{\max}$ табуға мүмкіндік береді (себебі мұндай аспап кіру сигналының тұрақты құрамдасын ескермейді):

$$U_{\max} \sim U_{V3} k_{\sin} = 7,1 \cdot 1,41 \approx 10 \text{ В.}$$

Егер сигнал құрамында тұрақты да, айнымалы да құрамдасы болса, олардың бөлек әрекеттік мәндерін біле отырып, олардың геометриялық қосындысы ретінде жалпы әрекеттік мәнін табуға болады.

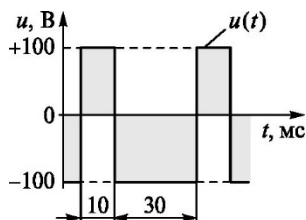
Бақылау сұрақтары:

1. Тізбектегі токта тұрақты (100...200 мА) және айнымалы құрамдасы бар (шамамен 100 Гц жиілікті және амплитудасы шамамен 150 мА). Тек қана тұрақты құрамдасының мәнін өлшеу үшін қай жүйенің миллиамперметрін таңдау керек?

2. Магниттiэлектрлiк вольтметрдiң iшкi кедергiсi $R_v = 10$ кОм, өлшеу диапазоны $U = 10$ В. Өлшеу диапазонын $U = 100$ В дейiн кеңейтуге қажеттi қосымша резистордың R_n кедергiсiнiң мәнін табыңыз.

3. магниттiэлектрлiк амперметрдiң тоғын өлшеу диапазоны $I_n = 100$ мА, iшкi кедергiсi R_A 10 Ом тең. Токтың өлшеу диапазонын $I = 1$ А дейiн кеңейтуге қажеттi шунт кедергiсiнiң R_w мәнін табыңыз.

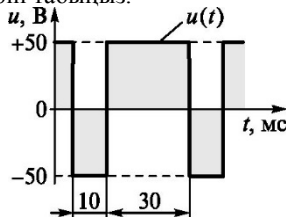
4. Суретте көрсетiлген сигналдың орташа U_c , орташа түзетiлген $U_{c.г}$ және орташа квадрат $U_{c.к}$ мәндерiн табыңыз.



5. Жиілігі шамамен 1 МГц және 1000 В жуық амплитудалы кезеңдік бейсинусоидалдық кернеудің көзі бар. Бұл кернеудің орташа квадрат (әрекеттік) мәнін анықтау үшін қай жүйенің электромеханикалық вольтметрін таңдайсыз?

6. Термо электрлік жүйенің аспаптарының негізгі артықшылықтары неде? Бұл жүйенің аспаптарының негізгі кемшілігі қандай?

7. Суретте көрсетілген сигналдың түрін k_{Δ} және амплитуда коэффициентінің k_3 мәндерін табыңыз.



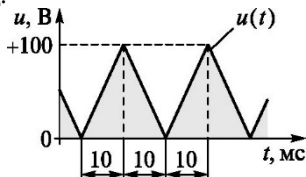
8. Амплитудалық мәні 100 В және амплитуда коэффициенті $k_3 = 2$ тең бейсинусоидалдық сигнал электр динамикалық жүйенің вольтметріне берілді. Барлық қателіктерді ескермей, аспаптың көрсеткіштерін табыңыз.

9. Үш вольтметр кезеңдік кернеу көзіне параллель қосылған. Келесі көрсеткіштер алынды: АДАК электрондық вольтметр $U_{V1} = 90$ В; электрмагниттік $U_{V2} = 50$ В; магнитті электрлік $U_{V3} = 0$. Кіру сигналының амплитудалық, орташа, орташа квадрат мәндерін, сонымен қатар оның амплитуда коэффициентін табыңыз.

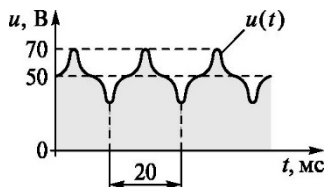
10. Кезеңдік кернеудің амплитуда коэффициенті $k_3 = 2$, орташа квадрат мәні $U_{\text{с-к}} = 40$ В, орташа мәні $U = 0$ В. АДЖК бар электрондық вольтметрді осындай сигналдың көзіне қоссақ, не көрсетеді?

11. Электрмагнитті вольтметрдің көрсеткіштері кезеңдік кернеудің қандай мәндеріне пропорционал? Осы аспапқа арналған айналу моментінің өрнектерін жазыңыз.

12. Вольтметрлердің көрсеткіштерін анықтаңыз: түрі суретте көрсетілген сигналдың көзіне қосылған магниттіэлектрлік; түзеткіш; АДАК электрондық және АДЖК электрондық.



13. Тұрақты кернеуді $U = 1500 \dots 2000$ В (электрондық-сәулелі түтік анодының потенциалы) өлшеу үшін қай жүйенің электрмеханикалық вольтметрін таңдау керек? Кернеу көзінің шығыс кедергісі 100 . 200 кОм. Аспаптың негізгі келтірілген қателігі 1,0,1,5 % аспау керек.



14. Вольтметрлердің көрсеткіштерін анықтаңыз: түрі суретте көрсетілген сигналдың көзіне қосылған магниттіэлектрлік; түзеткіш; АДАК электрондық және АДЖК электрондық.

15. Электроэнергетикалық объекті жабдықтау үшін көптеген біртекті электромеханикалық вольтметрлер қажет. Өлшем шарттары: өлшенетін әрекеттік мәндердің диапазоны 150...250 В; келтірілген қателік шегі 1,5...2,0%; өлшенетін кернеудің нақты жиілігі 50 Гц; аспаптар артық жүктелуге төзімді (100 % дейін) және салыстырмалы төмен бағалы болу керек. Осы талаптарға жауап беретін вольтметр жүйесін таңдаңыз.

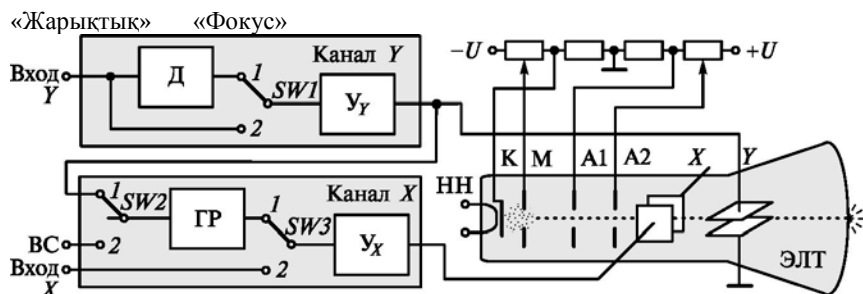
ЭЛЕКТРОНДЫ-СӘУЛЕЛІК ОСЦИЛЛОГРАФ

4.1. ЭЛЕКТРОНДЫ-СӘУЛЕЛІК ОСЦИЛЛОГРАФ ҚҰРЫЛҒЫСЫ

Осциллографтар классы бүгінгі күні екі қатты ерекшеленетін топқа бөліне алады: аналогтық (электронды-сәулелік және жарықсәулелік) және цифрлік. Бұл топтардың әрқайсысының өзінің функционалдық мүмкіндіктері, құндылықтары мен кемшіліктері, метрологиялық және пайдалану сипаттамалары, өзінің облыстары мен қолданылу ерекшеліктері бар.

Электронды-сәулелік осциллограф (ЭСО) кең міндетті аяқталған аспабы ретінде XX ғасырдың 30-жылдарында қолданыла бастады (алайда электронды-сәулелік түтік XX ғасырдың соңында пайда болды). Бүгінгі күнге дейін ЭСО уақытша облыстағы түрлі динамикалық үдерістерді зерттеудің негізгі құралдарының бірі болып табылады. Классикалық ЭСО – бұл электрондық аналогтық өлшеу аспабы, ол әдеттегідей нақты уақыттағы кезеңдік үдерістерді зерттеу үшін қолданылады.

ЭСО құрылымымен оңтайланғандырған түрде үш негізгі бөліктермен көрсетуге болады (4.1-сурет): сәуленің тік ауытқу арнасы (Y арнасы), көлденең ауытқу арнасы (X арнасы) және электронды-сәулелік түтік (ЭСТ). Арналардың мұндай атауы (Y пен X) түрлі функциялардың классикалық екікоординаталық ұсынысына жауап береді (вертикал өс — Y ордината өсі, горизонтал өс — X абсцисса өсі).



4.1-сурет. Электронды-сәулелік осциллографтың оңтайланғандырған құрылымы

Ү пен Х арналарының міндеті — электронды-сәулелік түтікте электрондар ағынымен басқару үшін қажетті деңгейге дейін кіру зерттелетін және/немесе көмекші кернеулерді түрлендіру. Бұл түтіктің міндеті – екі немесе бірнеше сигналдардың өзара әрекеттесу нәтижесін көрсететін кескіннің немесе зерттелетін сигналдың кескінін қалыптастыру.

Осы бөліктердің әрқайсысының жұмысы мен құрылысын толығырақ қарастырайық.

4.1.1. Тік және көлденең ауытқу арналары

ЭСО қарастырылатын құрылымын барынша жеңілдетіп (4.1-суретті қараңыз), құрамында тек қана кернеу бөлгіші (Б), күшейткіш (Y_v) және ауыстырып-қосқыш SW1 болатын тік ауытқу арнасын (Y арнасы) елестетейік. Д бөлгіші үлкен деңгейлі кіру зерттелетін сигналдарды азайту үшін арналған, бұл кезде SW1 ауыстырып-қосқышы 1 жағдайда болады. Y_v күшейткіші кіші кіру сигналдарын күшейту үшін қызмет етеді, бұл кезде ауыстырып-қосқышы 2 жағдайда болады. Күшейткіштің шығу сигналы ЭСТ Y тілімшесіне, сонымен қатар X арнасының кіруіне түседі. Y арнасының барлық элементтері өткізу жиілігінің кең жолағына ие (ЭСО әдеттегі модельдерінде жолақтың жоғарғы шегі бірліктерді – ондық мегагерц құрайды).

Көлденең ауытқу арнасын (X арнасы) оңтайланғандырған түрде былай көрсетуге болады: жайма генераторы (ЖГ), күшейткіш (U_X), екі ауыстырып-қосқыш SW2 мен SW3. Сыртқы синхрондау кіруі (BC) сыртқы көмекші сигналмен жайма генераторын іске қосу үшін арналған. Жайма генераторы сызықтық өзгертін (ара тәрізді) кернеуді қалыптастырады, ол U_X арқылы көлденең ауытқу тілімдеріне – X ЭСТ тілімдеріне түседі. Бұл кернеу түзу жүрістің уақыт аралығының бойы зерттелетін сигналды тұрақты жылдамдықпен горизонтал өс бойымен (яғни X өсі) «жайылады». Осылайша ағымдағы уақытта жайма ұқсастығы түзіледі. U_X күшейткіші сәулені қалыпты ауытқу үшін қажетті деңгейге дейін кіру сигналын күшейту үшін арналған. SW2 ауыстырып-қосқышының 1 жағдайында ЖГ кіруіне Y арнасының шығуынан сигнал келіп түседі. Осылайша зерттелетін сигналмен жайма генераторының ішкі іске қосылу режимі қамтамасыз етіледі. SW2 ауыстырып-қосқыштың 2 жағдайында ЖГ кіруіне сыртқы көзден синхрондау сигналы келіп түседі.

SW3 ауыстырып-қосқышының көмегімен жайма режимі таңдалады: 1 жағдай – сызықтық жайма режимі ($Y—t$); 2 жағдай — $Y—X$ режимі (оның ішінде айнала жаймалау).

Әрине ЭСО нақты құрылымы мен ЭСТ құрылғысы қарастырылғандардан әлдеқайда күрделірек.

4.1.2. Электронно-лучевая трубка

Конструктивті электронды-сәулелік түтік (ЭСТ) – ЭСО негізгі элементі – ішіне металл электродтар кіріктірілген терең вакуумы бар шыны баллонды береді (4.2-сурет). ЭСТ экранының ішкі беті люминоформен жабылған – электрондар ағынының соғысу жерінде жылтылдайтын зат.

Катодтың (К) цилиндрінің ішінде болатын қыздыру талшығы (КТ) оны қыздырады. Қыздырылған катодтың бетінен электрондар ұшып шығады, олар анодтардың А1 мен А2 жоғары оң потенциалдарына ұмтылып, модулятор («тор») арқылы өтеді. Модулятордың (М) катодтарға қатысты теріс потенциалы болады, оны өзгертіп (4.1-суретті қараңыз) ол арқылы өтетін электрондар санын өзгертуге болады, және осылайша ЭСТ экранындағы кескіннің жарықтығын реттеуге болады. А1 мен А2 анодтары өзіндік электрондық линзасын түзіп, оның арқасында электрондар ағынының жинастыруы жүзеге асырылады (демек кескіннің). Бұдан басқа, анодтар соғысу жерінде экранның люминофорының қалыпты жалтырауы үшін жеткілікті электрондар қозғалысының елеулі жылдамдығын қамтамасыз етеді.

Қарастырылған электродтар (НН, К, М, А1 и А2) электрондық деп аталатын зеңбіректі түзеді, оның міндеті – электрондардың (сәуле) үлкен жылдамдығымен ұшатын еңсіз шоктың қалыптасуы. Ары қарай электрондар ағыны өзара перпендикуляр орналасқан оның тілімдерін (Х пен Y) ауытқытатын екі жұп арасында ұшып өтеді.

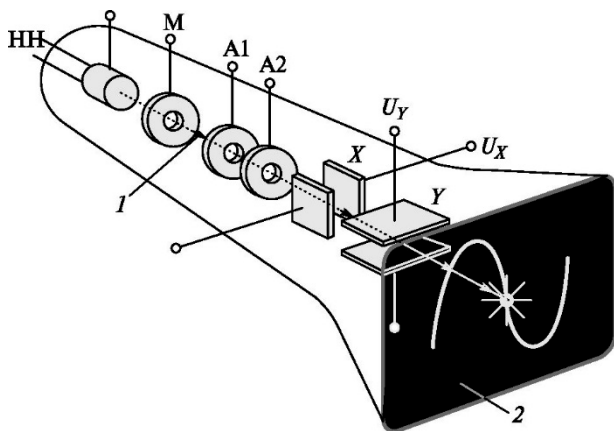


Рис. 4.2. Устройство ЭЛТ:

НН — нить накала; К — катод; М — модулятор; А1, А2 — аноды; X, Y — пластины; 1 — поток электронов; 2 — экран

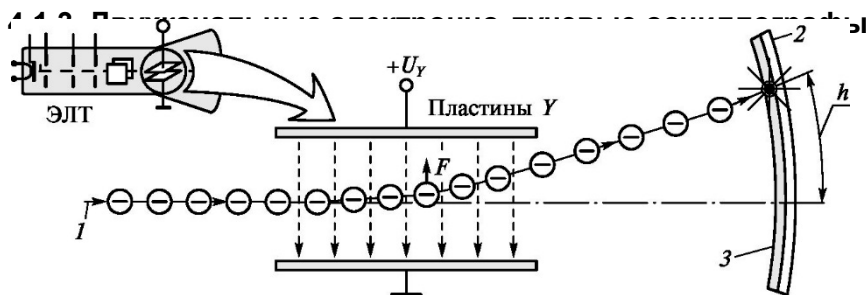


Рис. 4.3. Отклонение потока электронов в поле пластин: 1 — поток электронов; 2 — экран; 3 — люминофор

Тілімдерге X пен Y қосылған кернеулер сәулені ауытқытады, және нәтижесі ретінде, экрандағы жарқырайтын дақтардың жағдайын анықтайды. Тілімдердің электр өрісіндегі электрондар ағынының ауытқуы (тілімдердің бір жұбының әрекет ету мысалында – Y тілімі) 4.3-сурет көрсетеді. Егер Y тілімдеріне кейбір тұрақты кернеу $\underline{U}_Y$ қойылған болса, онда тілімдер арасында электр өрісі пайда болады, олардың кернеулігі E кернеуге $\underline{U}_Y$ тура пропорционал және тілімдер арасындағы қашықтыққа кері пропорционал.

Тілімдердің электр өрісінде ұшатын электрондар ағыны F күшінің әрекетіне тап болады. Бұл күштің мәні электр өрісінің кернеулігіне E пропорционал. Осылайша, электрондар ағынының ауытқуы, демек экрандағы жарқырайтын дақтардың тік ауытқуы h тілімдердегі кернеумен $\underline{U}_Y$ анықталады. Егер тілімдердегі кернеу $\underline{U}_Y$ өзгерсе, онда экрандағы дақтар ауытқуы h да пропорционал өзгереді.

Тілімдердің басқа жұбының әрекеті – X тілімі – қарастырылғанға ұқсас электрондар ағыны, алайда кернеуді $\underline{U}_X$ берген кезде электрондар ағынының ауытқуы көлденең жазықтықта өтеді, демек экранда да көлденең бағытта, яғни X өсінің бойымен өтеді.

ЭСТ өзінің сезгіштігі төмен, сондықтан қалыпты деңгейлі сигналдармен жұмыс жасау үшін (вольт үлесі – вольт бірлігі) зерттелетін сигналдардың алдын ала күшеюі қажет. Бұдан басқа, жұмыстың түрлі режимдерін ұйымдастыру үшін, олардың амплитудасы мен жиіліктерінің өзгеруінің жеткілікті кең диапазонында сигналдады өлшеу мүмкіндіктеріне қосымша түйіндер қажет. Осы мүмкіндіктерді қамтамасыз ету үшін Y пен X арналарының элементтері арналған.

Бүгінде екіарналы (екісәулелі) осциллографтар кеңінен таралған, олардың мүмкіндіктері кең, себебі біруақытта екі түрлі ағып өтетін үдерістерді зерттеуге мүмкіндік береді. Мұндай аспаптарда екі бөлек кіру болады Y , оларда әдеттегі бір арналы ЭСО үшін қарастырылғандарға ұқсас тік ауытқудың Y екі өзіндік арнасы болады. Электронды-сәулелік түтік – екі арна үшін де ортақ және электрондардың екі ағынын қалыптастыратын екі бөлек электрондық зеңбіректерден тұрады. Бұл ағындардың әрқайсысы тілімдердің Y пен X өз жұбымен басқарылады. Осылайша, бір экранда екі түрлі сигналдың кескіндері бір уақытта қалыптасады.

Әдеттегідей, екі кіру сигналының уақыт бойынша жаймасы ортақ болғандықтан, онда мысалы өтіп жатқан үдерістердің синхрондығын талдау, сигналдар арасындағы фазалық ығысу немесе кідірістерді бағалау мүмкіндіктері пайда болады. Мұндай екі арналы ЭСО релелі сұлбаларды, цифрлық сұлба техникаларының түйіндерін жөндеу, жөнделу, зерттеу кезінде ерекше ыңғайлы (мысалы, сақтау құрылғылардың, микропроцессорлы бақылаушылардың, компьютерлер блоктарының элементтері және т.с.с).

Арналардың параметрлері мен метрологиялық сипаттамалары әдетте ұқсас. Тігінен ауытқу коэффициенттерінің мәндері әр арна бойынша жеке өзгере алады, ал көлденең бойынша ауытқу коэффициенті (жайма коэффициенті) ортақ және бір уақытта екі кіру сигналдары үшін өзгереді.

4.2. ЭЛЕКТРОНДЫ-СӘУЛЕЛІК ТҮТІК ЭКРАНЫНДА КЕСКІНДЕРДІҢ ҚАЛЫПТАСУЫ

Егер Y тіліміне де, X тіліміне де уақыт бойынша өзгертін сигналдар келіп түссе, онда экрандағы жарқырайтын дақтың қозғалыс траекториясы бұл сигналдардың әрекет сипатымен анықталады.

Егер тілімдердегі кернеулер барынша тез өзгертін болса (20... 30 Гц аса жиілікті), онда экрандағы дақ траекториясы тұтас сызықпен көрсетіледі. Кішкене жылдамдық кезінде (1 Гц төмен жиіліктер) ЭСТ экранымен орын ауыстыратын жалтырайтын нүктені экранда бақылауға болады.

ЭСО кескіннің қалыптасуының түрлі әдістері (режимдері) қолданылады.

4.2.1. Сызықтық жайма режимі ($Y—t$ режимі)

Сызықтық жайма режимі сонымен қатар $Y—t$ режимі деп те аталады, себебі кіру сигналы Y ағымдағы уақытта t жайылады. Бұл ең жиі қолданылатын режим, мұнда уақыт бойынша кіру сигналының өзгерісін зерттеуге болады.

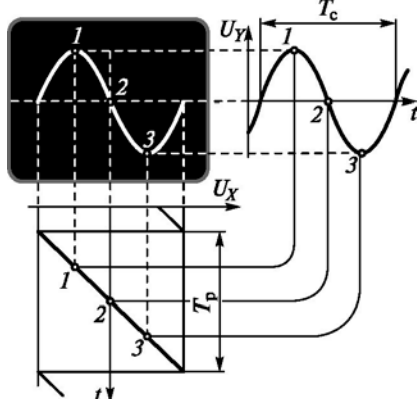
Бұл жағдайда Y тіліміне зерттелетін сигнал жіберіледі, ал X тіліміне ара тәрізді кернеу жіберіледі. 4.4-суретте T_c кезенді синусоидалық зерттелетін сигнал U_Y мен $T_p \equiv T_c$ кезенді периодты сызықты өзгеретін кернеу ЖГ U_X жағдайы көрсетілген.

Сызықтық жайма автотербелістік режимде немесе кутуші жаймалау режимінде жүзеге асырылуы мүмкін.

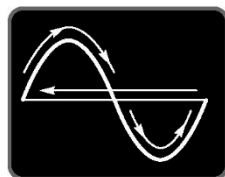
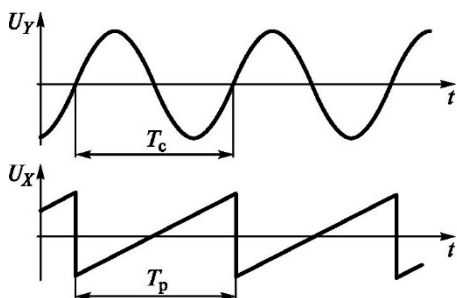
Жайманың автотербелістік режимі. Бұл режимде ЖГ үздіксіз кезендік ара тәрізді кернеуді түрлендіреді. Егер сигнал кезеңі T_c жайма генераторының кернеуінің кезеңіне T_p тең болып шықса, онда экрандағы жарқырайтын дақтың қозғалыс траекториясы циклдан циклға қайталаанады, яғни жайманың әр кезеңінде T_p кескін сол бір болады. Осылайша, экрандағы кескін тұрақты болады (4.5-сурет).

Айта кетейік, кескін еселі қатынас кезінде де тұрақты болады ($T_p/T_c = 2$; $T_p/T_c = 3$; $T_p/T_c = 4$; ...).

Жалпы жағдайда зерттелетін сигнал ЖГ кезеңдері тең болмаған кезде (және еселі емес), экрандағы кескін тұрақсыз және/немесе ыңғайсыз болады, себебі сәуленің жаймасының әр циклында кескін алдыңғы циклдардың кескінінен ерекшеленетін болады. Жиынтық кескін экран бетімен жүгіріп бара жатқан секілді. Кейбір жағдайларда кескін тұрақты болуы мүмкін, бірақ талдау үшін ыңғайсыз. Сигналдардың жеткілікті жоғары жиіліктері кезінде (ондық герц және жоғары) әр циклда бөлек кескіндер сондай жылдам алмасады, біркелкі бейне түзіп, бір-біріне таңылады (люминофордың жарықтануынан кейін және адам көзінің



4.4-сурет. Сызықтық жайма режимі ($Y—t$ режимі)



4.5-сурет. Жайма генераторы мен сигнал кезеңдерінің теңдік жағдайы

инерциялығынан). 4.6-суретте кезеңдерінің $T_p/T_c = 3/4$ қатынастары үшін арналған кескіннің қалыптасу мысалы келтірілген. Берілген жағдайда экрандағы кескін тұрақты болғанымен, бірақ жұмыс үшін ыңғайсыз.

Сигналдардың бір жұптары тілімдердегі кернеулердің бастапқы уақытша ығысуына байланысты экранда түрлі кескіндер жасай алады. 4.7-суретте түрлі уақытша ығысулары бар сигналдар үшін кескіндердің мысалы келтірілген. 1 кескін U_Y пен U_{X1} кернеуінің жұбына сәйкес келеді. 2 кескін U_Y пен U_{X2} кернеуінің жұбына, 3 кескін U_Y пен U_{X3} кернеуінің жұбына, 4 кескін U_Y пен U_{X4} кернеуінің жұбына сәйкес келеді.

Жайманың күтуші режимі. Жайманың автотербелістік режимінен айырмашылығы күтуші жаймалау режимі ЖГ кірмелік кернеу $\underline{U}_Y$ мен кернеу $U_{ГР}$ кезеңдерінің қатынасынан тәуелсіз Y кіруде кезеңдік сигнал кезінде тұрақты қайталанатын кескін алуға мүмкіндік береді.

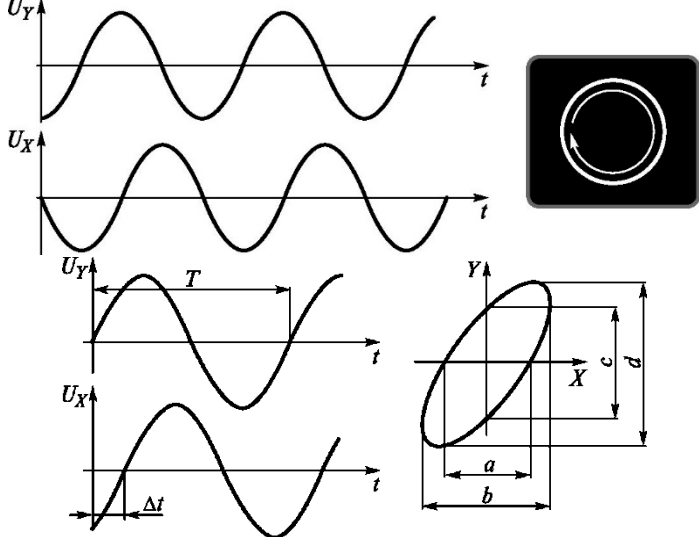


Рис. 4.10. Определение значения фазового сдвига

$\sin \varphi = \frac{a}{b}$, немесе $\sin \varphi = \frac{c}{d}$ болғандықтан, фазалық жылжудың φ мәні келесідей анықталады:

$$\varphi = \arcsin(a/b) = \arcsin(c/d).$$

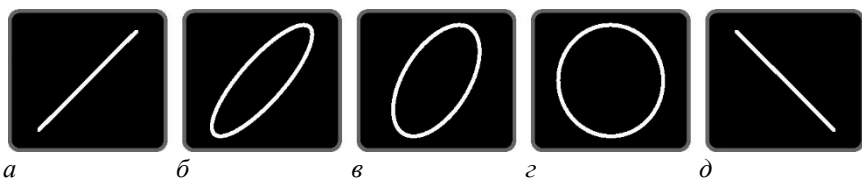
4.11-суретте фазалық жылжудың φ түрлі мәніне арналған кескін мысалдары келтірілген.

Лиссажу фигураларының әдісі. Егер Y пен X тілімдеріне түрлі f_Y пен f_X жиілікті синусоидалық кернеулер келіп түссе, онда ЭСТ экранында тұйықталған фигура кескіні – Лиссажу фигурасы пайда болады. 4.12-суретте f_Y жиілігі f_X жиілігінен екі есе көп болған кездегі кескіннің қалыптасу жағдайы көрсетілген.

Жиіліктердің біреуінің мәнін біле отырып, басқасының мәнін табуға

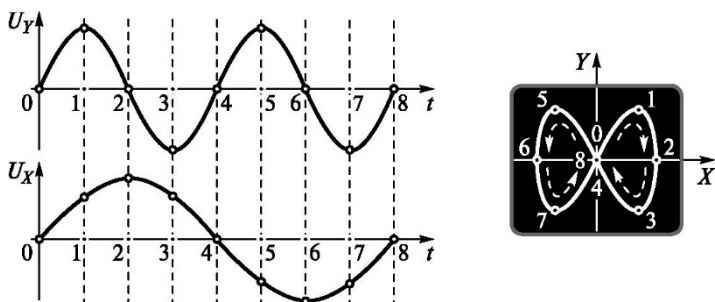
Рис. 4.9. Режим круговой развертки (режим $Y—X$)

болады. Бұл әдіс синусоидалдық сигналдың белгісіз жиілікті өлшеу үшін қолданылады. ЭСО бір кіруіне (кез келген), мысалы, Y кіруіне белгісіз жиілікті сигнал беріледі, ал баскасына – X кіру – синусоидалық сигналдың генераторының шығуынан кернеу беріледі. Генератор сигналының жиілігінің өзгеруімен Лиссажу түсінікті (ыңғайлы) фигураларының бірінің экранда тұрақты кескініне жетеді. Содан кейін алынған фигураның көлденең және тік сызықтармен қиылысу нүктелер саны анықталады (4.13, а-сурет). Дұрыс нәтиже алу үшін сызықтар



4.11-сурет. Фазалық жылжудың түрлі мәндері үшін эллипс әдісіндегі экрандағы кескіндер:

а — $\phi = 0^\circ$; б — $\phi = 30^\circ$; в — $\phi = 60^\circ$; г — $\phi = 90^\circ$; д — $\phi = 180^\circ$



4.12-сурет. Лиссажу фигуралар әдісі

екі сызықтармен қиылысу нүктелер саны барынша көп болатындай өту керек.

Бұдан кейін генератор сигналының орнатылған жиілігінің мәні есептеп шығарылады. f_Y/f_X жиіліктерінің қатынасы горизонтал N_f және вертикал N_B бойынша қиылысу нүктелерінің санының қатынасына тең:

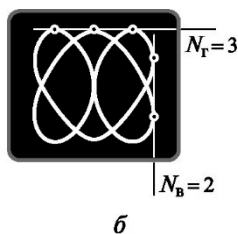
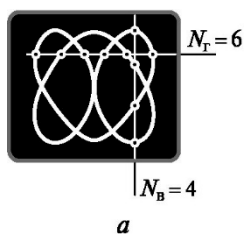
$$f_Y/f_X = N_B/N_f$$

4.13, а-суретте қиылысу нүктелерінің $N_f/N_B \equiv 6/4$ қатынасымен Лиссажу фигураларының мысалы келтірілген. Бұл Y кірудегі сигнал жиілігі X кірудегі сигнал жиілігінен бір жарым есе көп дегенді білдіреді. Мысалы, X кіруіне берілген генератор сигналының жиілігі 12,4 кГц тең болса, онда мұндай фигура кезінде экрандағы Y кірісіне берілген сигналдың белгісіз жиілігінің мәні 18,6 кГц тең болады.

Рис. 4.13. Определение точек пересечения (а) или касания (б)

Сызық фигурасына жанамаларды да қолдануға болады (4.13, б-суретті қараңыз), онда көлденең және тік жанамалардың жанасу нүктелерінің аналогтық қатынасын пайдалану керек.

4.14-суретте f_y пен f_x жиіліктерінің мәнінің түрлі қатынасына арналған кескіндер мысалдары келтірілген.

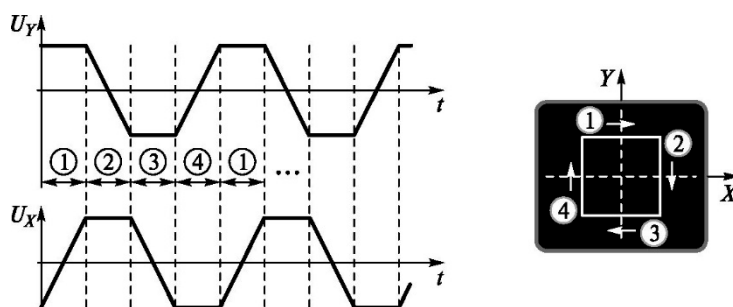




Жалпы жағдайда. $Y-X$ режимінде кез келген пішіндерде сигналдармен жұмыс жүргізу мүмкін.

Түйін дефектоскопиясының принципін түсіну априори экрандағы белгілі бір сигнал диаграммалары бар экрандағы нүктенің қозғалысының мүмкін траекториясын анықтауға мүмкіндік береді. Жеткілікті машықтану кезінде көріністі құру үшін салыстырмалы кішігірім нүктелер санымен қанағаттандыруға болады. Одан басқа, тілімді-сызықты сигналдар жағдайы үшін (немесе олардың бірін) сигналдарды жақындату кезінде бір келкілікке (тұрақты) сәйкес интервал уақыттарын қарастырғанда құру процесін тұрғызуға болады, мысалы тұрақты туынды, ол тек нүктелер ғана емес, бірден тұтас фрагментті траекториясын береді. 4.15 суретінде кейбір интервал мезеттерінде тұрақты туындылармен екі сигналдардың жағдайлары көрсетілген. Экрандағы 1, 2, 3, 4 интервалдарында тік сызықтардың кесінділері болады.

Бұл ЭСО режимінде *иограф сипаттамасы* түрінде пайдалануға болады – электронды, электрлік және электр магниттік жабдықтардың сипаттамаларын зерттеу инструменті. Мысалы, ЭСО көмегімен төрт полюсті кернеу кірісінен шығысына тәуелділікті алуға болады.



4.2.1. Растрлы режим (Y—X — Z режимі)

Бұл режимде Y және X режимінде U_Y және U_X сигналдары периодты түрде өзгертін мәндер беріледі, олар сәулені үлкен жылдамдықпен қисалған, қозғалған параллель және көлбеу жолдарды аймалап өтеді (сурет 4.16). Сөйтіп *растр* түзіледі.

Сәуленің барлық траекториялары экранда көрсетілген. Мадюлятор M кедергінің U_z өзгеруімен ЭЛТ-ны траекторияның бөлек элементтерінің жарықтығын реттеуге болады. Сөйтіп, әр түрлі көріністерді (графикалық та, белгілі де) көптеген жарықтанушы нүктелер немесе кішігірім фрагменттердің көріністерін тұрғызуға болады.

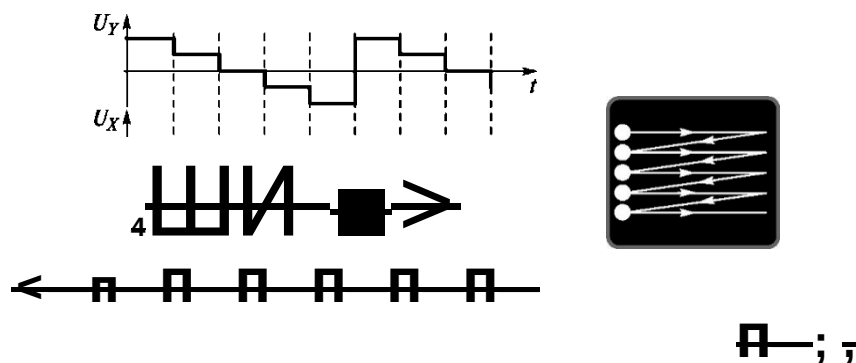
Кедергінің U_z теріс мәндері ЭЛТ «құлыпталады», яғни түйінде электрондардың саны бірден төмендетеді, бұл жағдайда экранда дақтың жарығы болмайды. Кедергінің U_z оң мәнді импульспен ЭЛТ «ашылады» және экранның сәйкес орнында жарық дақ пайда болады. Сурет 4.16 мысалында дақтың әр бір жолдың басында экранның сол жақ бөлігінде тік сызық түзіледі.

Бүкіл экранның жылдамдығы көздің ішінде байқалмайтындай, яғни кемінде 25 секунд болуы керек.

Сызықтар саны қанағаттанарлық сурет қалыптастыру үшін жеткілікті үлкен болуы керек (бейне).

Әдетте бұл режимдегі сызықтар саны бірнеше жүзден кем емес. Жолдар саны және кадр жиілігі неғұрлым жоғары болса, сурет сапасы соғұрлым жақсы болады.

Атап өтейік, бұндай режим классикалық электронды-сәулелік осциллографта пайдаланылады, бірақ сандық осциллографтарда, теледидарда, дербес компьютерлердің мониторларда электронды-сәулелік құбырларда негізгі болып саналады.



4.3. ОСЦИЛЛОГРАФИЯЛЫҚ ӨЛШЕМДЕР МЕТРОЛОГИЯСЫ

Осциллограф көмегімен орындалған өлшеу нәтижесінің жалпы қателігі басқа да өлшеулердің қателік нәтижелері бірдей: инструментальді, әдістемелік және субъективті. Бөлек құраушылардың қадамдарында осциллографтың өлшеу спецификациясы анықталады.

4.3.1. Инструменталдық қателік

Осциллографиялық өлшеу нәтижесінің аспаптық қателігі тұрақты немесе төмен жиіліктік кіріс сигналы мен динамикалық компоненттерден тұрады.

Статикалық қателік. Амплитудасы мен уақыт параметрлерін өлшеу кезінде қателерді бағалауға жалпы көзқарас қолданылуы мүмкін. ЭСО қолданудың басым көпшілігі сызықтық сегменттердің ұзындығына (мысалы, сигналдың амплитудасы мен кезеңін өлшеу, импульстің ені) өлшеуге негізделгендіктен, каналдардағы жүйелік аддитивті қателердің Y және X болуы нәтижедегі қателіктерге алып келмейді, өйткені ол кескіннің тек экранды көшіруін анықтайды.

Көптеген арналардың мультипликативтік қателіктері өлшеу нәтижесіне әсер етеді, себебі экрандағы кескіннің сызықтық параметрлерін бұрмалау кіріс көлемінің желілік мәніне байланысты болады. Шекті рұқсат етілген салыстырмалы мультипликаттық қателік каналдары Y және X ауытқу коэффициенті қателігі деп аталады және санды беріледі, мысалы, осылай: $8^{\wedge} = \pm 5 \%$; $8^* = \pm 2 \%$. Бұл мәндер тек каналдармен сигналдардың жаңғыртуда статикалық (немесе төмен дәлдікті) қателіктермен сипатталады.

Динамикалық қателік. ЭСО-ның кіру каналдары жоғарғы жиілікті сигналдарды шексіз кең жиілік аумағында қабылдай («өткізе») алмайды. Табиғи шек бар. ЭСО өткізетін каналдардың жиілік сызықтары (яғни, дұрыс зерттеуге мүмкіндік береді) каналдардың сызбатехникасы мен элементар базаға байланысты. Әрдайым, жиілік сызығы кең болған сайын жақсы. Оның шегі өткізу сызығының $/_v$ жоғарғы жиілігімен анықталады.

Динамикалық қателікті анықтайтын ЭСО-ның сипаттамаларына мыналар кіреді:

- амплитудалық-жиілікті сипаттама (АЧХ) және Y және X каналдары бойынша өткізу сызығының $/_v$ жоғарғы шекаралы мәні;
- U каналының ауыспалы сипаттамасының өсу уақыты t_n ;
- орнату уақыты t_y ;
- K каналының АЧХ теңсіздігі;
- Y каналының фаза жиілікті сипаттама (ФЧХ).

Синусоидты
кернеу
генераторы

Жоғары
жиілікті

Зерттелетін
ЭСО

1/:

И

и:

©

вольтметр

©' Синусоидты сигнал 4.17сурет. Экспериментті АЧХ

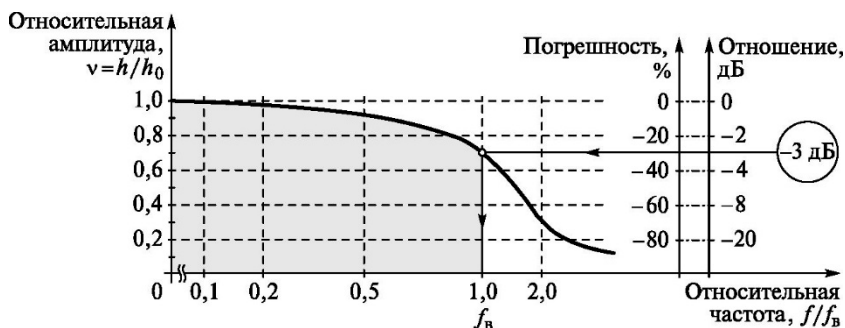
каналын анықтау у ЭСО **4.3. МЕТРОЛОГИЯ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМ**

У каналында осы мысалдардың ішіндегі негізгілерін қарастырайық.

АЧХ жүйесін дұрыс түсіну үшін У каналының АЧХ қалай анықталатынын қарастырайық (сурет 4.17).

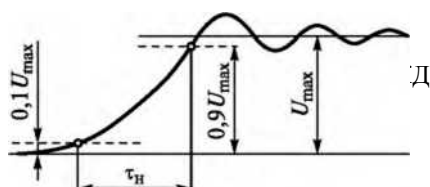
ЭСО-ның У каналы кірісіне кең аумақтарда (зерттелетін ЭСО өткізу сызықтарының жоғарғы жиілігінен кем емес болатын өзгеріс жиілігінің жоғарғы диапазон шекарасы) реттелетін жиіліктің жоғарғы жиілікті генератордың синусоидалды сигнал беріледі. Артынша, генератордың сигнал жиілігін өзгерту (бірнеше әр түрлі мәндерді кезектесіп енгізу) арқылы және тұрақты сигнал амплитудасын (кең сызықты электрлік вольтметр көрсеткіштері көмегімен) ұстап отырып, экран сигналында көрініс амплитудасын тіркейді. Сөйтіп, АЧК каналының кейбір көптеген нүктелерімен қисықты тұрғызуға болады. Мысалы, ЭСО-ның К каналы 4.18 суретінде көрсетілген.

Абсцисса осі бойынша сигналдың салыстырмалы жиілігі f/f_s бөлініп, яғни каналдың f_B өткізу сызығының жоғарғы шекарасының кіріс сигналына жиіліктің қатынасы (оның жиілікті диапазонына шекара). Ордината (сол жағы) осі бойынша осциллограмма бойынша сигналдың көрінісінің салыстырмалы амплитудасы v бөлінген $v = A/h_0$, мұнда h — нақты жиілікте осциллограмма (көрініске) бойынша сигнал



амплитудасы,

4.22 сурет. Бөлумен кіріс сигналын қосу



4.19-сурет. Уақыттың өсуі (а) мен орнату уақытын (б) анықтау

h_0 — кіруші сигналдың төменгі жиілігі кезінде осциллограмма бойынша амплитуда (немесе тұрақты кернеу кезінде).

Өткізу сызығының жоғарғы шекарасы f_v (ашық кірісті канал үшін — ары қарай қара) -3 дБ салыстырмалы амплитуданың төмендеу деңгейі бойынша анықталады және ЭСО-ның паспортына (мысалы, былай: $f_v = 10$ МГц) енгізіледі. АЧХ-ны біле отырып, белгілі жиіліктің синусоидалы сигналдың амплитудасын экранында жаңғыру қателігін анықтауға болады. Мысалы, кіріс сигналының жиілігі кезінде $f = 5$ МГц және $f_v = 10$ МГц мәнінде экранда синусоидалы сигналдың амплитудасының жаңғыру қателігі шамамен -10 % құрайды (сурет 4.18 қара).

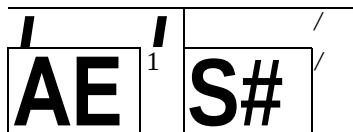
Каналдың ауыспалы сипаттаманың өсу уақыты t_H және бекіту уақыты t_y кіріс сигналдардың өзгеруіне секіртпеліге (импульсті сипаттамада) ЭСО-ның реакциясын сипаттайды. Өсу уақыты t_H сигналдың амплитудалық U мәнге $0,1 U_{max}$ -дан $0,9 U_{max}$ —ға дейін сигналдың ауысуынан уақыт интервалымен анықталады (сурет 4.19,а).

Бекіту t_y уақыты $0,1 f_{max}$ —дан берілген зонаға $\pm D$ дейін сигналдың кіруі интервалымен анықталады (мысалы, $\pm 5 \% U_{mm}$, сурет 4.19, б).

Өсу уақытының t_H практикалық мәнінде каналында t_y бекітуі 4.20 суретінде көрсетілгендей анықталады.

және Y
Тік бұрышты импульстерді генераторы Зерттелуші ЭСО

ЭСО-ның Y каналының кірісіне тік бұрышты импульстердің генераторларынан сигнал беріледі. Генератордың шығу сигналының фронт ұзақтылығы зерттелуші ЭСО-ның өсу уақыты мен бекіту уақытының болжалды



Тікбұрышты импульстер

мәні әлде қайда төмен болуы қажет.

Сурет 4.20. Y каналының өсу уақыты мен бекіту уақытын экспериментальді анықтау

Артынша осциллограмма сигналының көрсетілген

параметрлерін өлшейді.

АЧХ каналының теңсіздігі және У каналының фаза жиілікті сипаттамасын негізінде кіруші сигналдардың синусоидалы емес пішіндердің қисықтарымен анықталады.

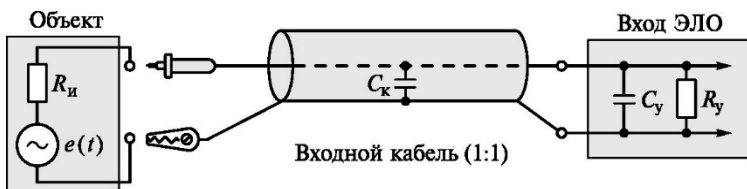
4.3.2. Әсерлесудің қателігі

Осцилографиялық өлшеулерде, басқа өлшеулердегідей, құрылғының зерттеу нысанымен (ЗН) өзара әрекеттесуінде қателік пайда болады - көздің шығу импедансымен және ЭСО-ның күрделі енгізу кедергісінің (импедансы) қатынасымен анықталған сигнал көзі. Осциллоскоптың кернеу өлшегіші болғандықтан, сигнал көзінің шығу импедансымен салыстырғанда оның кіріс кедергісі неғұрлым көп болса, соғұрлым жақсы болады. ЭСО сигнал көзіне кіріс кабелі арқылы қосылғандықтан, құрылғының кіріс параметрлерін, ілмекті және кабель параметрлерін ескеру қажет. ЭСО-ны зерттеу объектісіне қосқан кезде, дұрыс кіріс кабелін таңдап, сигнал көзінің, кабельдің және осциллографтың параметрлерін сәйкестендіріп жазу керек.

Кіріс кабельдері (ВК) өз мүмкіншіліктері бойынша *пассивті* және *активті* болып бөлінеді. Пассивті (активті элементтерді құрамайтын) ВК тобы – ең массалық топ және кіріс сигналының (1:1) бөлуінсіз (төмендеуінсіз) кабельдер және сигналдың бөлуі кабельдеріне (10:1; 100:1) бөлінеді.

Ең қарапайым сигналдың бөлінуінсіз (1:1) пассивті ВК ол негізінде бір жағынан, экрандаушы коаксиальді () кабельдің кескіні ЭСО кіруіне жалғанғаны үшін саңылаулы, екінші жағынан ОИ жалғау үшін контактты-байқаумен. Мұндай ВК жоғарғы емес жиілікті сигнал амплитудасы бойынша салыстырмалы аз мәнді зерттеу үшін пайдаланылады, яғни көптеген кіруші тізімдеме (өткізудің шектеуші сызығы) ЭСО әсерленудің қателіктерінің байсалды екендігіне әкелмейді. ВК қосылымының сұлбасы 4.21 суретте көрсетілген.

Коаксиальді кабель таратылған электрлік сыйымдылықты ұсынады. Коаксальді кабельдің меншікті сыйымдылығы көбінесе 1 м-ге (50...100) пФ құрайды, сондықтан ВК ұзындығы айтарлықтай мәндерге ие, себебі кедергі кабельдің сыйымдылығы, және сәйкесінше, жалпы кіруші сыйымдылықтар анықталады. Сондықтан жалпы кіруші сыйымдылық (сигналдың көз қарасымен) $C_{вх}$ сыйымдылық кабелі C_k мен күшейткіштің C_y суммасына тең. Кабельдің активті кедергісі ЭСО-ның ішкі күшейткішіне кедергісіне салыстырмалы түрде өте аз, және оны ескермеуге болады.



4.21-сурет. Кіріс кабелін бөлінуінсіз қосуы (1:1)

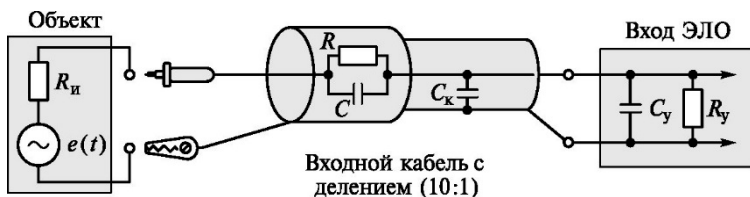
ВК қатысты жалпы кіріс кедергісі кіріс күшейткіштің белсенді кедергісімен параллель қосылыспен және жалпы кіріс сыйымдылығымен анықталады. Тұтастай алғанда, ОИ-ге қосылған зондтардың (кенестердің) нақты байланыстарының сыйымдылығын ескеру қажет. Бұл сыйымдылықтың типтік мәні - 2 ... 5 пФ. Жалпы кіріс сыйымдылығы, кіріс белсенді кедергісі неғұрлым кішірек болса, соғұрлым жақсы болады, өйткені өзара байланыс қателігі аз болады және, осылайша, өткізу жолағының ені кеңірек болады.

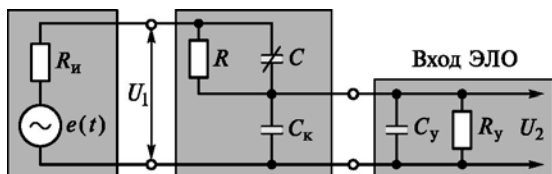
Пассивті бөлінетін ВК (ВКД) сигналдары бір мезетте кіріс сыйымдылықтың төмендеуі мен кірістегі активті кедергіні қамтамасыз ететін, яғни зерттеуші сигналдың сызықтарын кеңеюінде қосымша ішкі резистерлік-сыйымдылықты шынжырды (резистор R және конденсатор C) құрайды. ВКД-ның қосу сұлбасы 4.22 суретте көрсетілген.

ЭСО-ға мұндай ОИ кабельмен жалғаған кезде кернеу бөлгіші пайда болады, оның жоғарғы иіні суммалық кешенді кедергілі резисторлық-сыйымдылықтың шынжыр кабелдері (R және C), ал төменгі — ЭСО-ның сыйымдылық кабелі C_k , күшейткіш C_y және кіруші кедергісіне R_y жалғанған параллель мұндай бөлгіштің қосындысының эквивалентті сұлбасы 4.23 суретінде көрсетілген.

Бұл жағдайда кіруші активті кедергі $R_{вх}$ (ОИ-дің көз қарасымен) келесідегідей түрде болады

$$= R + \Delta$$





4.23-сурет. Кабельдің бөлгішпен жалғаудың эквивалентті сұлбасы

Кіруші сыйымдылық $C_{вх}$ бұл кезде ВКД-ның резистивті-сыйымдылықты шынжырдың C және C_k кабельдің сыйымдылығын жалғаудағы суммарлық параллельді күшейткіші конденсатор сыйымдылығымен тізбектей жалғанады:

$$- \frac{C(C_k + C_y)}{C_k + C_y}$$

Яғни, әлбетте, бұл жағдайда суммалық кіруші сыйымдылық $C_{вх}$ едәуір азаяды.

ВКД-ны 10:1 бөлгішті коэффициентті қарастырайық. ЭСО мен ВКД параметрлері белгілі:

$$R_y = 1 \text{ МОм}; C_y = 50 \text{ пФ}; C_k = 50 \text{ пФ}; R = 9 \text{ МОм}; C = 11 \text{ пФ}.$$

ЭСО-ның күшейткіші C_y мен кабельдің сыйымдылығы C_k суммасы:

$$C_k + C_y = 100 \text{ пФ}.$$

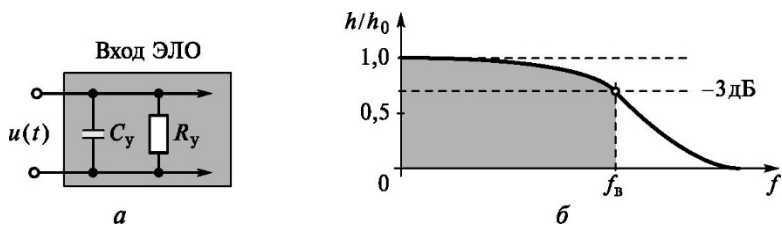
Соңғы нақты кірістегі активті кедергінің R_m және сыйымдылықтың $C_{вх}$ (сигнал көзінің көзқарасымен) суммарлық мәні төмендегідей мәнге тең:

$$L_{вх} _ 10 \text{ МОм}; C_{вх} _ 10 \text{ пФ}.$$

Сөйтіп, мұндай кабельді пайдалану нәтижесінде аспаптың үздік кіруші параметрлерін, және де, нәтижесінде үздік динамикалық сипаттамалардың мәніне ие болады. Алайда, атап өту қажет, ВКД пайдалану өлшеудің сезімталдылығын пропорционал түрде төмендетеді. ЭСО-ның күшейткішінің кірісінде түсетін U_2 , кернеуінің бөлгіш коэффициенті өлшеуші кернеуден E /, әлде қайда төмен. Айталық, қарастырылған мысалда тұрақты (немесе төмен жиілікті) кірісті кернеудің қатынасы кезінде $U/U_2 = 10$, яғни сезімталдылығы 10 есе кішірейеді.

ВКД конденсатор C сыйымдылығы мәні бөлгіш жиілікті күйіндегі түзетулер үшін кішігірім аралықтарда өзгертуге болады.

Егер суммарлық (кез келген типті кабельдің қосылысын ескергенде) кірісті кедергінің және кірістегі сыйымдылықтың мәндері белгілі болса, онда келесі түрде синусоидальды сигнал жағдайы үшін әсерлесу қателігі $D_{вз}$ бағаланады:



4.24-сурет. Ашық кірістің режимі (а) және оның АЧХ (б)

мұнда U — амплитуданы өлшеу нәтижелері; $f_{\text{с}}$ — сигналды жіберудің кедергісі; $R_{\text{вх}}$ — ЭСО-ның суммалық кіріс кедергісі; ω — сигналдың дөңгелек жиілігі ($\omega = 2\pi f$ — кіріс сигналының жиілігі); $x = Y, C_{\text{вх}}$ ($C_{\text{вх}}$ — кабельмен ЭСО-ның суммарлық кіріс сыйымдылығы).

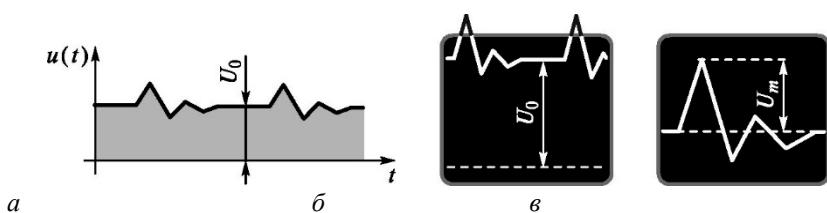
Бұл суммада бірінші қосылғыш тұрақты кіріс кедергісі кезінде гіорет- мәнін сипаттайды, ал екіншісі - $\omega = 2\pi f$ жиілігімен анықталатын ауыспалы кернеуді сипаттайды.

Активті ВК ЭСО-ның кіріс кедергісінің мәнін жақсарту үшін күшейткіштерден тұрады, сонымен әсерлесу қателігін күрт төмендетеді.

ЭСО ашық және жабық кірістері. ЭСО-ның күшейткіш Y каналы ашық кіріс деп шартты түрде аталатын оның мәндеріне пропорционал кез келген сигналдарды жаңғыртады.

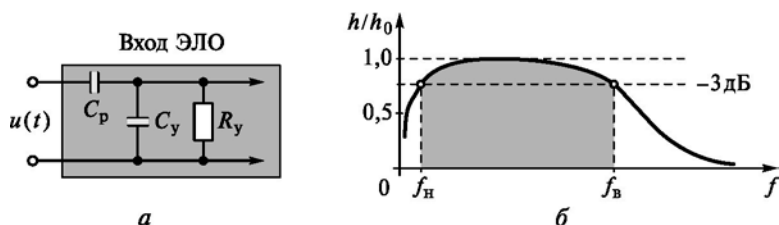
4.24,а суретінде ашық кірістегі режиміндегі ЭСО Y күшейткіш кірісті каскадтың эквивалентті сұлбасы көрсетілген, ал 4.24,б суретінде сол режимдегі Y каналдың АЧХ бейнеленген. ЭСО-ның ашық кіріс режимінде 0-ден $f_{\text{в}}$ Гц-ке дейінгі жиілік сызығында жаңғыртылады.

Жабық кіріс режимінде каналдың күшейткіші Y тек ауыспалы құрамдас сигналдарды ғана қабылдайды және тұрақты туындыны елемейді (өткізбейді). Көзімізге «()» тең тұрақты U_0 және ауыспалы құрамдасты құрайтын сигналды елестетейік (сурет 4.25, а).



4.25-сурет. Жабық кірісі режиміне ауысу:

а — кіріс сигналы; б — тұрақты құраушылардың көбеюі; U_0 — ауыспалы құраушылардың өсуі u .

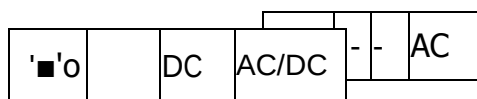


4.26-сурет. Жабық кірістің режимі (а) және оның АЧХ (б)

Мысалы, кіріс сигналының тек ауыспалы құраушысы (оның амплитудасы U_m) ғана қызықтырады. Өзгеріс сипаттамасы мен амплитуданың ауыспалы құраушысын зерттеу үшін каналдың сезімталдылығын арттыру қажет. Бірақ, бұл жағдайда ашық кіріс режимінде ауыспалы құраушы U_m мен тұрақты құраушының $t/0$ амплитуда мәндерін өлшеуде қажетті көріністі талап етуге келмейді, себебі каналдың қарапайым сезімталдылығын арттыру мұндай мәндерге керекті нәтижені бермейді – көрініс экранның шекараларынан шығып кетуде (сурет 4.25, б). Бірақ егер тұрақты құраушыдан құтылсақ, онда тек ауыспалы (бізді қызықтыратын) құраушының мәндерін сезімталдылықтың көмегімен қажетті мәнге дейін жеткізуге болады (сурет 4.25, б). Бұл мүмкіндік режимде жабық кіріс деп аталады.

Жабық кіріс режимінде (сурет 4.26, а) ажыратқыш конденсаторлар C_p кіріс сигналының тұрақты құрамдас бөлігінен өтпейтін күшейткіштің кірісіне қосылады. Осы режимде күшейткіштің U_v амплитудалық-жиілік сипаттамасы 4.26,б-суретте көрсетілген. Жабық тұйықтау режимінде АЧХ нөлден басталмаған, бірақ белгілі бір төменгі жиіліктен f_H бастайтын жиілік диапазонына ие.

Аспаптардың панель беттеріне енгізілетін ашық және жабық кірістердің режимдерінің шартты белгіленулері әр аспап үшін әр түрлі болуы мүмкін (сурет 4.27). 4.27,а суретінде ашық кірістің режимінің



а

белгіленуі бейнеленген, ал 4.27, б суретінде — жабық кіріс режимі.

4.27-сурет. Ашық (а) және жабық (б) режимдердің белгіленуі

Ағылшын тіліндегі аббревиатуралар DC және AC белгіленуде келесідегідей мағынаны білдіреді: DC — Direct Current — тұрақты тоқтың кернеуі; AC — Alternating Current — ауыспалы тоқтың кернеуі.

4.3.1. Субъективті қателік

Белгілі болғандай, субъективті қателік жалпы жағдайда есепке алу қателігінен және үлкен қателіктен (жіберілуден) қалыптасуы мүмкін. Ауытқуды болжауға келмейді, сондықтан ертерек бағалана алмайды.

Қателікті есептеу $D_{\text{отс}}$ шкала жүйесінде — стрелка (стрелкалы аспаптарда) және тор жүйесінде — дактар (осциллографтарда) табиғаты бойынша бірдей. Қателікті есептеу екі құраушыға жіктеледі: интерполяциялар және параллакс. *Интерполяция қателігі* ЭСО экранның торларында (шкалалар), бөлу кескіндері шекарасында, нүктелер мен стрелкалардың жағдайын санды түрде көрсету керек жерлерде әрдайым пайда болады. Интерполяция қателігі оператордың квалификациясымен, дактардың өлшемдерімен, бөлгіш шкалалардың арасындағы қашықтықтармен анықталады. ЭСО-дағы *параллакс қателігі* ЭЛТ-ның экран үстіңгі жақ бетінде электрондардың ағындары жарықтандыруды туғызады, ал тор болса, көбінесе, қорғаушы шынының бер жағында орналастырылған. Дәл осы экранның шынысы мен қорғаушы шыны (стрелкалы аспаптарда стрелка мен шкаланың арасындағы қашықтық аналогы) бұл қателікті туындатады. Әр түрлі шығарылымдарда бұл құраушылардың сандық бағасын әр түрлі іске асыруды ұсынады. Оңай және жеңіл жаттау үшін бұл құраушылардың мәндерін бірдей бағалайық (бір ондық салмақтың бір экран торы бөліміне)):

$$A_{\text{отс}} = \pm(0,1a + 0,1a) = \pm 0,2a,$$

мұнда a — Y немесе X осі бойынша шкаланың бір бөліміндегі салмағы.

Айтпақшы, бұл аналогты стрелкалы өлшеуші аспаптардың қателіктерін есептеуін бағалау әдісімен өте ұқсас.

Кейбір ЭСО модельдерінде тор екі қорғаушы шыныларда да (ішкі және сыртқы) енгізілген. Бұл құрылымдық ерекшелікті сауатты пайдалау параллакс қателігі мәндерін өте кішкентай мәндерге дейін жеткіздіруге болады. Бұл жағдайда тек бірінші құраушыны ғана ескеруге мүмкіндік болады — интерполяция қателігі:

$$D_{\text{тс}}^* = \pm 0,1a.$$

Егер ЭСО-да амплитудалық және мезгілдік параметрлердің сандық санау режимі бар, онда есептеу қателігі мүлдем болмайды.

4.4. ӨЛШЕУ НӘТИЖЕЛЕРІНІҢ ҚАТЕЛІКТЕРІН БАҒАЛАУ

Ең жиі көріністі тұрғызуда екі режим пайдаланылады $Y-t$ \ $Y-X$. Осы режимдердегі есептеу нәтижелерінің қателіктерін бағалау сұрақтарын қарастырамыз.

4.4.1. Сызықты жаймалау режимі (режим $Y-f$)

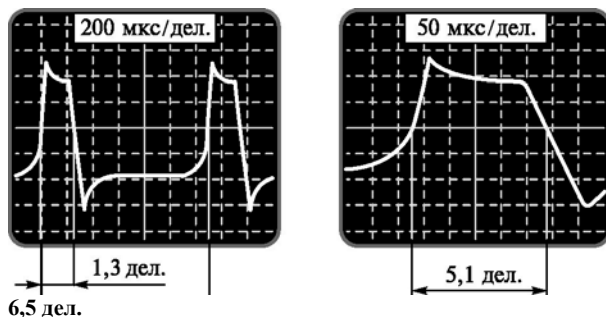
Осциллографиялық өлшемдерінің амплитудалық және мезгілдік сигнал параметрлері жағдайларында сызықтық кескіндердің өлшемдерін анықтаумен экранда (яғни, осциллограмма бойынша) бейнеленген көрініс бойынша табады. Сондықтан, мәндік қателіктерді болдырмау үшін Y және A'' , каналдары бойынша ауытқу коэффициентінің мәнін дұрыс таңдау қажет, яғни, бізді қызықтырушы параметрлер мүмкін болушы кескіндердің ұзындығымен (экран торы аумағында) көрсетіледі. Осциллограммада керекті параметрдің мәні төмен болған сайын, нашар, себебі оны анықтаудың қателігі көбейеді.

Бұны шекті инструментальді және субъективті мезгілдік өлшеу параметрлерінің қателік нәтижелерін есептеу мысалымен көрсетейік. Периодты сигналды бейнелеу бойынша импульстің ұзақтылығы мәнімен анықталады, яғни импульсті тізбектей периодты қайталану T (сурет 4.28, а), және де нәтижелердің инструментальді қателігін бағалау.

X осі (ұңғы жылдамдығы) бойынша ауытқу коэффициентінің мәні белгілі $K_X = 200$ мкс/бөлг және оның салыстырмалы қателігі $B_X = \pm 3\%$.

Өлшеу периоды T нәтижесі (4.28, а суретін қара):

$$T = 6,5 \text{ дел.} \cdot 200 \text{ мкс/дел.} = 1300 \text{ мкс.}$$



4.28-сурет. X осі бойынша ауытқу коэффициентін таңдау (жаймалау жылдамдығы):

a — 200 мкс/бөлг.; b — 50 мкс/бөлг.

a

b

Инструментальді статикалық $D_{\text{с}}$ және субъективті (есептеу) $D_{\text{с}}$ құраушылардың жалпы қателігінің D периодты T өлшеу нәтижелері мынаған тең:

$$D_{\text{с}} = (8 \cdot T / 100) = (\pm 3 - 1300) / 100 = \pm 39 \text{ мкс};$$

$$D_{\text{с}} = \pm 2(0,1 \text{ дел.}) = \pm 2(0,1 - 200) = \pm 40 \text{ мкс}.$$

Соңғы жазба нәтижелерінің өлшеу периоды T бұл экспериментте келесі түрде бейнеленеді:

$$T = 1300 \text{ мкс}; D = \pm 79 \text{ мкс}; p_{\text{лов}} = 1.$$

Импульстің ұзақтылығының өлшеу нәтижесі $t_{\text{н1}}$ бұл (бастапқы таңдаулы) ұңғы жылдамдығы (4.28, а суретін қара) төмендегі формуламен анықталады:

$$t_{\text{н1}} = 1,3 - 200 = 260 \text{ мкс}.$$

Құраушы инструментальді $D_{\text{н1}}$ және субъективті $D_{\text{с}}$ және де жалпы абсолютті қателікті өлшеу D бұл (бірінші) өлшемде тең, сәйкесінше:

$$D_{\text{н1}} = (5 \cdot t_{\text{н1}}) / 100 = (\pm 3 \cdot 260) / 100 = \pm 7,8 \text{ мкс};$$

$$D_{\text{с1}} = \pm 2(0,1 - \text{дел.}) = \pm 2(0,1 - 200) = \pm 40 \text{ мкс};$$

$$D_1 = \pm 47,8 \text{ мкс}.$$

Предельное значение суммарной относительной погрешности измерения длительности импульса S_1 при этом составит:

$$S_1 = (D \cdot 100) / t_{\text{н1}} = \pm (47,8 \cdot 100) / 260 \approx \pm 18,4 \text{ \%}.$$

Суммалық салыстырмалы қателіктің импульсінің ұзақтылығын S_1 өлшеуші шектік мәні мынаған тең:

$$S_1 = (D - 100) / t_{\text{н1}} = \pm (47,8 - 100) / 260 = \pm 18,4 \text{ \%}.$$

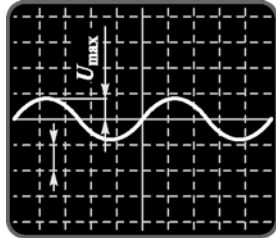
Мұндай қателіктердің мәндері үлкен болып шығуы мүмкін. Бұл жағдайда импульстің ұзақтылығын өлшеудегі дәлдікті арттыру үшін басқа ауытқу коэффициентіне ауысу керек, мысалы, $K_{X2} = 50 \text{ мкс/бөлг}$ коэффициентіне өзгерту (сурет 4.28, б). Мысалы, ауытқу коэффициентінің мәні қателігі B_{X2} (ұңғы диапазонында) алдыңғыдан өзгеше және $B_{X2} = \pm 4 \text{ \%}$ тең. Бұл экспериментте (сурет 4.28, б қара) импульстің ұзақтылығын $t_{\text{н2}}$ өлшеу нәтижелері мынаған тең:

$$X_{\text{ц2}} = 5,1 - 50 = 255 \text{ мкс}.$$

Инструментальді $D_{1|2}$ және субъективті $D_{2.2}$ құраушылардың шектік мәндері, сонымен қатар өлшемдердің абсолютті D_2 және салыстырмалы S_2 қателіктері төмендей мәндерге тең:

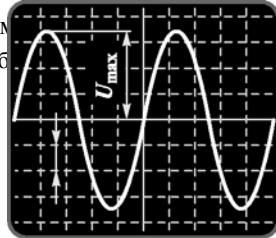
$$D_{\text{н2}} = (5 \cdot t_{\text{н2}}) / 100 = \pm (4 \cdot 255) / 100 = \pm 10,2 \text{ мкс};$$

$$D_{\text{с2}} = \pm 2(0,1 \cdot \text{дел.}) = \pm 2(0,1 \cdot 50) = \pm 10 \text{ мкс};$$



2 В/дел.

а



0,5 В/дел.

б

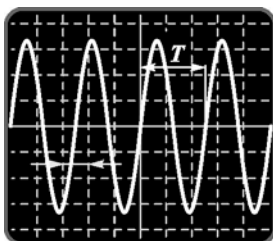
$$D_2 = \pm 20,2 \text{ мкс}; S_2 = (D_2 - 100)/T_{H2} = \pm (20,2 \cdot 100)/255 \gg \pm 7,9 \%$$

Импульстің ұзақтылығының T_{H2} (екінші экспериментте) өлшем нәтижесінің шекті жазбасы келесідегідей түрде болады:

$$T_{H2} = 255 \text{ мкс}; D_2 = \pm 20 \text{ мкс}; p_{\text{дов}} = 1.$$

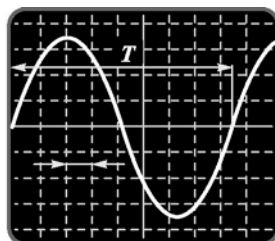
Естеріңізге сала кетейік, амплитудасы мен уақыт параметрлерін өлшеу кезінде әрдайым экрандағы үлкен сызықтық сегменттермен ұсынылатын параметрлері ұсынылатын осьтер бойынша ауытқу коэффициенттерінің осындай мәндерін таңдау керек. 4.29...4.31-суретте кейбір жиі кездесетін эксперименттердегі осьтер бойынша ауытқу коэффициенттерінің мәндерін дұрыс және дұрыс таңдау мысалдары келтірілген.

Атап өтейік, кейбір мезгілдік параметрлерді анықтау кезінде (мысалы, сигнал периоды) U каналының динамикалық сипаттамалары нәтижелерге әсер етпейді.



50 мкс/дел.

а

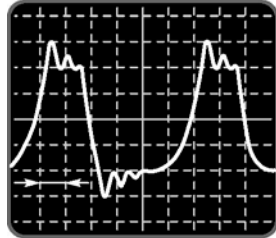


10 мкс/дел.

б

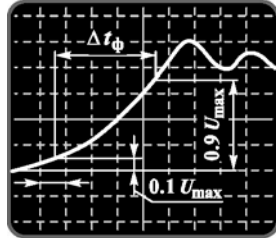
4.30-сурет. Сигнал периодының өлшеуі:

а — дұрыс емес; **б** — дұрыс



20 мкс/дел.

a



5 мкс/дел.

б

4.31-сурет. Импульсті сигналдың ұзақтылық фронтының өлшемі:

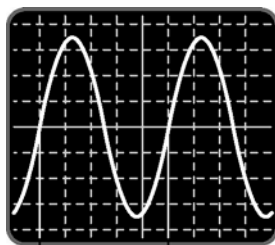
a — дұрыс емес; *б* — дұрыс

4.32,а суретінде У каналына идеал АЧХ сәйкес болатын экранда кіріс сигналының көрінісі көрсетілген, ал 4.32, б — реал АЧХ кезіндегі осциллограмма. Жаңғырту амплитудалық қателіктер кезінде және белгілі мезгілдік ұстанымдар кезінде сызықтық кескіндер осциллограмманың периодтарына сәйкес келетіндер бірдей, сондықтан екі жағдайда да периодты өлшеу нәтижелері практикалық тұрғыда тең: $T_x = T_2$.

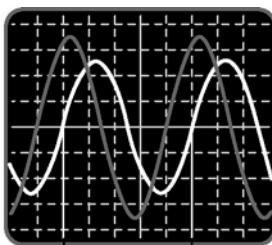
Кейбір эксперименттерде нәтижелердің мәндерін реттеуге болады. Мысалы, импульсті сигналдардың фронтының ұзақтылығын өлшеу кезінде Хф өлшеу нәтижелеріне түзетулер енгізген дұрыс:

мұнда τ_{Φ}^* — түзетілген өлшеу нәтижелері; τ_{Φ} — осциллограф бойынша табылған фронттың ұзақтылығы мәні.

$$\tau_{\Phi}^* = \sqrt{\tau_{\Phi}^2 - \tau_{\text{н}}^2},$$



a



б

4.32-сурет. Жағдай үшін уақытша параметрлерді өлшеу: *a* — идеал АЧХ; *б* — нақты АЧХ

t_n — өсу уақыты. Өсу уақыты Y каналының өткізу сызығының жоғарғы шегіне $/_b$ байланысты келесі қатынасқа тең

$$t_n = 0,35 / f_y$$

Мысалы, егер каналдың өткізуінің жоғарғы шегі $Y /_b = 10$ МГц және фронттың ұзақтылығын алдын ала өлшеу нәтижелері $T_f = 75$ не тең болса, онда өсу уақытының t_n мәнін бағалау және артынша фронттың ұзақтылығының өзгертілген нәтижелерін табуды келесідей анықтауға болады:

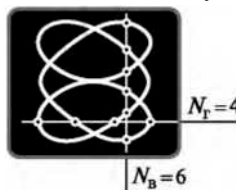
$$t_n = \frac{0,35}{f_y} = 35 \text{ нс}; t_f \sim 66 \text{ нс.}$$

4.4.2. Y — X режимі

Нәтижелердің қателіктерін бағалау бұл режимде де өз спецификасына ие. Оны Лиссажу пішіні мен эллипс әдістерімен пайдалану мысалдарын қарастырайық.

Лиссажу фигуралық әдісімен жиілігін өлшеу кезінде (салыстыру әдісінің іске асырылуының біреуі) ЭСО ерекше (несхарактеристік) рөлде пайда болады - нөлдік көрсеткіш ретінде, ол ыңғайлы жиілікті көрсетеді. Мұнда ауытқу коэффициенттерінің қателері (оның ішінде сызықтық емес) және осьтер бойымен есептелу қателігі маңызды емес, өйткені таразы мен сурет пропорциясы нәтижені анықтамайды, бірақ соңғы сандардың қатынасы (ақыл-ой бөліктерінің кескін нүктелері).

Қимылсыз кескінмен нәтижедегі қателік генератордың белгілі (анықтамалық) жиілігін орнату қателігімен анықталады. Егер, мысалы, А-ЭСО кірісіне белгісіз жиілік сигналы қолданылса және генератордың шығысы I -ға қосылса және оның кернеу жиілігін өзгерту арқылы тұрақты көрсеткіш алынады, өлшеу нәтижесінің абсолюттік қателігі генератордың жиілігін орнатудағы абсолюттік қателіктерге байланысты жиілік. Белгісіз жиілікті анықтаудағы салыстырмалы қателік осциллятордың жиілігінің салыстырмалы қателігімен сәйкес келеді. Мысалы, Лиссажу пішінді қозғалыссыз көрінісі (сурет 4.33) кірісте Y, f_y -1040 берілген Гц генератордың сигнал жиілігінде алынды. Бұл жиіліктің салыстырмалы қателігі $\delta_y = \pm 1 \%$.



Тік және көлбеумен пішіннің нүкте санына қатынасы $N_B / N_T = 6/4$, яғни белгісіз жиіліктің кірістегі X мәні мынаған тең:

Сурет 4.33. Жиілікті анықтаушы қателік

$$f_X = f_Y^N = 1040^6 = 1560 \text{ Гц.}$$

$$N \quad 4$$

Генератор жиілігінің абсолютті қателігі D_f мен белгісіз жиіліктің абсолютті қателігінің D_f - мәндері f_X мынаған тең:

$$\Delta y = (6d/y)/100 = (\pm 1 \cdot 1040)/100 = \pm 10,4 \text{ Гц;}$$

$$A_X = A_e \frac{1}{N_f} = \pm 10,4 = \pm 15,6 \text{ Гц.}$$

Генератор жиілігінің салыстырмалы қателігі δ және белгісіз жиіліктің бағасы f_X тең: $\delta = 8,4\% = \pm 1\%$.

Бұл эксперименттің нақты соңғы жазбасы келесідегідей бейнеленеді:

$$f_X = 1560 \text{ Гц; } D_d = \pm 16 \text{ Гц; } p_{\text{лов}} = 1.$$

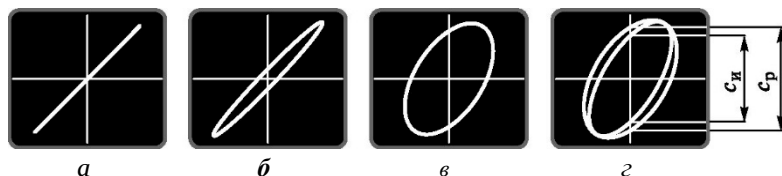
Эллипс әдісімен фазалық жылжуды өлшеудегі қате, алдыңғы жағдайға қарағанда, ЭСО арналарының сипаттамаларына байланысты. Аддитивті және мультипликатты құраушылардың Y және X каналдардың қателігі нәтижеге әсер етпейді, себебі кесінділердің ұзындығы a және b (немесе c және c' кескіндері) Φ анықтау үшін қажет (4.2 бөлімшені қара):

$$\Phi = \arcsin(tf/E) = \arcsin(c/d)$$

Аддитивті араласуға тәуелді емес, ал пропорционалдық өзгерістер олардың ұзындығының қатынасына әсер етпейді (a/b немесе c/d).

Сол себепті, эллипс әдісімен өлшенетін қателік нәтижесі Y және X каналдарының күшейткіштерінің фазалық қозғалыстың $D\Phi$ әртүрлілігімен және сызықтылықтың қателіктерімен ғана анықталады.

Әр түрлі фазалық қозғалыстың $D\Phi$ өлшеу қателігіне әсерін қарастырайық. Егер де екі каналда да фазалық қозғалыс бірдей болса (нақты қайсысы бәрі бір), онда $D\Phi$ нөлге тең болушы еді және бір синусоидалы сигналдың кірісіне бір мезетте жіберу кезінде экранда түзу сызықтың көрінісі көрсетілуші еді (сурет 4.34,а).



4.34-сурет. Екі каналдарының теңсіздігі мен теңдігі кезінде фазалық қозғалыстың қателігін анықтау: a , v , z — идеал жағдай; b , z — реал жағдай

Реалды ЭСО-да фазалық қозғалыстардың теңсіздігі байқалады, сондықтан бұл жағдайда экран бетінде түзу сызықтың орнына кішігірім (жіңішке) эллипс пайда болады (сурет 4.34,б).

Нәтижесінде реал өлшеуші экспериментте фазалық қозғалыстың (р бағасы бойынша зерттелуші сигналдардың арасында біз экран бетінде эллипсті аламыз (сурет 4.34,в), оның өлшемдері идеалмен сәйкес келмейді, ал тек фазалық қозғалыс ϕ пен айырмасын $\Delta\phi$ көрсетеді (яғни бірнеше үлкендеу болу). Реалды осциллограммада кескіннің ұзындығы s_p идеалмен салыстырғанда жоғары болады, ол фазалық қозғалыстың ϕ өлшемінде қателікке әкеледі (сурет 4.34,г). Қажет кезде бұл қателікті эксперименттің алдында тексеруге және нәтижесінде мәнін түзетуге болады.

4.5. ЭЛЕКТРОНДЫ-СӨУЛЕЛІК ОСЦИЛЛОГРАФ МЫСАЛЫ

ЭСО-ның универсал екі каналды С1-114/1 негізгі техникалық сипаттамаларды қарастырайық. Аспап электрлік сигналдардың параметрлерінің өзгеруі мен пішіндерін зерттеу үшін қажет.

С1-114/1 аспаптың негізгі техникалық сипаттамалары

Өткізу сызығы, МГц	0...50
Каналдардың саны	2
Экранның жұмысшы бөлігі, мм	80 x 100
Кіріс кедергісі, МО.м	1
Кіріс сыйымдылығы, пФ	25
ауытқу коэффициентінің мән диапазоны (У) 0,5 мВ/бөлг....2 В/бөлг.	
Ұңғы коэффициентінің мән диапазоны (Х) 5 нс/бөлг....0,1 с/бөлг.	
Ауытқу және ұңғы коэффициенттерінің қателігі, %	±3
Ауыспалы сипаттаманың өсу уақыты, не ...	7
Желіден тұтынатын қуат 220 В, 50 Гц, Вт	80
Габаритті өлшемдер, см	35x20x50
Масса, кг	12

Бақылау сұрақтары

1. ЭСО-ның экранында қандай көріністер бейнеленеді, егер:
 - а) дөңгелекті ұңғи ($Y - X$) режимінде генератордан синусоидалы сигнал бірдей болғанда кірісте $Y \approx X$ берілген;
 - б) Y кірісіне синусоидалы кернеу берілген, ал ұңғи генераторы сөндірілуі;
 - в) Y кірісіне ешқандай сигнал берілмейді (Y кірісі — тұйықталған), ал ұңғи генераторы қосулы және автотербелмелі режимде жұмыс істейді?

2. ЭСО экранында синусоидалды сигналдың көрінісі 4 бөлгіштен және периодтан тұратын амплитудадан тұрады. Ауытку коэффициентінің мәні келесідегідей: тігінен 0,1 В/бөлг.; көлденең 50 мкс/бөлг. Барлық қателіктерді ескере отырып, амплитуданы, периодты және зерттелуші сигналдың жиілігін анықтау.

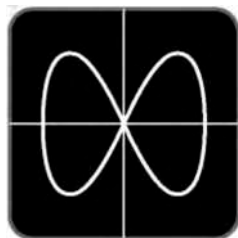
3. Синусоидалы сигналдың көрінісінде амплитуда 5 бөлікті, период 10 бөлікті құрайды. Ауытку коэффициентінің мәні: тігінен 0,2 В/бөлг.; көлденең 1,0 мкс/бөлг. Амплитуда сигналын өлшеудің қателігін анықтау, егер келесі ақпараттар белгілі болса: сигналдың қайнар көзінің кедергісінің шығысы $R_n < 10$ кОм; осциллографтың У күшейткіштің кіріс кедергісі $R_y = 1$ МОм; осциллографтың У күшейткішінің кіріс сыйымдылығы $C_y = 40$ пФ; кіруші кабельдің сыйымдылығы $C_k = 60$ пФ.

4. Тікбұрышты импульстің фронт ұзақтылығының осциллограммасы бойынша өлшеу нәтижелері $t_{\Phi} = 65$ не тең. Өткізілім сызығының жоғарғы шекарасы $f_{\text{св}} = 10$ МГц. Сигналдың реалды ұзақтылық фронтын бағалау x . Барлық қателіктерді ескеру қажет.

5. Күшейткіштің өсу уақыты $U_{\text{т.}} = 10$ не. Өткізу жиілігінің сызығының жуық жоғарғы шекараны табу.

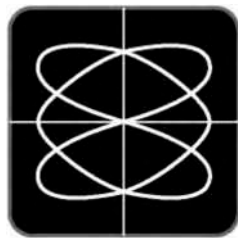
6. Эллипс әдісімен ϕ фазасын қозғалтуды өлшеу нәтижесін анықтау, егер кескіннің ұзындығы белгілі болса: $a = 34,5$ мм; $b = 69$ мм. Барлық қателіктерді ескеру.

7. ЭСО экранында суретте көрсетілгендей Лиссажу пішінінің қозғалмайтын көрінісі бейнеленген. Аспаптың Х кірісіне берілетін сигналдың белгісіз жиілігі f_x , белгісіз жиіліктің f_y абсолютті D_L және салыстырмалы δ_d қателіктің мәнін табу. ЭСО-ның К кірісіне $f_y = 2$ кГц жиілікті және $A_y = \pm 20$ Гц абсолют қателікпен генератордан синусоидалды сигналдар түседі.



8. сигналдың Т периодының өлшеу нәтижелерін табу, сонымен қатар абсолютті D_T және салыстырмалы δ_T қателіктер. Сәйкес периодтың кескін ұзындығы $L_T = 4,5$ бөлг. Каналдың Х үңгі коэффициентінің мәні $K_x = 100$ мкс/бөлг.; оның қателігі $5_v = \pm 2 \%$.

9. Суретте келтірілген ЭСО экранында Лиссажудың пішінінің қозғалмайтын көрінісі көрсетілген. Х аспаптың кірісіне берілетін сигналда белгісіз f_x жиіліктің мәнін табу, абсолютті D_d және салыстырмалы δ_d қателіктердің белгісіз жиілігін f_x анықтау. ЭСО-ның У кірісіне жиілігі $f_y =$



10. $= 6$ кГц синусоидалы сигнал түседі және абсолютті қателігі $D_T = +30$ Гц. Мүмкін болатын оңтайлы K_x үңгі коэффициентін таңдау ($K_x = 100$ мкс/бөлг.; 50 мкс/бөлг.;

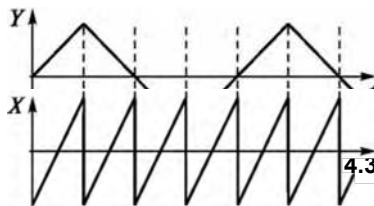
20 мкс/бөлг.; 10 мкс/бөлг.) импульстің $t_{\text{св}}$ ұзақтылығын өлшеу үшін жуық мәндер белгілі ($x_{\text{св}} = 400$ мкс). ЭСО-ның экран өлшемдері $Y \times X = (8 \times 10)$ бөлг.

11. Импульсті сигналдың / жиілігін анықтау, егер осциллограммадағы сәйкес Т периодтың кескін ұзындығы $L_T = 8$ бөлг. Жиілікті өлшеу нәтижесінде абсолютті A_f және салыстырмалы δ_f қателікті табу.

X каналдың ауытқу коэффициентінің мәні $K_x = 100$ мкс/бөлг.; бұл коэффициентінің қателігі $5_{\text{л}} = \pm 2\%$.

11. Экранда көріністің жарықтығы немен анықталады және оны қалай өзгертуге болады? Көріністің фокусировкасы қалай жүргізіледі?

12. «-3 дБ деңгейі» мағынасы нені білдіреді? Қай сигналдың төмендеуін процентте сәйкес келеді?



13. Ұңғидың күтуші режимінің артықшылығы қандай? Қандай жағдайларда оны пайдалану тиімді? Мысалдар келтіріңіздер.

4.3. МЕТРОЛОГИЯ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ЭСО экранында қандай көрініс болады, олар Y және X-пластинналарда көрсету белгілі (суретті кара)?

5.1. ЖАЛПЫ АҚПАРАТТАР

Өлшеуді тіркеу кезінде біз жеткілікті түрде үлкен көлемдегі ақпаратты жинақтау және сақтаудың тәртібін түсінеміз. Тұрмыстық тіркеуіш құралдың жақсы таныс мысалдары: медициналық сынапты термометр, индукциялық электр энергиясын өлшеуіш, спорттық-медициналық динамометр.

Бірақ бұл құрылғылар өлшенген мәннің тек біреуін (әдетте соңғысын) тіркейді, яғни тексеру объектісінің статикалық үлгілері үшін тіркеушілер болып табылады. Қарапайым фотоаппарат та өлшеуіш емес, статикалық жазу құрылғысына жатқызуға болады.

Кинематография, видеотехника да өлшеу құралы емес динамикалық тіркеу болып табылады. Аналогтық динамика әдістері мен тіркеу және өлшеу құралдарына түрлі аналогтық нысандарда ұсынылған үздіксіз енгізу құндылықтарының шексіз жиынтығы, сигнал (атап айтқандай көрінетін сурет) шығыс-кескіннің шексіз жиынтығы түрлендіріледі (қағаздағы диаграмма, магнитті жеткізушідегі жазба, экрандағы сурет және т.б.) жазылады.

Сандық әдістерге шексіз түрлендірілген дискреттік және кванттық мәні кіреді. Бұл жағдайда шығу туралы ақпарат аналогтық (дәлірек псевдо-аналогтық) пішінде ұсынылуы мүмкін.

Қазіргі уақытта аналогты жазудың (Analog Rekording) динамикалық зерттеу практикасында жиірек қолданылатын негізгі әдісі:

- қатты тасымалдағыш бетіндегі көрінетін жазба (қағаз, пленка);
- магнитті жеткізушідегі жазба;
- электр зарядын диэлектрикте сақтау.

Бірінші әдіс – өздігінен жазатын аспаптар мен жарық сәулелерінің осциллографтарында жүзеге асырылады. Екінші әдіс – аспап емес өлшеу түрлегіштері болып табылатын магнитографтар арқылы жүзеге асады. Үшінші әдіс – осциллографтың есте сақтау аналогы.

Қазіргі уақытта аналогты тіркеу үшін салыстырмалы түрде баяу өзгеретін айнымалыларды (t° , салыстырмалы ылғалдылық, қысым, электр параметрлері) өздігінен жазатын аспаптар арқылы тіркеу кең тараған.

Егер жоғары жеткілікті процестерді (герц жиілік жолағында жүздеген килогерц бірлігі) тіркеу керек болса жарық сәулелі осциллограф пайдаланылады. Көп арналы жазуды қаже ететін жағдайда өрістерде жұмыс істеу кезінде өлшеу мангитографтарды пайдаланылады).

Аналогтық тіркеу құралдарының санлық құралдарға қарағанда

бірқатар кемшіліктері бар: дәлдің қабілетінің әлсіздігі, (1,0-5 %) кіру арналарының санының жеткіліксіздігі, шапшаңдық қабілетінің төмендігі, сенімділігінің әдсіздігі (механикалық тараптар болуы салдарынан), жазба нәтижелерін автоматты түрде өңдеу мүмкіндігінің болмауы. Сонымен қатар оларды ақпаратты өлшеуіш жүйелерде және жүйелерді автоматты басқаруда пайдалану мүмкін емес.

Қазіргі заманғы өлшеу техникасын негізгі үрдісі – өлшеу, тіркеу, талдау, сандық әдістермен және құралдармен қамтамасыз ету.

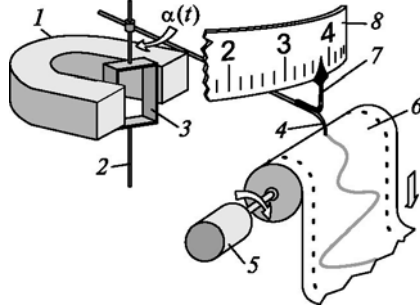
Сандық өлшеу тіркеушілерінің маңызды артықшылықтарының бірі – тіркеу рәсімін автоматтандырылған сандық талдауға жедел өткізу.

Сандық және аналогтық микроэлектроникалық дамуы (схемотехника, технология) арқылы есептеу техникасы үшін сандық шешімдері тіркеу процесінің тез төмендеуі, сандық әдістері мен құралдарын қолдану облысы кеңейтіледі. Демек, аналогтық тіркеушілер рөлі болашақта төмендей береді.

5.2. *Өздігінен жазатын аспаптар*

Аналогтық өздігінен жазатын аспаптар электромеханикалық және электронды бөліктерге бөлінеді. Электромеханикалық өздігінен жазатын аспаптарда электрлі көлемді түрлендіргіштердің әр түрлі жүйелері арқылы механикалыққа айналдыруға болады. Бірақ көбінесе бұл магнитті-электрлік өлшеу механизмі.

Қарапайым электромеханикалық (магнитті-электрлік) жазу құралы (5.1 сурет) ағымдағы жылжымалы катушкалардың өзара іс-қимылына негізделген қарапайым жұмыс қағидасы



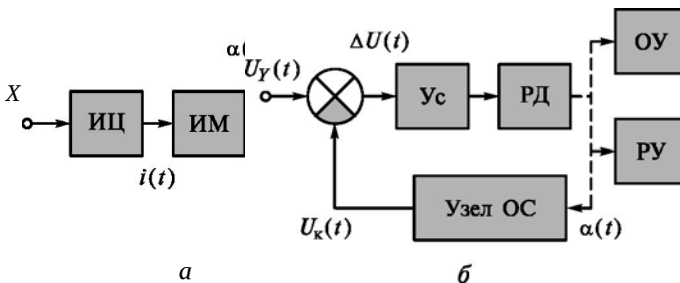
5.1-сурет. Электромеханикалық жазу құралының оңайтылатын құрылғысы:

1-тұрақты магнит; 2-ось; 3-катушкалар; 4-қалам; 5-қозғалтқыш; 6-қағаз; 7-бағыт көрсеткіші; 8-шкала

Қозғалыс – 2 осьте бекітілген 3 катушканың а (1) бұрышта айналуы 7 бағыт көрсеткіші және 8 шкала 4 қалам мен 6 қағаз арқылы, сондай-ақ тіркеу құралы арқылы есептеу қондырғысына беріледі, 5 қозғалтқыш білігінің айналуы арқылы іске асады.

Электромеханикалық жазу құралының жалпылама құрылымы 5.2 а суретте көрсетілген. Кіріс сигналы $x(t)$ өлшеу тізбегіне беріледі де ағымдағы қосалқы түрлендіру арқылы өлшеу механизміне жеткізіледі. Өлшеу механизмі есептеу құрылғысының мәнін және жазу құралының жағдайын анықтайды.

Қарапайым магнитті-электрлік механизмнің барлық артықшылықтары өзі жазатын аспаптарда сақталған, бірақ үлкен айналмалы момент салдарынан (себебі – жазу оганының қағазға қатты үйлесінен) ірі мөлшерде



5.2-сурет. Обобщенные структуры электромеханического (а) и электронного (б) СП

зерттелетін сигнал көзінен мол қуат жұмсалады. Электромеханикалық дәлдік класының типтік мәндері -0,5-2,5 %. Анықталған сигналдар жиілігің диапазоны салыстырмалы түрде тар болып саналады -0,5 Гц. Электронды жазу құрылғылары электромеханикалық жазу құралдарынан құрылымы және конструкциясы жағынан ерекшеленеді.

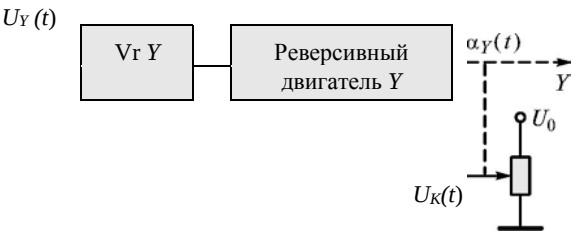
Классикалық магнитті-электрлік өлшеу механизмі реверсивті қозғалтқышта ауыстырылған, сол сияқты сызбада әртүрлі сәйкес өлшеу құралдары бар (мысалы, күшейткіштер, үзік кернеуді тұрақты кернеуге айналдарғыштар)

Уақытты сканерлеу электромеханикалық жазу құралдарындағы сияқты жүзеге асады, яғни қағазда біркелкі қозғалатын қосымша қозғалтқыш арқылы.

Электрондық жазу құралдарының жұмыс істеу принципі өтемдік кернеуді өзгерту арқылы жүзеге асады, сол арқылы электромеханикалық кері байланыс кернеуді өзгертеді.

Кіріс және өтемдік сигналдардың айырмашылығы күшейткішке сигнал ретінде түседі, оның шығуы у кернеуі реверсивті қозғалтқышты бақылайды. Пайда болған айналдыру бұрышы есептеу құрылғысы мен тіркеу құрылғысының көрсеткішін анықтайды. Өтемдік кернеу түйінді қалыптастырады және күшейткіш мәні ерекшеленетін, барынша күшейткіш кірісіндегі потенциалдар айырмасын азайтады.

Кері байланыс түйіні қозғалтқышы реохорд арқылы іске асу мүмкін. Теңдестірудің сапасы және статикалық сипаттамалар күшейткіш және теріс кері байланыс торабы арқылы анықталады. Электрондық зерттелген сигналдардың жоғарғы жиілігі 0,5-2 Гц мәнімен сипатталады.



5.3-сурет. Реализация отрицательной обратной связи

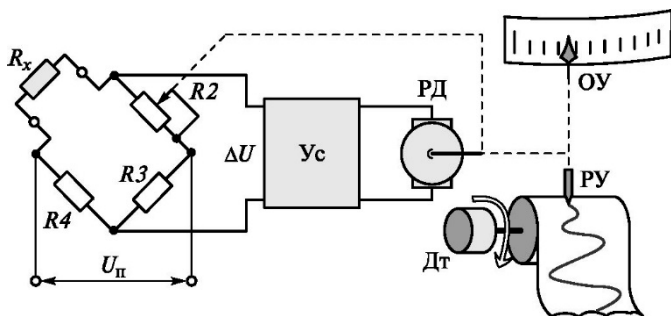


Рис. 5.4. Автоматический мост

Тағайындалуына байланысты құралдың құрылымы әсіресе кіріс тізбектері ерекшеленуі мүмкін. 5.4-суретте қолданыстағы кедергілерді тіркеуге арналған автоматты көпірдің ықшамдалған құрылғысы көрсетілген (мысалы, кедергі термометрлерінің көмегімен температураны жазу үшін).

R_x резистивті тетік көпір тізбегіне (теңгерілген көпірге) кіреді, оның шығу кедергісі R_x кедергісі өзгерген кезде ΔU әлеуетті айырмашылықты туындатады. $Ус$ күшейткіш осы айырмашылықты күшейтеді және оны бір мезгілде $ОУ$ оқуға арналған құрылғы көрсеткішінің орналасуын, $РУ$ құрылғысының қаламды тіркеуін және $R2$ реохорд қозғалтқышының орналасуын басқаратын $РД$ реверсивті қозғалтқышына жібереді. Уақыт бойынша диаграммалық қағаздың қашауын $Дт$ қозғалтқышы жүзеге асырады.

Осылайша, электромеханикалық теріс кері байланыс арқасында AU әлеуетті айырмашылық нөлге дейін созылады, көпір автоматты түрде теңдестіріледі, $ОУ$ және $РУ$ көрсеткіштер R_x кедергісіне және сәйкесінше өлшенетін мәнге пропорционалды.

Тұрақты мәндерге (көбінесе – орташа квадраттық) кіріс периодтық кернеулер мен токтардың түрлендіргіштерін қамтитын $СП$ үлкен санаты бар. Шынында механизмнің динамикалық мүмкіндігімен (әдетте Герцтің бірліктері) осындай $СП$ кіріс түрлендіргіштерінің (әдетте – бірнеше бірлікке дейін – ондаған килогерц) жиіліктік қасиеттерін шатастырмау керек.

Осы тіркеуіш санатының ағылшын тіліндегі терминдері: Recorder, Paper Recorder, K— T Recorder.

$СП$ кейбір үлгілерінде термалды (жылу) тіркеу пайдаланылады. Бұл жағдайда $РУ$ өзімен жылу қозғалтқышты (жылу қауырсынын) білдіреді, ол жылжып, көрінетін із қалдырып, термосезімталдық тасымалдауышқа (термалды қағазға) әсер етеді.

Жоғары жылдамдықты жазу құрылғылары (ЖЖЖҚ) әдеттегі $СП$ айырмашылығы жоғары жылдамдыққа ие. Әдеттегі $СП$ жеткіліксіз жақсы динамикасы кең жолақты жиілікті қамтамасыз ететін құрылымдық және технологиялық шешімдерді іздеуге мәжбүр етті. Бұл шешімдердің негізінде күшейтілген қарсы іс-қимыл жасайтын сәтін

пайдалану және жылжымалы бөлік тербелістерінің қарқынының (амплитудасының) қасақана азаю жатыр. ЖЖЖҚ зерттелетін сигналдардың жиілік диапазоны $0 \dots 150$ Гц. Сиялы жазуға негізделген ЖЖЖҚ түрі бар (зарядталған бояу ағынының өзгеретін электр өрісі арқылы ауытқу). Мұндай құрылғылар механикалық жүйеге қарағанда қозғалатын бөліктің (ағын) аз массасының арқасында одан да жоғары динамикалық сипаттамаларды (2 кГц-ге дейін) қамтамасыз етеді. Дегенмен, олардың күрделі құрылымына және қызмет көрсетудің ерекшелігіне байланысты олар кең таралмаған.

Екі координаттық жазу құрылғысы (ЕКЖҚ) негізінен $X(t)$ және $Y(t)$ өзгеретін сигналдарының функционалдық тәуелділіктерін құру үшін арналған. Мұндай құрылғы сипат суреттегіш, құрастыруға арналған құрал ретінде әрекет ете алады, мысалы, әртүрлі төрт порттардың кіріс-шығыс тәуелділігін құру құралы.

ЕКЖҚ құрылымы (5.5-сурет) (Y және X) екі координаттар бойынша қаламның қозғалысын қамтамасыз етеді. Қалам 6 (қалам, шыны капилляр және қарындаш және т.б.) бекітілген күймеше 7, реверсивті қозғалтыш 3 және созылмайтын жіптің арқасында тақтай (2) бойынша жылжиды. Бұл қаламның ордината осі (Y осі) бойынша орналасуын анықтайды. Тақтай 2 оған орналасқан күймешемен екінші реверсивті қозғалтқыш 4 тірегі айналу кезінде параллель-прогрессивті жылжуы мүмкін, ол қаламның абсцисс осі бойынша (X осі) орналасуын анықтайды. Бұл құрылыстағы қағаз парағы 5 жылжымайды және тіркеу аяқталғаннан кейін екі координаталық бейнесі бар.

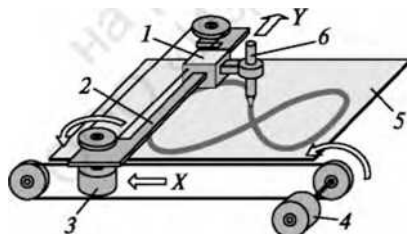
ЕКЖҚ құрылымы сәйкесінше ордината және абсцисс осьтері бойынша ауытқуларды қамтамасыз ететін $Y(t)$ және $X(t)$ теңгеруші түрлендіргіштің әдетте бірдей арналарын қамтиды (5.6-сурет).

ЕКЖҚ құрылымы сәйкесінше ордината және абсцисс осьтері бойынша ауытқуларды қамтамасыз ететін $Y(t)$ және $X(t)$ теңгеруші түрлендіргіштің әдетте бірдей арналарын қамтиды (5.6-сурет).

ЕКЖҚ динамикалық сипаттамалары СП электронды сипаттамаларына ұқсас.

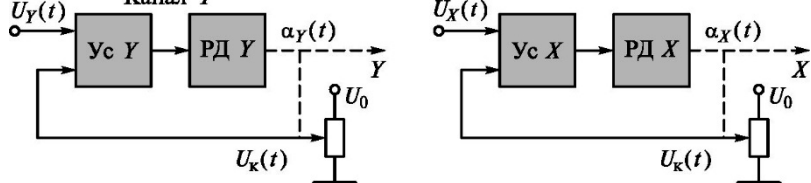
Осьтердің бірі бойынша қағаз беті жылжитын ЕКЖҚ құрылымының түрлері бар (5.7-сурет).

Бұл жағдайда оған бекітілген реверсивті қозғалтқышы 3 бар тақтай 2 жылжымайды. Тақтай бойынша қалам бар 6 / күймеше орналасады (алдыңғы нұсқадағыдай), ол Y осі бойынша қаламның орналасуын анықтайды. Қаламның қағаз бетіне 5 қатысты X осі бойынша орналасуы беттің 5 өзін орналастырумен анықталады.



5.5-сурет. Екі координаттық жазу құрылғысы:

1 — күймеше; 2 — тақтай; 3 — Y осі бойынша реверсивті қозғалтқыш; 4 — X осі бойынша реверсивті қозғалтқыш; 5 — қағаз; 6 — қалам (фломастер)



Бұл функцияны реверсивті қозғалтқыш 4 және қыспақтау роликтері 7 орындайды. Тіркеудің соңғы нәтижесі тура сондай – екі координаталық сурет ($Y-X$). Осындай құрылымның кейбір артықшылығы X жолының аз механикалық инерциясы болып табылады, себебі тасымалданатын қағаз парағының салмағы оған бекітілген қозғалтқыш және қаламы бар күймешенің тақтай жолының жалпы салмағынан аз.

Екі координаттық жазу құрылғысы әдеттегі СП режимінде де ($Y-T$ режимінде) қолданылуы мүмкін. Ол үшін $X(t)$ арнасының (әдетте ауысымдық блоктың) орнына жайылатын сызықтық өзгертетін кернеудің арнасы (ауысымдық блок) қолданылады.

Отандық ЕКЖҚ мысалы ретінде «Краснодарский ЗИП» сериялық БҚ шығарылатын Н-306 құралы қызмет етуі мүмкін.

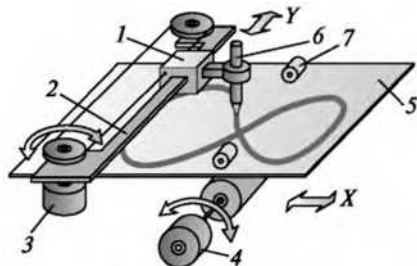
Н-306 ЕКЖҚ негізгі сипаттамалары

Жұмыс уақыты	$Y-X$, $Y-T$
Жұмыс өрісінің өлшемі, мм	200x300
Жиіліктердің жұмыс диапазоны, Гц	0... 1
Сезімталдық, В/см.....	0,05... 10
Қашау коэффициенті ($Y-T$ режимі), с/см.....	0,25...50
Қаламды жылжытудың максималдық жылдамдығы, мм/с	750
Статикалық қателігі, %	$\pm(0,5... 1,5)$
Ауысымдық функционалдық блоктар саны	6

Плоттерлер (Plotters) деп аталатын сыртқы түрі бойынша ЕКЖҚ ұқсас құрылғылар бар, олардың кіріс сигналдары ретінде цифрлық (логикалық) сигналдар қызмет етеді. Плоттер толық өлшемде өлшеу құрылғысы емес, бірақ есептеу техникасының құралдарына арналған графикалық шығыс үшін *шеткері* құрылғы ретінде әрекет етеді.

Қазіргі уақытта тіркеу нәтижелерін сигналдың диаграммасы түрінде қағаздағы – **цифрлық өлшеу тіркеуіштерін** (Transient Memory Recorder, ADC Recorder) бере алатын аспаптардың тағы бір жеке санаты кең таралған. Бірақ мұндай құрылғылардың ішкі мазмұны толығымен ерекшеленеді

5.7-сурет. Екі координаттық СП құрылысының нұсқасы:

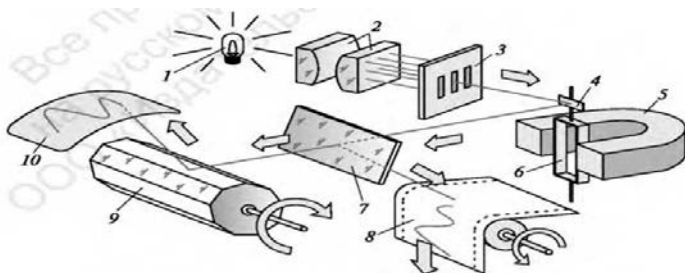


1 — күймеше; 2 — тақтай; 3 — У осі бойынша реверсивті қозғалтқыш; 4 — Х осі бойынша реверсивті қозғалтқыш; 5 — қағаз; 6 — қалам (фломастер); 7 — қыспақтау роликтері

Олардың негізгі түйіндері аналогтық-цифрлық түрлендіргіш (АЦТ) және айтарлықтай үлкен көлемді сақтау құрылғысы болып табылады. Мұндай тіркеуіштердегі зерттелетін сигналдардың жиілік жолағы АЦТ жылдамдығымен анықталады және әлдеқайда кең (ол ондаған мегагерц бірліктеріне жетуі мүмкін). Содан кейін кодтардың тіркелген массиві қағаздағы кіріс сигналының графикалық түріне түрленеді.

5.3. ЖАРЫҚ СӘУЛЕЛІК ОСЦИЛЛОГРАФТАР

Жарық сәулелік осциллографтар динамикасы (СО) СП жазу құрылысына қарағанда әлдеқайда жақсырақ, өйткені СО осциллографтық гальванометрінің жылжымалы бөлігінің (жиектемесінің) салмағы орауыш салмағы мен СП қозғалтқышының роторынан айтарлықтай аз. Әрине, жарық жылдамдығын ауытқу ОУ көрсеткісін, тіпті одан да көп РУ жазу органын бұруға қарағанда оңай (мысалы, шыны капилляр).



5.8-сурет. Жарық сәулелік осциллограф құрылғысы: 1 — жарықтың көзі; 2 — конденсор; 3 — диафрагма; 4 — айна; 5 — тұрақты магнит; 6 — жиектеме; 7 — күңгірт айна; 8 — фотоүлдір (фотоқағаз); 9 — айнасы бар көп қырлы дене; 10 — бұлыңғыр экран

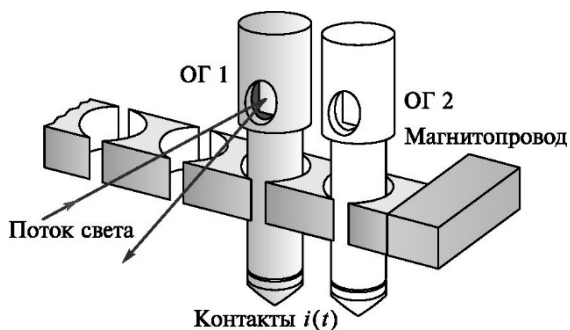
СО негізінде (5.8-сурет) магнитті электр механизмінің классикалық қағидаты – тұрақты магнит 5 жолы бар гальванометр жиектемесінің 6 тоғына өзара әрекеттесуі жатыр. Жиектеме созылған қатты кергілерде ілініп тұрады, олардың біреуінде кішкентай айна 4 бекітілген (әдетте фольганың бөлігі). Жиектеменің айналуы (және, сәйкесінше, айнаның) айнаға түсетін жарық ағынының ауытқуына және жарық сешгіш тасымалдауыштағы 8 (фотоқағаздағы немесе фотоүлдірдегі) және/немесе бұлыңғыр экрандағы 10 жарық таңбасының ауытқуына алып келеді. Уақыт бойынша қашау тасымалдауыштың теңдей қозғалысы (қағаздар, үлдірлер) және айнасы бар көп қырлы дененің 9 айналуымен жүзеге асырылады. Жарық ағыны дереккөзбен 1 (спектрі әдетте ультракүлгін аймаққа араласады), конденсормен 2 (оның міндеті параллельді ағындарды бөлу болып табылады) және диафрагмамен 3 (жеке гальванометр – арнаға арналған жіңішке байламдарды «қию» үшін арналған) қалыптастырылады.

Осциллографтық гальванометр (ОГ) — Oscillographic Galvanometer — жиектеме, ағымдар, ағымдық жолдар, айнаны қамтиды. Оның жіңішке жарық сәулесіне арналған мөлдір терезесі бар бөлінбейтін құрылым түрінде жасалған және ұзындығы 60...90 мм және диаметрі 4...6 мм шағын цилиндр болып табылады. ОГ корпусы магниттік емес материалдан жасалған, бірақ оған жалпы магниттік тізбектің элементтері салынған. Сұйық тыныштандырғышты пайдаланған жағдайда, ОГ корпусы белгілі бір тұтқырлығы бар бейорганикалық таза сұйықтықпен толтырылған.

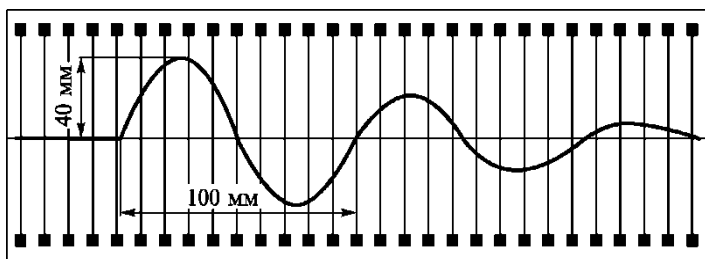
Жарық сәулелі осциллографтар — көп арналы аспаптар, сондықтан бірнеше ОГ қамтиды (мысалы, 12).

Барлық ОГ құрылымдық жағынан жалпы магнит тізбегімен біріктірілген. СЖ10 жалпы магнит тізбегінде ОГ орналасуы 5.9-суретте көрсетілген.

ОГ маңызды сипаттамасы нүктелік ауытқудың фотоүлдірдегі (қағаздағы) немесе осы ауытқуды тудыратын экрандағы тоққа қатынасына байланысты анықталатын оның S сезімталдығы болып табылады. Нүктенің ауытқуы тек қана ағымдағы тоқтың ОГ емес, сондай-ақ «сәуленің ұзындығына», яғни айнадан үлдір (қағаз) немесе экранға дейінгі арақашықтыққа тәуелді. Сондықтан сезімталдықтың мәнін сәуленің ұзындығына $L = 1$ м келтіру қабылданған.



5.9-сурет. Магнит
тізбегіндегі
гальванометрдің
орналасуы



5.10-сурет. Сигнал жазу мысалы

Сезімталдықтың өлшемділігі келесі түрде көрсетіледі, мысалы, $5 = 20$ мм/(мА-м). Кейде ОГ құжаттық деректерінде сезімталдық кері шама – ОГ тұрақтысы беріледі. Сезімталдықтың мәнін біліп және тіркеудің нәтижесін алып, тәжірибе жүргізу кезінде ОГ өтетін токтың ағымдық мәнін анықтауға болады. Егер СО көмегімен қандай-да бір сигнал тіркелген, ОГ сезімталдық мәні мен фотоүлдірдің (қағаздың) жылдамдығы белгілі болса, онда негізгі параметрлерін табуға болады. 5.10-суретте токтың өзгеруінің кейбір өтпелі үрдістерін жазу мысалы келтірілген.

Біз $I_{\text{ср}}$ амплитудалық мәні мен осы сигналдың T тербеліс кезеңіне қызығушылық танытайық делік. Осы параметрлердің сызықтық өлшемдері диаграммада тең, сәйкесінше, 40 және 100 мм. ОГ сезімталдығы белгілі: $S = 20$ мм/(мАм), фотоүлдір қозғалысының жылдамдығы $v = 500$ мм/с, сәуленің ұзындығы $L = 1$ м. Барлық қателіктерді елемей, бізді қызықтыратын параметрлерді табайық. Токтың амплитудалық мәні $I_{\text{ср}} = 40$ мм мА-м/(20 мм -1 м) = 2 мА. Сигнал тербелісінің кезеңі $T = 100$ мм-с/500 мм = 0,2 с тең.

ОГ кейбір сериялық модельдерінің сипаттамалары

Гальванометр типі.....	M 004-7	M 042-30
Меншіктік жиілік F_0 , Гц.....	7000	45 000
Жиіліктің жұмыс диапазоны, Гц.....	0...5000	0...30000
Сезгіштігі мм/(мА-м)	20	0, 2
Ішкі кедергісі. Ом	16	200
Максималды ұйғарымды уақыт, мА ...	130	30

Эксперимент үшін ОГ таңдай отырып, ең алдымен оның амплитудалық-жиілікті сипаттамасын басшылыққа алу керек. Бұл әсіресе жоғары гармоникалы синусоидалық емес зерттеулер кезінде маңызды. Содан кейін жеткілікті өлшемдегі амплитудалық параметрлерді алу үшін қажетті сезгіштікті анықтайды. Бұл кезеңде тұйықталуларды немесе қосқыш кедергілерді қолдану қажеттігі туындауы мүмкін. Және, соңында уақыттық параметрлерді дұрыс оқуды қамтамасыз ететін және жеткілікті ұзақтықтағы фрагмент процесін жазуға мүмкіндік беретін тасымалдаушы қозғалысының жылдамдығын береді.

СЛО негізгі артықшылықтары:

- Көп арналығы (бірқытта 30 сигналға дейін тіркеле алады);
- Зерттелетін сигналдардың қатты көшірмелерін алу мүмкіндігі;
- Зерттелетін сигналдар жиіліктері (30 кГц дейін) жолағының кеңдігі (СП салыстырғанда);
- Тіркеуші орган мен тасымалдаушының механикалық контактісінің болмауы.

СЛО негізгі кемішіліктері:

- Оптика-механикалық құрылымының күрделілігі және айтарлықтай жоғары емес сенімділігі мен жоғары бағасы;
- Алынатын нәтижелерді жоғары емес нақтылығы (пайыздар бірлігі);
- Сигналдар жиіліктері жолағының тарлығы (электр-сәулелі осциллографта мен магнитографтамен салыстырғанда) ;
- Оларды қосымша өңдеуге арналған арнайы шығын материалдарының қажеттілігі (фотоқағаз немесе пленка) және (мүмкін);
- Зерттелетін сигнал көзінен қуатты салыстырмалы көп тұтынуы.

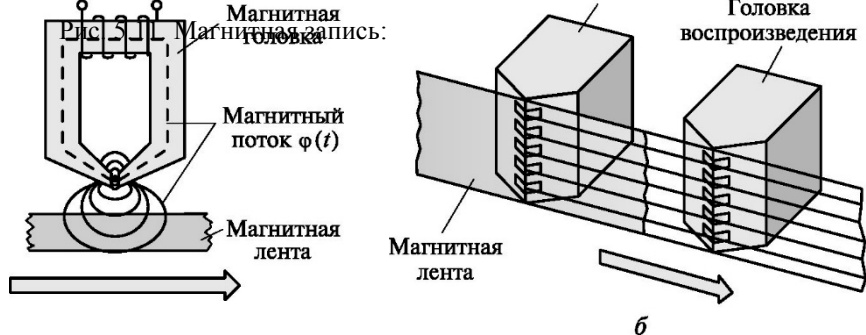
Ағылшын тілді терминология СЛО — Oscillographic Recorder, Ultra-Violet (U-V) Recorder.

5.4. ӨЛШЕУШІ МАГНИТОГРАФТАР

Жоғарыда айтылған тіркеуіштерден қарағанда өлшеуші магнитографтар — ИМГ (Magnet Tape Recorder, Tape Recorder) — аспаптар емес, өлшеуші түрлендіргіштер болып келеді, себебі есептік жабдықтары (индикаторлар) жоқ.

Магниттік жазу принципі (5.11-сурет) магнит өрісінің тасымалдаушы материалдағы (лента, сым) магнит өрісінің (ауыспалы тоқтың көмегімен пайда болатын) орнына әсерін негізге алады.

Магнит басының негізгі элементі - оған орамдағы магнит тізбегі (5.11,а суретін қараңыз). Катешкада ауыспалы тоқтың өтуі кезінде $f(t)$ магнит сымында магниттік өріс $\Phi(t)$ пайда болады. Магнитсымы кішігірім ауалы саңылауға ие, онда өріс сызқтарының $\Phi(t)$ магнит күштері жұтылады. Бұл ауалы саңылау магнитті тасымалдағыштармен әсерлеседі, олардың домендері магнит өрістеріне әсер етіп және өз орналасуларын өзгертеді. Сөйтіп, егер тасымалдағыш біркелкі қозғалса, онда саңылауда магнит өрісінің бұл уақыт мезетіндегі барлық мәндер сақталады. Себебі заманауи ИМГ-лар көбінесе көп каналды, онда жазбаның магнитті бастары (ГЗ) бірнеше бөлек өзіндік элементтерді құрайды (сурет 5.11, б).

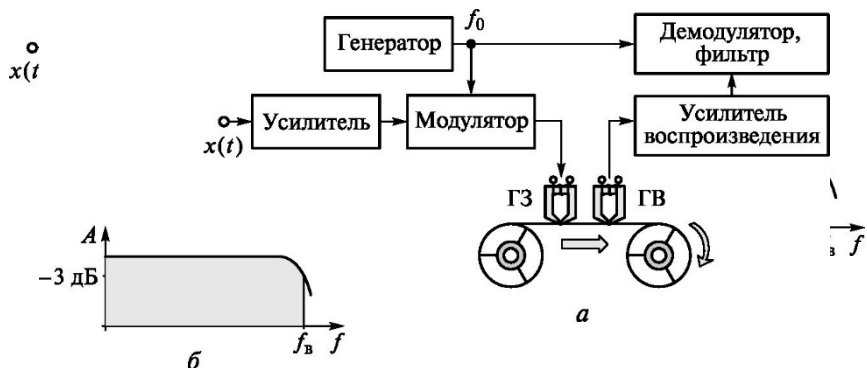


Сондықтан тасымалдағышта (магнитті лентада) зерттелуші процестердің жазбасында бірнеше синхронды кіріс сигналдарымен жазылған тәуелсіз жолдар түзіледі.

Құрылымы жағынан жаңғырту бастары (ГВ) жазу бастарымен аналогты түрде бірдей, бірақ олардың міндеттері тасымалдағышта сақталған ақпараттарды жаңғырту. Тасымалдағышта магнитті домендердің орналасуы жазылған ақпараттарды сақтайды, ол ГВ-да жарықтандырылады. ГВ шығу сигналдарының өзгеруі кіріс токтардың $I(t)$ ертерек жазылған жазбаларына пропорционал.

Аналогты ИМГ-да магниттік жазудың екі әдісі пайдаланылады: тік жазба (Direct Recording — DR) және модульденген (жиі жиілікті-модульдендірілген — ЧМ, Frequency Modulation — FM) сигнал жазбалары.

Бірінші әдіс (тура жазба) қарапайым жабдықты қамтамасыз етеді (сурет 5.12, а), бірақ бірнеше кемшіліктері бар — зерттелуші сигналдардың жиілік сызықтары нөлден емес, бірнеше жүз герцтан



5.13-сурет. Жиілікті-модульденген жазушы магнитограф: а — оңтайланған құрылым; б — түрлендіру сипаттамасы я

басталады (сурет 5.12, б), себебі төменгі жиіліктерде магнитті өрістің туындысы (яғни уақытқа байланысты өзгеруі) тасымалдағыштың магнитті домендеріне әсерлесу үшін жеткіліксіз аз.

Екінші әдіс (жиілікті-модульдеуші жазба) жоғарғы жиіліктерде кіріс сигналының спектрін алмастыруына негізделген, сондықтан ЧМ-жазуымен ИМГ баяу өзгертетін (тіпті тұрақты) сигналдарды ғана тіркей

алады (сурет 5.13).

(Екі нұсқада да жиілік сызықтарының жоғарғы шекарасы бір біріне өте жақын және ондықтарды, жүздіктерді, тіпті бірлік мегагерцтері ғана құрайды.

Кейінгі кезде ИМГ-лердің сипаттамалары өте әр түрлі. Лентаның жылжу жылдамдығы: секундына бір миллиметрден секундына 1 метрге дейін. Лентаның ені (сымның диаметрі): миллиметрден 1 сантиметрге дейін. Тіркеудің мүмкін уақыты: бірнеше секундтан бірнеше тәулікке дейін. Жабдықтың салмағы: жүздеген грамдардан килограмдарға дейін. ИМГ-нің негізгі артықшылықтары:

- көп каналдылық (бір уақытта 40 каналға дейін жаза алу);
- дала жағдайында жұмыс жүргізе алу;
- салыстырмалы түрде жиілік диапазонының кеңдігі;
- тіркеу интервал ұзақтылығы;
- тіркеуші ақпараттың көп көлемдігі;
- жазу ақпараттарын ұзақ уақыт энергия көзінсіз сақтау.

ИМГ-нің негізгі кемшіліктері:

- механикалық түйіншектердің барынан салыстырмалы түрде төмен беріктілік;
- тіркелген сигналдарды тікелей көре алмаушылық (сигналдардың көріністерінің жоқтығы);
- салыстырмалы түрде төмен дәлділік.

Ресейде сериялық түрде шығарылған Н 046 магнитографтың негізгі техникалық сипаттамалары

Жазу режимі.....	Тура; ЧМ-жазба
Магниттік лентаның ені, мм.....	12,7
Жиіліктің жұмысшы диапазоны (тура жазба), кГц.....	0,3... 64
жиіліктің жұмысшы диапазоны (ЧМ-жазба), кГц	0... 16
лентаның қозғалу жылдамдығы, см/с	9,5; 19; 38; 76
каналдар саны	7

Атап өтейік, ИМГ-нің өлшеу міндеттерімен қатар ұшақтарда және кемелерде қара жәшіктер ретінде де пайдаланылады. Бұл жағдайда олар негізгі агрегаттарды, барлық бұйрықтар мен негізгі базамен экипаждың сөйлесулерін әр түрлі ақпараттарды тіркейді.

Пайдаланушы сигнал мен артынша сандық магнитті жазбаны аралық аналогты-сандық түрлендіруге пайдаланылатын магнитті тіркеулердің түрлері бар. Бұл аппараттарда метрологиялар тек қана аналогты түрлендіргіш сигналдарды ғана емес, сонымен қатар АЦТ-ның сипаттамаларын анықталады.

5.5. АНАЛОГТЫ ЖАТТАУШЫ ОСЦИЛЛОГРАФТАР

Бұрын енгізілген «тіркеу» ұғымы негізінде аналогты сақтау осциллографтар (АЗО) өлшеу құралдарына сілтеме жасайды, дегенмен бұл танылмайды, себебі ақпаратты сақтау уақыты жеткіліксіз. Екі қарапайым физикалық принциптер АЗО-ның әрекетіне негізделеді: диэлектриктен «нысаналы» электрондардың екінші шығарылым феномені және диэлектриктегі зарядты ұзақ сақтау.

Жаттаушы электронды-сәулелік құбыршаның жабдығы бойынша (ЗЭЛТ) — Storage X-Ray Tube — қарапайым ЭЛТ-дан қосымша электронды-сәулелік түйіндінің, сонымен қатар қосымша электродтардың – «нысан» және коллектордың бар болуы. «Нысан» ішкі коллектор мен экранның арасында орналасқан, ол диэлектриктің қабатымен қапталған ұсақ құрылымды (0,1...0,2 мм тең ұяшық өлшемдері) металды торды құрайды. Нысан потенциалы теріс және бірнеше жүз вольтті құрайды. Коллектор және де металды торды құрайды (қадам 1...2 мм), ол аздау (жүздеген вольт) оң потенциалға ие.

ЗЭЛТ операциясын екі фазада ұсынуға ыңғайлы: біріншісі - *есте сақтау фазасы* (іс жүзінде тіркеу), екіншісі - *оқу кезеңі*. Алғашқы кезеңде, әдеттегі ЭЛТ-нің әрекетін еске түсіргенде, электронды сәуле (негізгі ағын) жоғары жылдамдықпен мақсатқа жетеді және коллекторларды жинайтын соққы учаскелеріндегі қайталама электрондарды соқтырады. Тоқтатылған электрондардың саны құлағандарға қарағанда әлдеқайда көп (қайталама эмиссия коэффициенті біреуден көп), сондықтан хит нүктелерінде оң заряд қалады. Негізгі электрондық ағынының іздері зерттелетін сигнал туралы ақпаратты тасымалдайтын мақсатты бетке оң зарядтардың траекториясын қалыптастырады.

Екінші кезеңде мақсат нысан бойынша траектория ашық болатын баяу электрондардың диффузиялық ағындары арқылы сәулелендіріледі және бүкіл мақсат (теріс зарядталған) мөлдір емес. Осылайша, траекторияның көшірмесі экранның фосфорында пайда болады (және жарық уақытында сақталады), яғни зерттелетін сигнал бейнесі. Зарядты сақтау уақытының ұзақтығы бірнеше сағаттан бірнеше аптаға дейін болады, бірақ ойнату (оқу) уақыты аз: минуттар бірлігі - сағат бірлігі. Мұны оқу үдерісінде жарықтандыру кезінде мақсатқа сай сақталған мақсаттың реестрлеуін (диффузиясын) жеделдету түсіндіріледі.

АЗО-ның негізгі сипаттамалары дәстүрлі аналогты (электронды пучок) осциллографтардың тиісті сипаттамаларына ұқсас. АЗО-ның салыстырмалы түрде жоғарғы динамикалық сипаттамалар (жүздеген мегагерцтен бірлік гегарецке дейін) амплитудалық және уақыттық сипаттамалардың өлшеу нәтижелерінің дәлдігі көп емес (квалификациялық операторлар кезіндегі бірлік проценттер). АЗО құны қарапайым ЭСО-мен салыстырғанда арнайыландырылған құбыршаның арқасында әлде қайда қымбат, жұмыс істеу мерзімі төмен, беріктілік аз,

массасы мен габариттері үлкен.

Отандық АЗО-ның екі моделінің негізгі сипаттамалары		
Осциллографтың түрлері	 С 8-9 А	С 8-12
Жазу жылдамдығы, км/с	100	4000
Жаңғырту уақыты.....	1 мин	40 с
Сақтау уақыты, сағ	16	40
Жиіліктің сызығы, МГц.....	0...2	0...50
Амплитудалық және уақытша		
өлшеу қателігі, %.....	 +(5... 10)	±(5... 10)

Ағылшынша синонимдер: Analog Storage Oscilloscope, Storage Scope. Сандық осциллографтардың пайда болуымен және кеңінен пайдалануы арқылы (Digital Storage Scopes) АЗО-ның маңызы мен ролі күрт төмендеп кетті.

5.6. АНАЛОГТЫ ТІРКЕУЛЕРДІҢ МҮМКІНШІЛІКТЕРІН САЛЫСТЫРУ

«Жылдам жұмыс істеу – дәлдік» қатынасын салыстыру, яғни тіркеушілердің негізгі сипаттамалары 5.14 суретінде көрсетілген.

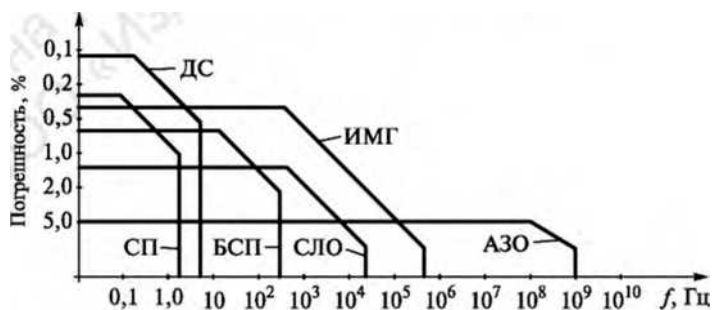
Диаграмманың жалпы сипаты өлшеу техникасының әйгілі ережесімен жақсы келісіледі - «сіз дәл жеңіске жетесіз - жылдамдықпен жоғалтасыз» («механиканың алтын ережесі» сияқты) және тіркеу экспериментіне арналған құралды алдын-ала таңдауға мүмкіндік береді.

Бір маңызды жағдайды атап кетейік. Аналогтық тіркеушілерді дамыту мүмкіндіктері іс жүзінде таусылды; технологиялық және конструктивтік тәсілдерді жақсарту жолдары «тандалған», іс жүзінде барлық резервтер. Осы (аналогтық) топтың дамуы негізінен пайдалану сипаттамаларының кейбір жақсару жолымен жүреді. Технологияны дамытудың қазіргі деңгейіне, дәл механикаға негізделген жұмыс қағидалары іс жүзінде толығымен жүзеге асырылады. Бұл тұрғыда аналогтық әдістер мен құралдарды жазу технологиясын дамытудағы перспективалық бағыт деп санауға болмайды. Дегенмен, экономикалық тұрғыдан тиімді өмір сүретін орны болғандықтан, олар пайдалы қолдануды табады.

Бақылау сұрақтар

0. Келесі динамикалық эксперименттер үшін қажетт өлшеу әдістерін таңдаңыз:

- салыстырмалы қателігі $\pm(0,5... 1,0)$ % және ұзақтылығы 30 с кем емес 0...1 Гц жиілік сызығында қатты (қағаз) көшірме процесінде алу;
- қателігі $\pm(4...5)$ % және ұзақтылығы 5 с кем емес (0...2) кГц жиілікті сызығында бес сигналдың қатты көшірмесін алу;



Сурет 5.14. Аналогты тіркеуіштер үшін «жұмыс істеу-дәлдік» диаграммасы. Логарифмдік масштабтағы абсцисса осі бойынша — жиілік сызығы (сыртқы шекара). Логарифмдік масштабта ординат осі бойынша — салыстырмалы қателік

- қателігі $\pm 5\%$ дейінгі 1...100 кГц жиілік сызығында сегіз процесті синхронды тіркеу;
- төрт полюстіктің $U_{m,x} = f(U_m)$

сипаттамасын қатты көшірмеге алу.
Кіріс U_{sx} және шығыс U_{bba} кернеудің жиілік сызығы (0...0,5) Гц;

- Дала жағдайларында кез келген төрт процестерді синхронды тіркеу. Зерттеуші жиіліктердің жиілік сызығы 0,5... 120 кГц. Тіркеу ұзақтылығы — 10 минутқа дейін. Рұқсат етілген қателік — $\pm 4\%$ **на шар емес.**

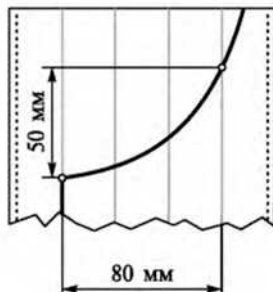
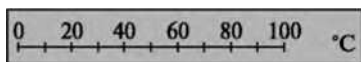
4.3. МЕТРОЛС

1. Нысанның температурасын өлшеудің қисығы автоматты түрде жазып алушы (суретті қараңыз). 20-дан 80 °С дейін нысанның қызу уақытын анықтаңыз. Диаграммалық лентаның жылжу жылдамдығы 100 мм/сағ тең.

2. Аналогты жаттау осциллографтың жабдықтармен салыстырғандағы негізгі кемшіліктерін атаңыз.

3. Сәулелік осциллографтың белгілі (суретті қараңыз). Периоды $T =$ емес сигналдың 3, 5, 7, 8 және 9 қателікке тексер. Сонымен қатар +5; **етілетін қателіктер үшін сызықтарын анықтаңыздар.** (АЧХ графигінде ординат осі бойынша — салыстырмалы амплитуда v .)

1. Амплитудасы 450 мкА тең ауыспалы токтың СЛО көмегімен гальвонометрді таңдаңыз. Орналасқан сезімталдылық мәні: $S_1 = 0,05$ ммДмкА м); $S_2 = 0,1$ ммДмкА ■ м); $S_3 = 0,2$ ммДмкА- м); $S_4 = 0,5$ ммДмкА • м); сәуле ұзындығы 1 м; диаграммалық фотоқағаздың ені — 100 мм. Динамикалық қателікті ескермеуге болады.



(ИЗМЕР

басқа да тіркеуші артықшылықтары мен

гальвонометрлік АЧХ
1,0 50 мс тең синусоидалы
0,9 гармониктің жазбаларын
0,8 +10; +15 % **рұқсат жұмысшы жиілік**

0,7 60 100 140 180 / Гц

оңтайлы тіркеу үшін төрт ОГ-ның

САНДЫҚ ӨЛШЕУІШ АСПАПТАР

6.1. САНДЫҚ ӘДІСТЕР ЖӘНЕ ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫ

Электрлік өлшеулер практикасында ақпараттың түрлендіру, сақтау, өңдеу, беру және ұсынудың цифрлық әдістері мен құралдары барған сайын кеңінен қолданылады. Цифрлық құралдар физикалық мөлшердің кең ауқымын өлшеу кезінде аналогты белсенді түрде ауыстырады. Бүгінде әлемдегі адам қызметінің түрлі салаларында (оның ішінде күнделікті өмірде) әртүрлі физикалық көлемдердегі статикалық және динамикалық өлшемдердің әр түрлі мәселелерін шешетін миллиардтаған (!) сандық өлшеу құралдары табысты пайдаланылуда (электрлік те, электрлік емес те). Сандық вольтметрлер, мультиметрлер, жиіліктегі өлшегіштер, омметрлер, ваттметрлер, байланыс және байланыссыз термометрлер, шығын өлшеуіштері, тахометрлер, манометрлер, анемометрлер, салыстырмалы ылғалдылықты өлшеуіштер, жарықтандыру, цифрлық жазу құрылғылары, осциллографтар, әр түрлі параметрлерді анализаторлар, компьютерлік өлшеу құралдары, кешендер, жүйелер және басқалар кеңінен пайдаланылады.

Сандық өлшеу техникасын өндірудің сериалдылығы артып, микроэлектрондық технологияларды, компьютерлік технологияларды дамыту арқылы табиғи түрде төмендейді, бұл статистикалық және динамикалық өлшемдердің цифрлық құралдарының қол жетімділігі мен таралуына, зерттеу нысандары мен процестерінің күрделі динамикалық үлгілерін кеңінен қолдануға әкеледі, ақпаратты автоматты түрлендіру, беру және ұсыну үшін барған сайын тиімді алгоритмдерді пайдалану.

Сандық өлшеу құралдарының барлық түрлерінде біз үшін екі үлкен топ (екі түрі СИ) бізді қызықтырады: өлшеу құралдары мен өлшеу түрлендіргіштері. *Бірінші топ* оператормен қолмен (тқұтынушымен) орындалатын статикалық біржақты өлшеулерге арналған, өзіндік, салыстырмалы түрде баяу әрекет ететін цифрлық өлшеу құрылғыларынан тұрады. *Екінші топ ақпараттық өлшеу жүйелерінің, өлшеу және есептеу жүйелерінің және автоматтандырылған өлшеу құралдарының бөлігі ретінде пайдалануға арналған түрлі сандық өлшеу түрлендіргіштерінен тұрады.* Олар, әдетте, жоғары жылдамдықта немесе басқа да арнайы сипаттамалары мен функциялары бар.

Арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету көмегімен дербес компьютерді автоматты түрде өңдеу үшін жадында ірі тіркеуге алынған массивтер санақ жүргізіліп, процестерді ұзақ мерзімді есепке алу

мүмкіндігін қамтамасыз ететін санақ жазуды өлшеу құралдары мен түрлендіргіштер өте кең таралған (төменнен қараңыз).

Сол бөлімшеде негізгі (жалпы барлық сандық СИ жүйесінде) процедуранын – аналогты сандық түрлендіргішті ұйымдастыру нұсқаларын қарастырамыз; және де бірінші топтың құру және тұрғызудың ерекшеліктері — сандық өлшеуші аспаптар (ЦИП)), олар өлшеуші түрлендіргіштерден қарағанда көбінесе адаммен жұмыс істеуге ыңғайландырылған. Барлық негізгі көрсеткіштер бойынша ЦИП аналогты түрлендіргіштерден асып тұр, оларда метрологиялық және эксплуатациялық сипаттамалары жоғары.

Қазіргі заманғы ЦИП - объектілер мен процестерді зерттеудің жоғары өнімді интеллектуалды құралы, өйткені олар микропроцессорлық технология негізінде құрастырылған. Әртүрлі физикалық шамаларды өлшеуге арналған ЦИП құрылымдары көп жағдайда ұқсас. Олардың арасындағы айырмашылықтар, негізінен, құрылғылардың кіріс түйіндерінде шоғырланған, яғни белгілі бір мөлшердің біртұтас сигналға айналуы орын алады.

6.1.1. Аналогты-сандық түрлендіргіштің сипаттамалары

Кез келген сандық өлшеу құралдарына ең маңызды және жауапты болып аналогты-сандық түрлендіргіштер (АЦТ) — Analog-to-Digital Converter (ADC) табылады, себебі тек қана ол барлық аспаптың негізгі метрологиялық сипаттамалары мен жылдам жұмыс істеуін анықтайды. АЦТ-ның міндеттері — кіріс аналогы мәнінің шексіз жиынтығын автоматты түрде соңғы жиынға айналдырады (сандық эквиваленттер мен кодтардың шекті жиынтығы). АЦТ-ның заряды, оның қателігі, жылдам жұмыс істеуі, өлшеулер мен тіркеулердің дәлдігі, жалпы сандық өлшеуші аппаратураның мүмкіншіліктері мен сипаттамалары.

Түрлі түрлендіргіштердің мүмкіндігін салыстыру үшін қажетті білімі бар АЦТ негізгі сипаттамаларын қарастырайық (және, демек, эксперимент үшін құрылғыны құзыретті таңдау). Айқындық үшін АЦП-дің кіріс сигналы кернеуі болып табылатындығы туралы қосымша дәлелі болады.

Шкаланың ұзындығы L (Length of Scale) АЦТ-ның мүмкін болатын түрлендіру деңгейінің (түрлендіргіштің деңгей сипаттамасы) саны сипатталады. Бұл термин сандық өлшеуші техника кезеңінде ұқсас стрелкалы өлшеуші аспаптардың шкала ұзындығы (бөлу санымен) аналогы бойынша аталып кеткен. ЦИП-тің шкала ұзындығы L АЦТ-ның разрядтылығымен анықталады.

Разрядтылық n — бұл екілік разрядтың (бит) саны — Number of Bits немесе ондық разрядтылық — Number of Digits. Егер АЦТ разрядтылығы — $/?$ Екілік разрядты (бит), онда шкала ұзындығы $L = 2^n$. Мысалы, « $= 11$ бит кезінде $L = 2048$ тең. Егер АЦТ разрядтылығы — n ондық разрядты, онда $L = 10^n$ тең. Мысалы, толық төрт онмындық разрядты $//$ кезінде $L = 9999$ (бұл жағдайда — «төрт тоғыздық»), немесе

жуықтағанда $L = 10\,000$.

Адамдармен жұмыс істеуге арналған (өлшеу жүйелерінің бөлігі ретінде емес) цифрлық өлшеу құралдары ондық сан санау құрылғысына ие, яғни ондық (әдеттегі) сандар жүйесіндегі сандарды көрсететін және бірнеше ондық таңбалардан тұратын көрсеткіштер. Оқу құрылғысының (индикатордың) ЦИП сипаттамасын бір уақытта әр түрлі болуы мүмкін.

Әдістердің бірі — есептік жабдықта шығу сандық кодтың (нүктенің) максимал мүмкін мәндер санын беру, яғни шкала ұзындығын L көрсету. Мысалы, $L = 999$ нүкте (немесе жуықтап — 10000 нүкте).

Басқа әдіс — ондық разряд n санын енгізу. Сөйткенде, онмыңдық разряд саны қалай бүтін (мысалы 4 ондық разряд), солай бөлшекті (мысалы, $n = 3$ — разряд) болуы мүмкін.

Бірінші жағдайда өлшеу кезінде көрсеткіштің кез келген санында 0 -ден 9 -ға дейін кез келген сандар пайда болуы мүмкін. Мысалы, егер максимал болатын индекстелетін сан $L = 999$, онда разрядтылық n толық үш ондық разрядқа сәйкес келеді. Екінші жағдайда (бөлшекті разрядтылық) жоғарғы разрядты разрядта мысалы тек қана 0 мен 1 сандары болуы мүмкін (бұл бүтін емес жартылай разряд), ал басқа да, үш разрядтыларда — 0 -ден 9 -ға дейінгі сандар (бұл бүтін разрядтар). Мұндай ЦИП-тердің индикаторында максимал сан 1999 болуы мүмкін. Бұл жағдайда n разрядтылық $3j$ разряды ретінде анықталады.

Рұқсат етуші мүмкіншілік R (Resolution) — бұл шкала ұзындығына L ($R = 1 : L$) және АЦТ-ның сезімталдылығын сипаттайтын кері мән. Шкала ұзындығы үлкен болған сайын, соұрлым шешуші мүмкіншілік R жақсы, сәйкесінше түрлендіру сапасы жоғары.

Кванттың мәні q (quant) — кіші мән разрядының бірлігі (МЗР) номаналды мәnnің $t_{\text{НОМ}}$ кіріс кернеуінің шкала ұзындығына L қатынасымен анықталады:

$$q = U_{\text{НОМ}}/L.$$

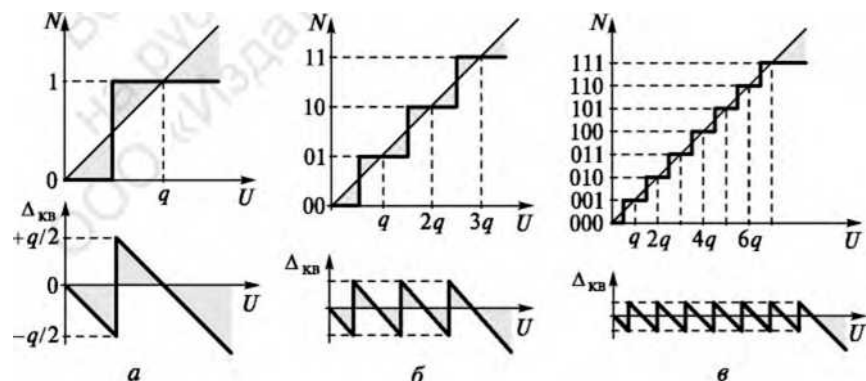
Екілікті АЦТ үшін кванттың саны q кейде Least Significant Bit (LSB) белгіленеді, ондықты АЦТ үшін — Least Significant Digit (LSD).

Мысалы, егер сандық мультиметрдің шкала ұзындығы $L = 1999$ нүкте болса (немесе жуықтап 2000 нүкте) және өлшеуші диапазонның кернеуі $U_{\text{НОМ}} = 2$ В таңдалса, онда кванттың салмағы (МЗР бірлігі) бұл режимде $q = 1$ мВ. *Q мәні кіші болған сайын түрлендіру сезімталдылығы жоғары болады, және көбінесе дәлдігі де жоғары. Кванттың мәні # АЦТ сезімталдылығымен және жалпы аспаппен анықталады.*

Кванттандыру қателігі $D_{\text{кв}}$ — цифрлық өлшеу технологиясының маңызды тұжырымдамасы болып табылады. Аналогтық сигналды цифрлық кодқа айналдырудың сенімсіздігінің негізгі көздерінің бірі - квантизациялау процедурасы, яғни автоматты дөңгелектеу. Кіріс кернеуінің $U_{\text{в}}$ ықтимал мәндерінің шексіз жиынының трансформациясы Шығу кодының мүмкін болатын деңгейлерінің соңғы саны сөзсіз квантизациялау қатесінің $D_{\text{га}}$ пайда болуына әкеледі. Бұл қате негізсіз

инеративті, бірақ қанағаттанарлықсыз шағын болуы мүмкін.

Кванттаудың қателік функциясы $D_{\text{кв}}$ — бұл реал сатылы түрлендіргіш сипаттамасы мен идеал сызықтың арасындағы айырма (сурет 6.1).



Сурет 6.1. Разрядтылықтың байланысы, шкала ұзындығы және кванттау қателігі:

a — $1/1=1$ бит, $L = 2^1 = 2$. $R = 1 \cdot 2^1 = 2$ бит, $Z = 2^2 = 4$, $L = 1:4$; в — $1 \cdot 2^2 = 4$ бит, $L = 2^3 = 8$, $R = 1:8$

Әр бір жеке түрлендіргіштің нәтижелерінің нақты қателік $D_{\text{кв}}$ мәндері — бұл кванттың q интервалында біркелкі таратылады. Бұл қателіктің барлық мүмкін мәндері $\pm q/2$ диапазон аралығында жатыр (плюс-минус кванттың жартысы). Қателіктің $D_{\text{кв}}$ максимал мәні модуль бойынша $q/2$ құрайды. Әрине, АЦТ-ның жиынды мәні тек қана кванттың қателігімен анықталмайды. Реалды суммалық қателік заманауи АЦТ-да көбінесе 2...5 бірлік диапазондары аралығында кіші разрядтылық мәні (яғни, $2q...5q$) ішінде орналасады.

Сурет 6.1 АЦТ-ның шығудағы коды N кіруші кернеудің U мәніне тәуелділігін көрсетеді, сонымен қатар негізгі анықтамалардың байланысын: разрядтылық n , шкала ұзындығы L , рұқсат етуші мүмкіншіліктер R , кванттың салмағы q және екілік АЦТ мысалындағы кванттаудың $D_{\text{кв}}$ қателік мәні (яғни екілік есептеу жүйесінде жұмыс істейтін АЦТ), кіріс сигналы ол тұрақты тоқ кернеуі U . Егер разрядтылық $n = 1$ бит (сурет 6.1, а қараңыз) болса, сәйкесінше қарапайым екі құраушысы бар АЦТ-ға сәйкес келеді — 0 немесе 1.

Егер разрядтылық $n = 2$ бита (сурет 6.1, б қараңыз) шкала ұзындығы $L = 4$ АЦТ-ға сәйкес келеді. $n = 3$ бит болғанда (сурет 6.1, в) сәйкесінше $L = 8$. Екілік разрядтың $1/8$ көп болғаны сайын шкала ұзындығы да L артады, соның арқасында кванттаудың $D_{\text{кв}}$ қателігі аз болады.

Кесте 6.1-де заманауи екілік АЦТ-ның әр түрлі разрядтылықтағы n мәндеріне сәйкес келетін рұқсат етуші мүмкіндіктер мен шкала ұзындығы L саны келтірілген.

Кесте 6.1

АЦТ разрядтылығы мен шкала ұзындығы және рұқсат етуші мүмкіндіктің арасындағы қатынас

и, бит	L, нүктелер саны	R
6	64	0,016 (1,6 %)
8	256	0,0039 (0,39 %)
10	1024	0,00098 (0,098 %)
12	4096	0,00024 (0,024 %)
14	16 384	0,000061 (61 ppm)
16	65 536	0,000015 (15 ppm)
18	262 144	0,0000038 (3,8 ppm)
20	1 048 576	0,95 ppm
22	4 194 304	0,24 ppm
24	16 777 216	0,060 ppm

Ескерту. 1 ppm (part-per-million) — бір миллиондық бөлік.

Рұқсат етуші мүмкіндіктердің мәндері бойынша R нақты АЦТ түрінің материалдық сипаттамаларын салыстыруға болады (оның сезімталдылығы мен дәлдігі).

Таңдау жиілігі Γ_d — оның динамикалық қасиеттерін (конверсия жылдамдығы) бағалауға мүмкіндік беретін АЦТ жүйесінің маңызды сипаттамаларының бірі болып табылады, яғни жылдам өзгеретін сигналдармен жұмыс істеу мүмкіндігі, бұл жүйелік сандық вольтметрлер үшін өте маңызды. F_a мәні секундына түрлендіру нәтижелерінің санымен - секундына (үлгілер/с) немесе сөздер/с немесе герцтегі сандармен көрсетілуі мүмкін. Мысалы, $F_a=1$ МГц (немесе $F_a = 1$ Мсөз/с, немесе $F_a = 1$ MSamples/s) Мысалы /с) деп айтылса, бұл түрлендіргіштің кіріс кернеуімен 1 млн., кіріс сигналының ағымдағы (бірден-бір) мәніне сәйкес келеді.

Айырбастау циклінің ұзақтығы (іріктеу кезеңі) Γ_u АЦТ - бір толық айналдыру циклын орындау үшін қажетті уақыт интервалын білдіретін таңдау жиілігінің кері нұсқасы. Γ_u мәні уақыт бірліктерінде көрсетіледі: с, мс, мкс және т.б. Егер жиіліктің мәні белгілі болса, мысалы $F_a = 1$ МГц, онда $\Gamma_u = 1$ мкс тең.

6.1.2. Аналогты-сандық түрлендіргіш

Сандық өлшеу құралдарын құру кезінде аналогты ақпаратты сандық түрлендірудің әртүрлі әдістері мен құралдары, метрология, шуылға қарсы иммунитет және динамика ерекшеленеді. Кейбіреулердің ерекшеліктері мен негізгі сипаттамаларын, ең көп таралғандарын қарастырып, салыстыру.

Сандық өлшеу технологиясында дәйекті жақындату (битальды

теңдестіру) - *түрлендіргіш* (АЦТ-ның классикалық түрі) деп саналады. Таңдау және сақтау құрылғысы кіріс сигналының іріктелуін қамтамасыз етеді, яғни дискретті уақытқа көшу.

Осы әдіске кірістің өлшенген кернеуін U_x түрлендірудің бір циклі бірнеше циклден тұрады. Теңдестіру автоматты түрде өтемақы кернеудің көмегімен орындалады. Трансформация процесі U_x өлшенген U_K кернеумен белгілі бір алгоритмге байланысты өзгеретін кернеуді баламалы салыстырудан тұрады. Алгоритмге U_K сәйкес, стресс U_x тең болады, яғни оны теңдестіруге ұмтылады. Бірнеше цикл ішінде U_K кернеу I_x шамаға тең болады. Бұл трансформация өлшеу процедурасын еске түсіреді, бірнеше түрлі салмақтарды пайдаланғанда және ескінен бастап, яғни теңдестіруден бастап салмақтарды таңдауда (реттеу немесе жою) қанағаттанарлық теңгерімге қол жеткізуге болады. Трансформацияның бұл әдісі орташа метрологиялық сипаттамалармен және жеткілікті жоғары жылдамдықпен қамтамасыз етеді. Сондықтан, негізінен, динамикалық өлшеулердің цифрлы құралдарында (цифрлық өлшегіштер, цифрлық осциллографтар және анализаторлар) қолданылады.

Мұндай АЦТ-лардың типтік түрлері: $n = (10... 16)$ бит; $F_a = (0,02... 100)$ МГц.

Динамикалық өлшеу құралдарында қолданылатын басқа әдістердің арасында ең жылдам өнімділікті қамтамасыз ететін *параллельді түрлендіру әдісі* (Flash ADC) болып табылады (бірақ төмен бит рұқсатымен және төмен дәлдікпен).

Кіріс сигналы салыстырмалы кернеу бөлгішпен құрылған анықтамалық кернеулер сериясымен бір уақытта ұқсас компараторлармен салыстырылады. Содан кейін декодер көмегімен сол күйдегі («0» және «1») компараторлардың екі топтары арасындағы шекара анықталады және салыстыру нәтижесі әдеттегі екілік кодқа айналдырылады. Компараторлардың саны $m = 256$ кезінде $;/ = 10$ битті разрядталған сыртқы сөз шығарылады.

Параллель АЦТ-лардың типтік сипаттамалары: $n = (6... 10)$ бит, түрлендіру жылдамдығы 20... 1000 МГц.

Статикалық өлшеулер үшін, сонымен қатар кей бір тіркеуші/сараптаушыларда, логгерлерде, әсіресе баяу ауысатын процестердің жұмысы үшін атомдық сандық вольтметрлерде және мультиметрлерде *интегрленген типті* АЦТ пайдаланылады (Integrating ADC). Интегралдау конверсиялау әдісі ең жоғары дәлдікті, сезімталдықты, рұқсатты қамтамасыз етеді, сондай-ақ желі жиілігінің мерзімді интерференциясын жоғары тоқтатады (бұл өнеркәсіптік жағдайларда орындалатын және төменгі сигналдармен жұмыс істеген кезде эксперименттерде маңызды). Әрине, бұл АЦТ салыстырмалы түрде баяу жұмыс істейді (конверсия циклінің ұзақтығы ондаған миллисекундтар - бірнеше секунд), бірақ дербес құрылғылар үшін жоғары өнімділік талап етілмейді (өйткені оператор әртүрлі цифрлық көрсеткіштерді 1 секундына бір рет).

Қазіргі таңда интегралдаушы аналогты-сандық түрлендіргіштің екі түрі бар: уақыт импульсті және жиілікті импульсті әдіс.

Уақытша импульстік әдісті қолданған кезде кіріс кернеуі уақытша пропорционалды уақыт интервалына айналады, содан кейін тұрақты белгілі жиілікті F_0 импульстармен толтырылады. Осылайша құрылған импульстік пойыз санауышпен есептеледі, олардың мазмұны есептік соңында өлшенген кернеудің мәнін анықтайды. Айырбастау циклі екі негізгі циклден тұрады. Мұндай АЦТ-ның негізгі түйіні — бірінші такта T_x кезінде (ұзақтылығы әр қашан тұрақты) кіруші сигналды интегралдайтын интегратор, ал егер сигналға периодты бөгет жалғанса, онда сигнал мен бөгеттің суммасын интегралдаймыз. Бұл сағатта интегратордың сыйымдылығы сызықты түрде зарядталады. Егер бірінші шараның интервалы кедергі кезеңіне тең болса (немесе көпше) болса, интеграция нәтижесі кедергіге байланысты болмайды. T_2 екінші циклінде интегратордың кірісіне сілтеме (тұрақты, үлгілі) кернеу қолданылады, оның полярлығы өлшенген кернеудің полярлығына қарама-қайшы. Бұл жағдайда интегратордың сыйымдылығы сызықты түрде шығарылады. Компаратор сыйымдылықтың толық разряд моментін тіркейді. Сөйтіп, екінші тактаның ұзақтылығы кіруші тұрақты кернеудің мәніне пропорционал. Артынша такталық жиілік пен импульстердің есептеуіші генераторлары көмегімен екінші тактаның ұзақтылық мәні пропорционалды сандық кодқа түрленеді. Бірінші тактаның интервал ұзақтылығы T_x периодты бөгетке бөлінетін немесе тең мәнге әзірлеушімен енгізіледі (Ресейде желінің номиналды жиілік мәні сәйкесінше жиілік бөгеті 50 Гц, ал оның периоды 20 мс).

Бөгеттің әсерінің әлсіздену деңгейі жаншу АГ., коэффициентімен сипатталады, ол дицибелдермен өлшенеді және төменгі формуламен анықталады

$$K_n = 20 \lg(U_m / AU_n),$$

мұнда U_{nm} — АЦТ-ға кірердегі периодты бөгеттің амплитудалық мәні; DU_n — бөгет әсерінен пайда болған түрлендіргіш нәтижелерінің өзгеруі.

Мысалы, егер аспаптың паспортында былай жазылсын: 50 Гц $\pm 1\%$ желі жиілігінің нормал түрінің «жаншу K_a коэффициенті 40 дБ жаман емес», бұл дегеніміз мұндай жиіліктің әлсіреуі 100 еседен кем емес рет болады. Коэффициенттің мәні $K_n = 60$ дБ бөгеттің өлшеу нәтижелеріне 1000 есе өлшенетінін білдіреді. Коэффициент мәні K_n , жоғары болған сайын, сәйкесінше жоғары.

Жиілік-импульстік әдіс кіріс сигналын алдын-ала конверсиялауға негізделген импульстік қайталану жылдамдығына негізделеді. Бұл импульстар сериядағы импульстардың санын есептейтін тұрақты уақыт аралығы T_0 кезінде есептегішке беріледі. Осылайша, санауыштың мазмұны кіріс кернеуінің мәнін көрсетеді.

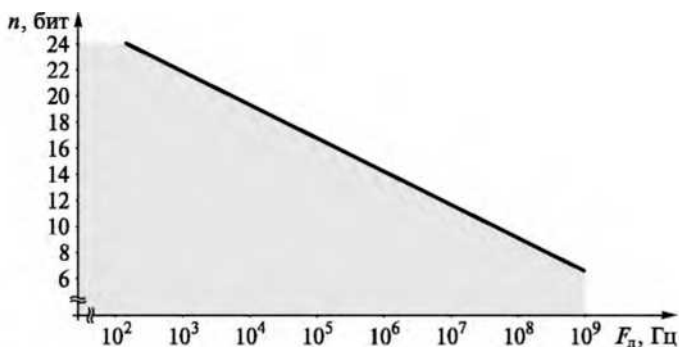


Рис. 6.2. Связь точности (разрядности АЦП) и быстродействия

Интегралдаушы АЦТ-ның типтік сипаттамалары: $n = (12...20)$ бит; бір түрлендіруші цикл ұзақтылығы $T_u = (0,1... 10)$ с; $K_a = (40...60)$ дБ.

Түрлендірудің разрядталуы мен АЦТ-ның жылдам жұмыс істеуі арасында нысаналы қайтымды пропорционалдық тәуелділігі бар. Бұл тәуелділік өте логикалық тұрғыда дұрыс және ойы жағынан механика ережесінде «алтын» ұқсас: «күшпен жеңсен — ұзақтылықта ұтылып қаласын» немесе, керісінше «Жылдамдықпен жеңіп, дәлдікті жоалтасы».

Сурет 6.2. аналогты-сандық түрлендіргіш техникасын дамыту деңгейінде заманауилату үшін бұл байланысты оңтайлы иллюстрациялайды.

Абсцисса бойынша масштаб (G_n дискреттеу жиілігі) логарифмделінген. Сызықты масштаб кезінде абсцисса осі бойынша бұл тәуелділік гиперболалық мінез тасушы еді.

6.2. САНДЫҚ ЖИІЛІК ӨЛШЕГІШТЕР

Цифрлық өлшегіштерді ЦИП - цифрлық жиіліктегі өлшеуіштің (ЦЧ) өкілін түрлендіруге арналған негізгі процедуралардың құрылымы мен жиынтығымен қарапайым және түсінікті құрылымды және жұмыс принципі ескере отырып, цифрлық өлшеу құралдарын зерттеуді ыңғайлы және қисынды деп санауға болады. ЦЧ-да жүзеге асырылатын түрлендірудің көптеген формалары көптеген басқа ЦИП-тердің негізі болып табылады.

Сандық жиілік өлшегіштер — электр сигналдарының жиіліктік параметрлерін бағалау үшін ғылым, техника, өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолданылатын кең тараған өлшеу құралдары. Олар мерзімді сигналдардың өлшенген жиіліктерінің (немесе олардың периодына) кең ауқымында жұмыс істейді.

Қазіргі заманғы ЦР барлық басқа ЦИП-тердің арасында ең жоғары метрологиялық сипаттамаларды (дәлдігі мен шешілу қабілеттілігін) қамтамасыз етеді, олар жоғары жылдамдықпен, кең функционалдылықпен, қарапайым операциямен, жоғары сенімділіктен ерекшеленеді.

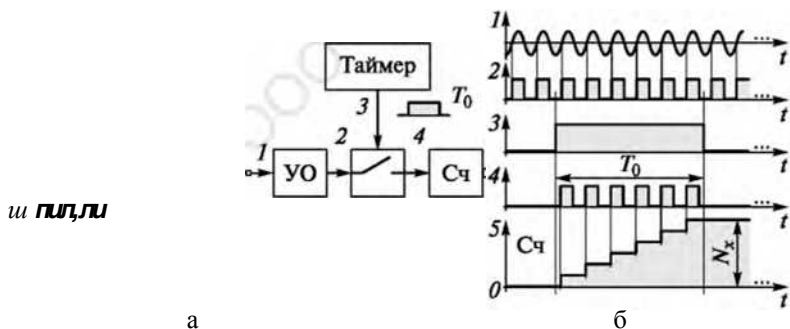
Мерзімді сигналдардың уақытша жиілігін өлшеуге қосымша, қазіргі заманғы жоғары жиілікті өрістер әртүрлі физикалық шамаларды өлшеу үшін де қолданылады. Мұны істеу үшін жиілік немесе кезең (ұзақтық) өлшенген мәнге пропорционалды болатын шығыс сигналдары бар ЦЧ көмекші бастапқы өлшеу түрлендіргіштеріне (сенсорлар) қосылу қажет. Мысалы, ЦЧ қозғалтқыштың жүнінің айналу жылдамдығын немесе құбырдағы сұйықтық ағынының жылдамдығын немесе ауа ағынын өлшеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Сандық жиілікті санауыштар да тұрақты немесе бағдарламаланатын уақыт интервалдары үшін тұрақты генераторлар мен таймерлер ретінде пайдаланылады. Бұдан басқа, ЦЧ көмегімен импульстер санының (оқиғалар санын) есептеуді ұйымдастыру оңай.

Барлық процессорлар дерлік екі негізгі жұмыс режимін ұсынады: жиілікті өлшеу және кезеңді өлшеу (уақыт аралық ұзақтығы). Осы режимдердегі құрылымдарды, жұмыс қағидаттарын және ЦЧ қателерін қарастырайық.

6.2.1. Жиілікті өлшеу режимдері

Жиілікті өлшеуде іске асыратын режимнің оңтайландырылған ЦЧ құрылымы 6.3, а суретінде көрсетілген, ал бұл режимдегі жұмыстың уақыттық диаграммасы 6.3, б суретінде көрсетілген.

зерттелуші периодты сигнал / (сәйкесінше диаграмма /) УО-ның күшейткіш-шектегіштің кірісіне беріледі онда тік бұрышты импульстердің 2 тізбектей түрленеді (диаграмма 2), олардың жиілігі кіріс сигналына тең.



Сурет 6.3. Жиілікті өлшеу режимі: **а** — ЦЧ-дің оңтайландырылған құрамы; **б** — жұмыстың уақыттық диаграммасы

Артынша бұл сигнал электронды кілтке түседі, онымен таймер

бақылайды, ол тұрақты белгілі бір уақыт 3 сайын периодты түрде жабады, мысалы $T_0 = 1$ с. Мұндай жағдаймен құрастырылған импульс сериясы 4 (диаграмма 4) есептегіштің СЧ кірісіне түседі, оның құрамы 5 бастапқы T_0 интервалында нөлге тең, ал интервалдың соңында түскен интервалдың N_x санына тең. Бұл сан кіруші сигналдың өлшеуші жиілігіне f_x тура пропорционал:

$$N_x = \text{Ent}[T J T_x] = \text{Ent}[T J f_x],$$

мұнда $\text{Ent} [\dots]$ — теңдеудің толық мәнін анықтау операторы $[\dots]$; T_x — кіруші сигналдың периоды ($T_x = 1/f_x$); f_x — кіруші сигналдың жиілігі.

Есептегіштің мазмұны 5 жадтың жад буферінде сақталып, келесі өлшеу циклы аяқталғанға дейін және жаңа нәтиже санағы сақталған жерде сақталады. Сонымен қатар, нәтиже сандық оқу құрылғысына жіберіледі. Егер, мысалы, $T_0 = 1$ с интервалында, контрастын енгізуді 254 импульс енгізсе, демек, кіріс сигналының жиілігі $f_x = 254$ Гц. Құрылғы циклді түрде жұмыс жасайды, яғни әр жаңа цикл басында санауыш «қалпына келтіріледі». Осылайша, өлшеу нәтижесі мерзімді түрде жаңартылады. Периодтық сигналдың нысаны маңызды емес екенін ескеріңіз.

Нақты FH-да бірнеше жиілікті өлшеу диапазондары бар, яғни T_0 тұрақты аралығындағы бірнеше түрлі ұзақтығы қалыптасады (мысалы, Гц = 0,1 с; $T_{02} = 1,0$ с; $T_{03} = 10$ с). Жиілік генераторымен жиілік өлшеу режимінде жұмыс жасағанда дұрыс ауқымды таңдау керек, яғни импульстер есептелетін интервалды T_0 таңдау керек. T_0 интервалында неғұрлым көп N_x импульстері санауышқа (шекара шегінде, әрине, барынша мүмкін болса) келеді, өлшеу нәтижесінің неғұрлым маңызды сандары индикаторда болады, сондықтан жақсы.

Жиілікті өлшеу нәтижесінің f жалпы қателігі A_F екі құрауыштан тұрады: A_{F1} дискреттілік қателігі T_0 мен уақыт интервалының міндетінің нақты еместігімен туындаған қателік A_{F2} .

A_{F1} дискреттілік қателігі сөзсіз кез келген аналогты-цифрлық түрлендіруде болады. Бұл қателіктің пайда болу табиғатын қарастырайық. T_0/T_x қатынасы кез келген болу мүмкін, себебі кіру сигналының f_x жиілігі шексіз көптеген түрлі мәндері бола алады. Жалпы жағдайда T_0/T_x қатынасы — бөлшек сан екені түсінікті. Саналатын есептеуіштердің импульстер саны N_x , тек қана бүтін бола алатындықтан, онда автоматты дөңгелектеу үдерісі кезінде сөзсіз қателік пайда болады (дискреттілік қателігі).

Осы қателіктің ықтимал мәнін бағалайық. Кіріс сигналы және T_0 интервалының уақытта (кездейсоқ) орналасуына байланысты T_n интервалының бірдей тұрақты мәнінде T_0 интервалындағы импульстердің саны бір немесе басқа жаққа бір-бірінен бір бірлікке ауытқуы мүмкін. 6.4, а-суретте бірдей бастапқы шарттарда (бірдей кіріс жиілігі f_x және T_0 интервалы) екі түрлі жағдай көрсетілген: бірінші жағдайда (7-диаграмма), санауышқа келетін импульстер саны беске тең, екінші жағдайда (2-диаграмма) импульстер саны алтыға тең.

A_n қателігі — кездейсоқ айнымалы болып табылады, себебі кіріс сигналы және

таймер сигналы жалпы жағдайда бір бірімен байланысты емес.

Бұл қателіктің максималды ықтимал мәні өзгеріссіз болады және төменгі разрядтың бір бірлігін құрайды, бір квант:

$$D_1 = \pm 1 \text{ импульс} = \pm 1 / T_0.$$

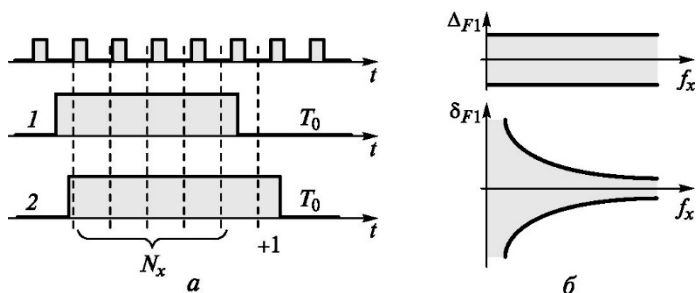
Осылайша — бұл аддитивті қателік, яғни өлшенетін шаманың мәніне, жиілікке f_x байланысты емес (6.4, б-сурет).

A_{F2} қателігі T_0 берілген интервалының дәлсіздігімен (мінсіздігімен) келтірілген (6.5, а-сурет).

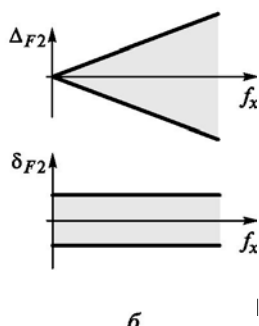
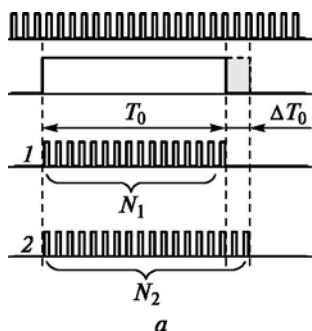
Егер T_0 интервалының ұзақтығы қатаң номиналды мәнге ие болса, онда санауышқа келетін импульстер саны N_i -ға тең болушы еді (6.5, а-суретті қараңыз). Егер де, мысалы, T_0 интервалының номиналдан сәл үлкенірек болса және $T_0 + \Delta T_0$ шамасында болса, онда сол өлшенген жиіліктегі f_x мәндерінде санауышқа импульстер көп түседі $N_2 > N_1$ (6.5, а-суретін қараңыз).

Осы интервалдың ДГ берілген дәлсіздігі мультипликативті, яғни өлшенген жиіліктің f_x мәніне қарай сызықтық түрде пайда болуына алып келеді:

$$A_{F1} = +1 \text{ импульс} = \pm 1 / T_0.$$



6.4-сурет. Жиілікті өлшеу режиміндегі аддитивті қателік: а — пайда болу; б — абсолютті және салыстырмалы қателіктер



ЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМ

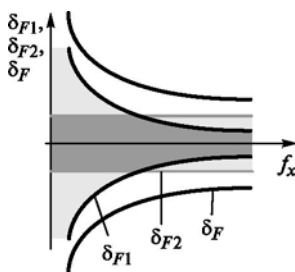
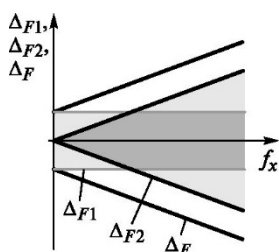
6.5- сурет. Жиілікті өлшеу режиміндегі

мультипликативті қателік: а — пайда болу; б — абсолютті және салыстырмалы қателіктер

Жиілікті өлшеу нәтижесінің сомалық абсолюттік Ар қателігі және сомалық салыстырмалы «/ қателігі, тиісінше, мынаған тең

$$\begin{aligned} \Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F &= \pm \frac{\Delta T_0}{T_0} A \\ \delta_{F1}, \delta_{F2}, \delta_F &= \pm \frac{\Delta T_0}{T_0} \end{aligned}$$

Құрастырушылардың тәртібін графикалық иллюстрацияда және жиілікті/өлшеу нәтижесінің абсолютті және салыстырмалы қателіктері 6.6-суретте көрсетілген, тиісінше а және б суреттерінде көрсетілген. Бұл режимде өлшенген жиіліктің мәні неғұрлым кіші болса, соғұрлым нашар болады (T_0 тұрақты аралығы үшін), себебі 8/. салыстырмалы қателігі көп болады. Бұл қателікті азайту үшін T_0 интервалын ұлғайтуға тура келеді,



а

бірақ оны тым үлкен істеу өнімді болмайды.

6.6-сурет. Жалпы абсолютті (а) және салыстырмалы (б) қателіктер

Мысалы, $T_0 = 10$ с интервалының ұзақтығы жұмыс істеу үшін ыңғайсыз, себебі әр жаңа нәтиженің (10 сек) пайда болуының күтілген ұзақтығы операторда тітіркену тудыруы мүмкін. Салыстырмалы түрде төмен жиілікті өлшеу үшін қарастырылған $T_x = 1/f_x$ кіріс сигналының өлшеу аралығының режимі (төменде қараңыз) — ЦЧ екінші режимін пайдалану ыңғайлы.

Жиілікті өлшеу нәтижесіндегі қателіктерді анықтаудың мысалын қарастырайық. Мысалы, $T_0 = 1$ с интервалының мәні және оның анықталуындағы ықтимал қателігі $\Delta T_0 = \pm 2$ мс екендігі белгілі. Жиілікті өлшеу нәтижесі алынды $f = 1$ кГц. Құрастырушылардың мәндерін және нәтиженің жалпы қателігін бағалайық.

Абсолютті аддитивті A_n және мультипликативті A_{F2} қателіктердің мәндері тиісінше келесіге тең:

$$A_f = 1/T_0 = \pm 1 \text{ Гц};$$

$$\Delta f = \pm 1000 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = \pm 2 \text{ мс} \quad 1$$

Салыстырмалы аддитивті δf және мультипликативті қателіктердің мәндерін келесі тәсілмен анықтайық:

$$\delta f_1 = (\Delta f / f) \cdot 100 = \pm (2/1000) \cdot 100 = \pm 0,2 \text{ \%};$$

$$\delta f_2 = (\Delta f / f) \cdot 100 = \pm (2/1000) \cdot 100 = \pm 0,2 \text{ \%}.$$

Жиілікті өлшеу жалпы абсолютті Δf және салыстырмалы δf қателіктердің нәтижесі тиісінше келесіге тең:

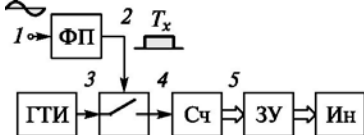
$$\Delta f \sim \Delta f_1 + \Delta f_2 = \pm 3 \text{ Гц};$$

$$\delta f = \delta f_1 + \delta f_2 = \pm 3 \text{ \%}.$$

6.2.2. Периодты өлшеу режимі

Периодты өлшеу режимінде ЦЧ оңтайландырған құрылымы 6.7, а-суретінде және уақыт диаграммалары 6.7, б-суретінде келтірілген. Бұл режимде кез-келген пішінді периодты кіріс сигналы / (сәйкесінше / диаграммасы) ҚП қалыптастырушы периодінің кірісіне беріледі, онда ол T_x сигналының ұзақтығы кіріс сигналының уақытына тең болған тіркелген амплитудасының тікбұрышты сигналына 2 (2-диаграмма) түрлендіріледі.

Содан кейін бұл сигнал электронды кілттің басқару кірісіне түседі және оны T_x уақытына тұйықталады. Электрондық кілттің кірісінде ТИГ тактілі импульстер генераторының шығысынан әрдайым түсетін F_n тұрақты белгісіз жиілігінің тікбұрышты импульстері 3 (3 диаграмма) болады.



ПЛЛЛЛ ЛЛЛ а

6.7-сурет. Периодты өлшеу режимі (уақыт интервалы):

а — ЦЧ оңтайланғандырған құрылымы; б — уақыт диаграммалары

Осылайша, кілт шығару кезінде тікбұрышты импульстер сериясы қалыптасады 4 (4-диаграмма), N_x импульстер саны T_x ұзақтылығына пропорционалды:

$$N_x = Ent\{T_x/U\} = Ent\{T_x F, \}$$

— өрнектің бүтін бөлігін анықтайтын оператор [...];
мұндағы $Ent\{ \dots \}$

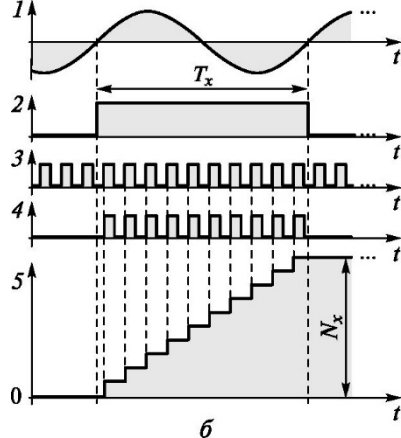
T_0 — тактілі импульстер периоды, $T_0 = 1/F_0$, F_0 — тактілі импульстер жиілігі ТИЖ.

Есептегіш Ес келген импульстерді есептейді, сосын есептегіш 5 құрамы сақтау құрылғысына СҚ жазылады, ол келесі циклдың соңына дейін сақталады және жаңа нәтиже жазылғанша болады. Ин индикаторы өлшеу нәтижесін оқуға мүмкіндік береді. Егер, мысалы, импульстік жиілігі $F_0 = 1$ кГц-ке тең орнатылса, ал есептегіш құрамы есептік аралықтың соңында $N_x = 1520$ болса, онда кіріс сигналының периоды сәйкесінше $T_x = 1,52$ с тең болады.

Бұл режимде ЦЧ циклді жұмыс істейді, яғни әрбір жаңа түрлендіру циклының басында есептегіш нөлге келтіріледі. Осылайша, өлшеу нәтижесі периодты түрде жаңартылады.

Қалыпты ЦЧ тұрақты жоғары жиілікті ТИГ және жиілікті сандық бөлгіші болады, оның көмегімен әр түрлі бірнеше тактілі E_0 жиіліктері қалыптасады (мысалы, $F_{01} = 1,0$ кГц; $E_{02} = 10$ кГц; $F_{03} = 100$ кГц; $E_{04} = 1,0$ МГц), бұл период өлшеудің бірнеше ықтимал диапазондардың бар болуын білдіреді. Сондықтан, минималды қателіктер қамтамасыз етілетін өлшеу диапазоны дұрыс таңдау мәселесі маңызды болып табылады.

T_x периодты өлшеу A_T нәтижесінің қателігі (уақыт интервалы) жиілікті өлшеу режимінде сияқты екі құраушыны құрайды: D_1 дискреттілік қателік және ТИГ жиілігінің F_0 мәнінің дәлсіздігімен (мінсіздігімен) қалыптасқан D_2 қателігі.



б

D_n дискреттілік қателігі табиғаты бойынша бірінші режимде қарастырылған аддитивті қателікті ұсынады (6.8, а-сурет). A_{72} қателігі — екінші құрамдасының пайда болуы (6.8, в-сурет) көрсетеді.

Егер де ТИГ сигналының жиілігі F_0 номиналды мәніне қатаң түрде тең болса, онда T_x аралықта есептегіште келген импульстер саны N -ге тең болады.

Егер де ТИГ сигналының жиілігі, мысалы, номиналды жиіліктен біраз жоғары болып, $F_0 + \Delta F$ шамасын құраса, онда сол T_x интервалында есептегішке импульстер саны көбірек түседі $N_2 > N$.

Қателіктің бұл құрамдасы мультипликативті болып келеді, яғни. оның мәні өлшенген кезеңнің ұзақтығынан (интервал) T_x неғұрлым көп болады. (6.8, в-сурет).

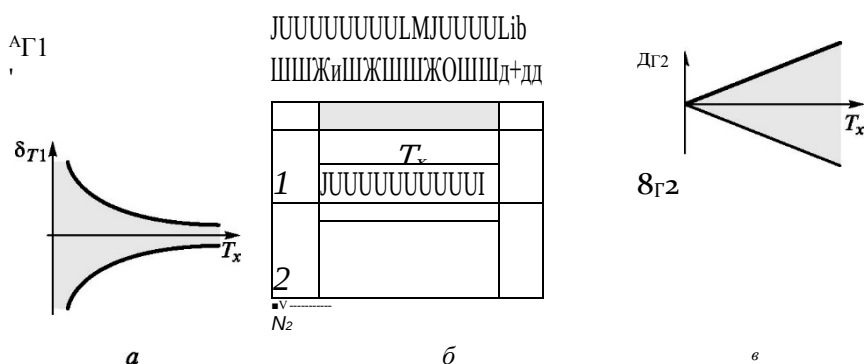
Сомалық абсолютті қателік ΔT_x периодын өлшеу нәтижесі және сомалық салыстырмалы қателігі δT , %, тиісінше келесіге тең:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 = \pm \sqrt{\Delta T_1^2 + \Delta T_2^2}$$

$$\frac{\Delta T}{T_x} = \frac{\Delta T_1}{T_x} + \frac{\Delta T_2}{T_x} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta T_1}{T_x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_2}{T_x}\right)^2} \cdot 100\%$$

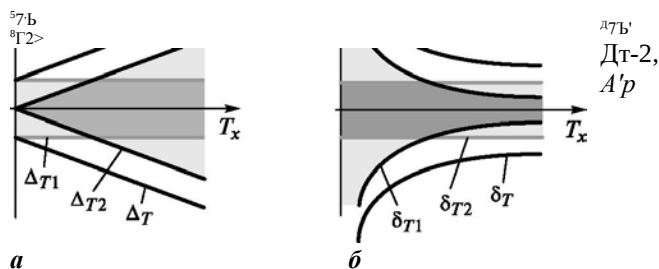
6.9-суретте абсолюттік және салыстырмалы түрдегі T_x периодын өлшеу нәтижесінің жеке құрамдастары және жалпы қателіктері графикалық түрде ұсынылған.

Осылайша, осы режимде T_x өлшенген периоды (f_x жиілігінің мәні жоғары болса) неғұрлым аз болса, соғұрлым нашар, себебі салыстырмалы қателік көп болады. T_x кезеңінің салыстырмалы түрде аз мәндерін өлшеу үшін (немесе салыстырмалы жоғары жиіліктер) ЦЧ бірінші режимін — f_x жиілігінің өлшеу режимін пайдалану керек.



6.8-сурет. Периодты өлшеу режиміндегі құраушы қателіктер:

а — адаптивті құраушы; б — екінші құраушының пайда болуы; в — мультипликативті құраушы



а
6.9-сурет. Сомалық абсолютті (**а**) және салыстырмалы (**б**) қателіктер

Периодты өлшеу нәтижесінің қателіктерін анықтаудың мысалын қарастырайық. Мысалға, ТИГ жиілігінің мәні белгілі болсын, $FQ = 100$ кГц ± 10 Гц. $T_x = 1,0$ с периодты өлшеу нәтижесі алынады. Құрамдастырының мәндері және нәтиженің жалпы қателігін табайық.

D_n абсолютті аддитивті және D_Γ мультипликативті қателіктер мәндері тиісінше келесіге тең:

$$A_m! = \pm 1/F_0 = \pm 1/(100 \cdot 10^3) = \pm 0,01 \text{ мс};$$

$$A_{m2} = T_x \frac{AF_0}{F_0} = \pm 1 \cdot 10^3 (100 \cdot 10^3) = \pm 0,1 \text{ мс}.$$

Салыстырмалы аддитивті 8_{II} және мультипликативті B_{T2} қателіктердің мәндері әдеттегідей келісі тәсілмен анықтайық:

$$5_{T1} = \frac{A \cdot 100}{T_x} = \pm 0,01 \cdot 100/1 = \pm 0,001 \text{ \%};$$

$$A \cdot 100$$

$$5_{T2} = \frac{A \cdot 100}{T_x} = \pm 0,1 \cdot 100/1 = \pm 0,01 \text{ \%}.$$

Сомалық абсолютті A_m және салыстырмалы $5/$ қателіктер нәтижесінің өлшеу периоды T_x сәйкес формуламен есептеледі:

$$A_T = A_{T1} + A_{T2} = \pm 0,11 \text{ мс};$$

$$5_T = 5_{T1} + 5_{T2} = \pm 0,011 \text{ \%}.$$

6.2.3. Жұмыс режимін таңдау

Жиіліктердің кең ауқымында (немесе сигнал кезеңінде) жұмыс істегенде, мәселе, өлшеу нәтижесінің салыстырмалы қателігін азайту үшін қай режимді (екі қарастырылған) таңдау керек екендігі туындайды. Бұл мәселені екі режимдегі жалпы қателердің функцияларын салыстыру

негізінде қарастырыңыз.

6.10, а-суретте, а - жиілікті/х өлшеу режимінде сомалық салыстырмалы қателігі функциясының кестесі келтірілген.

Суретті жеңілдету үшін, симметриялы абсцисс осіне қатысты график мұнда модульмен (оң бөлігімен ғана) ұсынылған. Екі режимдегі қателіктерді заңды салыстыру үшін оларды ортақ дәлелдіктерден тәуелділіктермен келтіру керек, мысалы, f_x өлшенген жиіліктен. T_x периодының сигналы f_x жиілігі керіс шамасы болғандықтан:

$$T_x = 1/f_x,$$

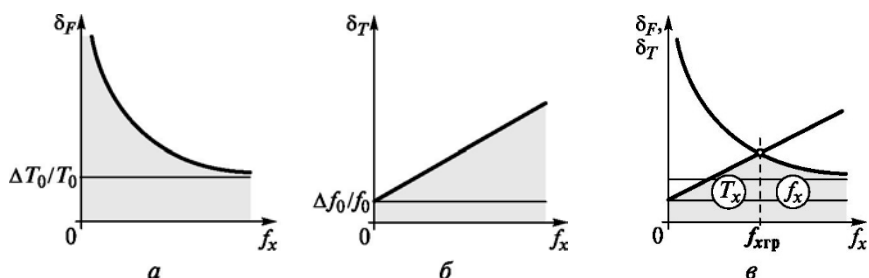
онда жалпы салыстырмалы қателіктің δ_T -%, өрнегі T_x кезеңінің өлшеу нәтижесі мынадай түрде ұсынылуы мүмкін:

$$\delta_T = \pm (f_x/F + AF_Q/F_Q) 100.$$

Графикалық түрде бұл тәуелділік 6.10, б- суретінде (своим модулем) көрсетілген.

Енді дәл сол аргументтің екі режимінің (f_x өлшенген жиілігі) жалпы қателіктердің тәуелділігіне ие болып:

Олардың мәндерін белгілі бір өлшенген жиілікте салыстыруға болады, сондықтан оңтайлы режимді таңдауға болады. Екі режимде f_x өлшенген жиілік мәніне байланысты жалпы салыстырмалы қателіктердің мінезі 6.10, в-суретінде көрсетілген.



6.10-сурет. ЦЧ режимін таңдау сұрағына:
а — жиілікті ауыстыру режимінде; б — $\sin(f)$ периоды өзгерту режимінде; в — салыстырмалы жалпы қателіктерді салыстыру

6.10-суреттегі жалпы қателіктер графиктерінің қиылысу нүктесі, салыстырмалы өлшеу қателіктерінің теңдігін білдіреді $5F=8Г$, бұл $f_{хгр}$ өлшенген жиіліктің шекаралық мәніне сәйкес келеді. $1_{гр}$ төмен жиіліктерді өлшеу кезінде нәтижелердің минималды қателіктерін қамтамасыз ету үшін T_x периодын өлшеу режимін қолдану керек, ал және $1_{вгр}$ үлкен жиіліктер үшін - f_x жиілік өлшеу әдісі қолдану қажет.

Әдетте, ЦЧ құрылымында T_0 интервалын қалыптастыру үшін F_0 үлгілі тактілі жиілігін берілген кезінде сол тактілі импульстер генераторы пайдаланылады.. Сондықтан AT_0/T_0 және DF_0/F_0 салыстырмалы ауытқулары бірдей, яғни. T_0 интервалының және F_0 үлгілі жиілігінің берілген салыстырмалы қателіктері бірдей болады. Демек, жалпы салыстырмалы қателерді салыстыру осы мультипликативтік құрамдастарының ескермей орындалуы мүмкін.

Нәтижесінде f_{xf} шекаралық жиіліктің мәнін қарапайым өрнекпен анықтауға болады

$$f_{xгр} = \sqrt{F_0 / T_0}.$$

Егер енгізілген жиіліктің мәні $f_{хгр}$ мәнінен үлкен болса, онда f_x жиілігін өлшеу режимін таңдау өнімді болады, ал егер ол аз болса, онда, керісінше, T_x периодын өлшеу режимін таңдау керек. ЦЧ дәлдік класстары (көбісіне ЦИП сияқты), екі құрамдастан тұратын D_n негізгі абсолютті қателіктің шектік мәнәмен анықталады: аддитивті және мультипликативті. Мысалы, жиілікті өлшеу режимінде ЦЧ дәлдік классы келесідей болуы мүмкін: $D_n = \pm(0,1 \% \text{ өлшеу нәтижесі} + 0,1\% \text{ өлшеу диапазонының жоғары шекарасы})$. Егер жиілікті өлшеу диапазоны белгілі болса $F_K = 100$ кГц және де тәжірибе өткізу кезінде қалыпты жағдайларда $f_x = 50$ кГц жиілікті өлшеу нәтижесі алынған болса, онда нәтиженің басты абсолютті аспапты қателіктің мәнін табуға болады:

$$\begin{aligned} D_n &= \pm(0,1 \% \text{ от } 50 \text{ кГц} + 0,1 \% \text{ от } 100 \text{ кГц}) = \\ &= \pm(50 + 100) \text{ Гц} = \pm 150 \text{ Гц}. \end{aligned}$$

Осы мысалдағы детерминистикалық тәсілге арналған өлшеу нәтижесінің қорытынды жазбасы келесідей болады:

$$f_x = 50,00 \text{ кГц}; D_n = \pm 0,15 \text{ кГц ықтималдықпен } p_{aov} = 1.$$

6.2.4. Цифрлық жиіліктегі өлшеуіш үлгісі

Заманауи ЦЧ-лар тек жиіліктер мен кезеңдерді өлшеу үшін ғана емес, сонымен қатар уақыт аралығындағы кең диапазонын өлшеу үшін, кез-келген тізбектің импульс санын санау үшін, екі мезгілді сигнал жиілігінің қатынасын анықтау үшін қолданылады. жиіліктік есептегіш 43-38.

Отандық цифрлықтардың негізгі техникалық сипаттамалары

Жиілікті өлшеу диапазоны	10 Гц...50 МГц
Период ұзақтылығы/уақыт интервалдарын өлшеу диапазоны	10
мкс... 10 с	
Уақыт аралығын өлшеу ажыратылық қабілеті	
100	
Жиілік қатынасының өлшеу диапазоны	10... 10 ⁷
Генератор жиілігінің салыстырмалы тұрақсыздығы	
24 ч сағат бойынша	5 • 10 ⁻⁹
А, В кірістері бойынша кіріс кернеуі.....	0,1... 100
Б, В кірістері бойынша кіріс кернеуі	0,1... 10
Кіріс кедергісі, кОм.....	10
Кіріс көлемі, пФ	50

Ескерту: А кірісі импульстерді есептеуге және кіріс сигналының жиілігін өлшеуге арналған; Б кірісі периодты өлшеу және уақыт аралығы режимінде пайдаланады; Жиіліктердің қатынасын өлшеу режимінде екі кіріс пайдаланылады.

ЦЧ-нің бұл моделі тұрақты (модельдік) жиіліктің көзі ретінде де жұмыс істей алады.

6.3.ЦИФРЛЫҚ ВОЛЬТМЕТРЛЕР МЕН МУЛЬТИМЕТРЛЕР

ЦИП цифрлық вольтметрлер (СВ) және мультиметрлер (СМ) кен таралған отбасы өкілдерінің құрылғыларын және кейбір ерекшеліктерін қарастырайық.

6.3.1. Цифрлық вольтметр құрылымы

ЦВ оңтайланғандырған құрылымы 6.11-суретте көрсетілген. Аспап кіруіне өлшенетін кернеу U беріледі (тұрақты немесе айнымалы, оның ішінде периодтық).

ЦВ кіріс тізбектері кірмелік кернеуді сәйкестендірілген сигналға түрлендіру үшін арналған, әдетте –өлшенетін шаманың ақпаратты параметрінің мәніне пропорционал тұрақты тоқтың аз ғана кернеуіне (мысалы, периодтық кернеудің әрекеттік мәніне). Жалпы жағдайда ЦВ кіріс тізбектерінде күшейту, әлсірку, түзету, сүзгілеу, сигналды коммутациялау, қайта жүктелуден қорғау және басқа функциялар орындалады. Мысалы, *кіретін* периодтық кернеу түзеткіш көмегімен тұрақты кернеуге түрлендіріледі, кіші деңгейлі сигнал күшейтіледі, үлкен деңгейлі сигнал әлсірейді және т.б. Аспаптың негізгі түйіні – аналогты-цифрлық түрлендіргіш (АЦТ), ол кіру шамасының аналогтық пішінінен шығу шамасының цифрлық пішініне өтуді автоматты түрде жүзеге асырады (яғни пропорционал кодқа).

Кіріс тізбектер		АЦТ =)	Регистр	
* _____ ■■			f	
		■ IF _____		
Пернетақта	Ф	Бақылаушы		Индикатор

Интерфейс

6.11-сурет. Цифрлық вольтметрдің оңтайланғандырған құрылымы

ЦВ статикалық өлшемдер үшін әдеттегідей интеграцияланатын АЦТ қолданылады. Бұл түрлендірудің нәтижесі уақытша есте сақтау регистрінде сақталады. Бақылаушы аспаптың барлық түйіндерінің жұмысын басқарады. Аспаппен адамның өзара әрекеті (оператор) пернетақта мен индикатор көмегімен жүзеге асырылады. Пернетақта ЦВ жұмыс режимін беруге мүмкіндік береді. Цифрлық индикатор өлшеу нәтижелерін көрсетеді. Аспап құрылымында интерфейс қарастырылуы мүмкін, ол аспапқа сыртқы құрылғылармен, оның ішінде компьютермен байланысуға мүмкіндік береді.

Микропроцессорлық ЦВ құрылымы күрделілірек, бірақ мүмкіндіктері көбірек. Алдыңғы құрылымнан айырмашылығы, мұндағы бақылаушы күрделі. Оның құрамында басқарудың негізгі элементі болып табылатын микропроцессор (МП) болады; тұрақты жадтау құрылғысы (ТЖҚ), мұнда аспап жұмысының бағдарламалары сақталады, және жедел жадтау құрылғысы (ЖЖҚ), мұнда деректер сақталады. Мұндай бақылаушы түрлендіру, сақтау, жіберу және ақпаратты ұсыну бойынша түрлі функционалдық мүмкіндіктерді қамтамасыз ететін өзіндік жасанды интеллект болып табылады.

Микропроцессорлық аспап мысалы, кірмелі кернеудің бөлек өлшемдерінің бірнеше жүз нәтижелерін есіне сақтап, орташа, орташа квадрат мәнді есептеп шығара алады, ұзақ эксперимент уақытында ең аз және ең кіші мәндерді, қажетті туынды шаманы және т.с.с. таба алады. Құрамында өлшеудің бірнеше диапазондары бар ЦВ МП өлшеу диапазондарының автоматты таңдауымен басқара алады (кірмелі тұрақты кернеудің полярлығын автоматты таңдауы туралы айтпағанда). Әдеттегідей, микропроцессорлық аспаптарда басқа құрылғылармен ақпаратпен стандартты интерфейсін алмасу түйіні болады, оларды түрлі өлшеу және басқару жүйелер құрамына кіргізуге мүмкіндік береді.

6.3.2. Цифрлық мультиметр құрылымы

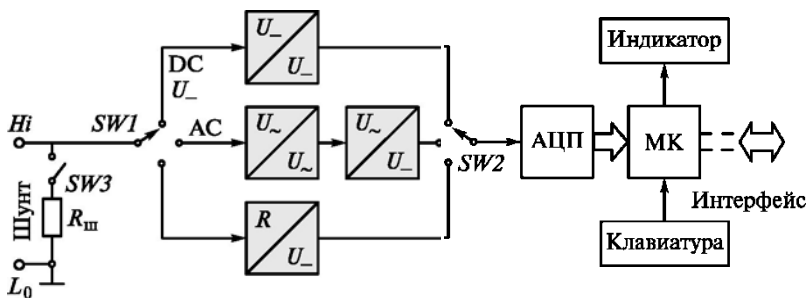
Цифрлық мультиметрлер (ЦМ) — Digital MultiMeter (DMM) — бұл негізінен бірнеше электрлік (мысалы, айнымалы және тұрақты кернеу мен токтар, кедергі, жиіліктер) және электрлік емес (мысалы, температура) шамаларды статикалық өлшеуге арнайы арналған көпфункционалы өлшеу аспаптары.

Дербес шағын ЦМ қазіргі уақытта кеңінен таралған құрал болып табылады, ол электр тізбектер мен төмен кернеулі (1000 В дейін) қондырғыларда түрлі өлшеу эксперименттерінде кеңінен қолданылады.

ЦМ құрылымы кез келген ЦИА құрылымына ұқсас. Айырмашылығы тек қана аспап кіруінде нақты кіру физикалық шамаларының бірнеше арнайы түрлендіргіштердің боуында. 6.12-суретте өлшенетін шамаларың ең аз жиынтығымен ЦМ оңтайландырған құрылымы көрсетілген: тұрақты (DC — Direct Current) және айнымалы (AC — Alternating Current) кернеу мен токтар, сонымен қатар кедергі R . Кіру өлшенетін шамалар кез келген жағдайда бірінші АЦТ кіруіне келіп түсетін тұрақты токтың пропорционал кернеуіне түрлендіріледі, мұнда ол кодқа ауысады.

Құрылымның құрамында бізге мәлім түйіндер бар: АЦТ (әдеттегідей, интеграциялау типті), микробақылаушы (МБ), пернетақта мен индикатор. Кірмелік тізбектерінде келесі аналогтық түрлендіргіштер болады:

- U_-/U_- — тұрақты кернеуді тұрақтыға (күшейткіш пен бөлгіш);
- $U_{\sim}/U_{\sim}$ — айнымалы кернеуді айнымалыға (күшейткіш, трансформатор, жиілікке тәуелсіз бөлгіш);
- $U_{\sim}/U_-$ — айнымалы кернеуді тұрақтыға (түзеткіш);
- R/U_- — кедергіні тұрақты кернеуге.



6.12-сурет. ЦМ оңтайландырған құрылымы

Өлшеудің нақты режимі ауыстырып-қосқыштардың жағдайымен анықталады: $SW1$, $SW2$ мен $SW3$. Кернеуді өлшеген кезде $SW3$ ауыстырып-қосқышы ажыратылған, ал $SW1$ мен $SW2$ ауыстырып-қосқыштары жоғарғы (тұрақты кірмелік кернеуде) немесе ортаңғы (айнымалы кірмелік кернеуде) жағдайға орнатылады. Кедергіні өлшеу үшін кедергіні тұрақты кернеуге түрлендіргіш R/U_- ($SW1$ мен $SW2$ ауыстырып-қосқыштары төменгі жағдайда орнатылады, ал $SW3$ ауыстырып-қосқышы ажыратылған) қосылады.

Токты өлшеу режимінде ішкі шунт қолданылады (аз кедергілі R^A нақты резистор). Бұл кезде $SW3$ ауыстырып-қосқышы тұйықталған және резистор бойымен R_m өтетін өлшенетін ток токқа пропорционал кернеудің азаюы түзіледі. Егер кірмелік ток тұрақты болса, $SW1$ мен $SW2$ онда ауыстырып-қосқыштары жоғарғы жағдайға орнатылады. Егер кірмелік ток айнымалы болса, онда $SW1$ мен $SW2$ ауыстырып-қосқыштары ортаңғы жағдайда орнатылады.

ЦМ құрылымында сыртқы құрылғылары бар интерфейссті байланысты түйіні болады.

Көптеген басқа ЦИА секілді заманауи ЦМ екі топқа бөлуге болады (сандық және сапалы қатты ажыратылатындар):

- автономды — салыстырмалы қарапайым, арзан, азгабаритті және жедел өлшеуге арналған көпшілікті аспап;
- жүйелік — күрделі, прецизиондық немесе тезәрекетті, қымбат аспаптар, басқару жүйелері және/немесе түрлі өлшеу-есептеу жүйелерінің құрамында жұмыс жасау үшін арналған.

Қазіргі уақытта техникалық өлшем тәжірибесінде бірінші топтың ЦИ кеңінен таралған — шағын (Hand-Held — алақанда ұсталатын) және миниатюралы (Pocket Size — қалта пішінді) мультиметрлер, олар жеделөлшемдерге арналған тасымао аспаптарға ұсынылатын талаптарға өте жақсы жауап береді. Олардың габариттері мен массалары кішкентай; олардың өзгеруінің кең диапазонында бірнеше түрлі шамаларды өлшеуге мүмкіндікті қамтамасыз етеді; барынша қанағаттандырылдық нақтылық пен сезімталдық болады. Бұл аспаптарда жақсы пайдалану сипаттамалары, автономды қоректендіру, олар сенімді, қолдануда ыңғайлы және қарапайым. Қазіргі заманғы көптеген ЦМ өлшеу диапазоны мен полярлықты автоматты таңдауды қамтамасыз етеді.

Кең қолданысты мультиметрлермен өлшенетін шамалардың типтік жиынтығына тұрақты және айнымалы кернеулер, тұрақты және айнымалы токтар, тұрақты токқа кедергі кіреді. Негізгі өлшенетін шамалардың диапазоны мынадай:

- кернеу (тұрақты және айнымалы ток) — милливольт үлесінен киловольтқа дейін;
- токтар (сыртқы шунтсыз немесе ток трансформаторларсыз) — ондық миллиамперден он амперге дейін;
- кедергілер — ом үлесінен ондық мегаомға дейін.

Кейбір модельдер қосымша мүмкіншіліктерге ие, мысалы, температураны стандартты термометр көмегімен өлшеу; электрлік

сыйымдылықты өлшеу; периодты сигналдардың жиілігі мен сіңіргіштікті өлшеу; жартылай өткізгіштік аспаптарын тексеру режимдері; шынжырларды «звондау» режимдері және т.б.

Жалпы жағдайда СМ-нің (сонымен бірге басқа ЦИП-ның) әртүрлі үлгілерінің дәлдік дәрежелері басқаша болуы мүмкін. Әдетте, негізгі абсолюттік және салыстырмалы қателердің шекті мәндері пайдаланылады. Дәстүрлі СМ-дың дәлдік класы 0,1-ден 5,0% -ға дейін (мүмкіндіктері, өлшенетін параметрлері, диапазондары, құрылғының құны) байланысты. Рұқсат ету қабілеті R: 1: 200-ден 1: 20 000-ге дейін. Құралдың салмағы: 100 г... 1 кг.

6.3. АСПАПТАРДЫ ТАҢДАУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Әртүрлі сипаттамалары бар белгілі бір жиынтығынан өлшеу құралының (соның ішінде өлшеу құралының) құзыретті таңдауы дұрыс нәтиже беретін өлшеу нәтижелерінің (тіркеу) сенімділігі, өлшеу құралдарының тиімділігі, эксперименттердің жалпы шығындары туралы маңызды мәселе болып табылады

6.4.1. Метрологиялық сипаттамалар бойынша аспаптарды таңдау

Өлшеу диапазондары мен негізгі өнімділік сипаттамалары үшін бірдей бірнеше құрылғылардан бір құрылғыны таңдауға болатын болса, ең алдымен, құрылғылардың метрологиялық сипаттамаларын басшылыққа алу керек. Ол априори сметалық қате нәтижелер болады. өлшенген құнының сметалық құны белгілі болса эксперименттік шарттары сондай-ақ анықталған, ол (кем дегенде шамамен анықтау, яғни) бағалауға болады және қажет априори (яғни эксперимент дейін) барлық салыстырмалы құрылғылардың күтілуде аспаптық қателіктер.

Өлшеу нәтижелеріндегі қателерді бағалауға екі әдіс бар: детерминистік және ықтималдық (статистикалық). Бірінші әдіс қарапайым, бірақ жалпы бағаланатын қателік сметасын береді, себебі ол барлық компоненттердің үйлесімінің ең жаман жағдайын қарастырады. Бұл кейде ең жаман әдіс деп аталады.

Электр желісінің өтпелі кернеуінің тиімді мәнін статикалық өлшеу үшін құрылғыны таңдаудың үлгісі бойынша детерминистикалық әдісті қарастырайық. Өлшенген тиімді мәндердің диапазоны 170 ... 260 В болады деп есептейік. Өлшенген кернеудің номиналды жиілігі 50 Гц. Тәжірибедегі температура +35 ° С жоғары емес деп есептеледі. Жалпы аспаптық салыстырмалы қателік 3 ... 4% -дан кем емес деңгейде қамтамасыз етілуі керек.

Мысалы, бізде екі сандық мультиметер бар: ЦМ 1 және ЦМ 2. Олардың негізгі сипаттамалары келесідегідей.

ЦМ 1. 0 ... 500 В ауыспалы кернеулердің тиісті диапазоны бар миниатюралық (Pocket-Size) қарапайым және арзан сандық мультиметр. Құрылғының дәлдік сыныбы (5P-нің салыстырмалы қателігінің шекті мәні 0 ... 45 ° С-ге дейін) 5П = ± 5,0%.

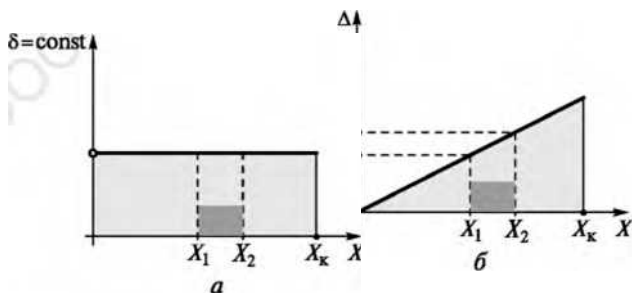
ЦМ 2. 0-ден 400 В ауыспалы кернеулерін өлшеудің тиісті ауқымы бар сандық ықшам (Hand-Held) мультиметр. Бұл диапазонда құралдың дәлдік класы (негізгі абсолюттік қатенің Дп шекті мәні):

$$D_n = \pm(0.005L; + 0.005LG),$$

мұнда X_k — өлшемнің жоғарғы мән диапазоны (біздің жағдайда $X_k = 400$ В); $X \sim$ болжамды өлшеуші мәні, бұл жағдайда $X = 170...260$ В.

Қосымша қателік қоршаған орта температурасы 0-ден 50 °С температурасының өзгеруі арасында номиналды 20 °С температурасынан әр бір негізгі 10 °С жартысы ретінде анықталады.

Көріп отырғанымыздай, аспаптың дәлдік кластары әр түрлі белгіленген (6.13 және 6.14 суреттерінде көрсетілген X өлшеуші мәндерінен салыстырмалы және абсолютті қателіктерінің графикалық қателіктері). Сондықтан метрологиялық мүмкіншіліктерді дұрыс салыстыру үшін



Сурет 6.13. Өлшеуші X мәнінен ЦМ 1 салыстырмалы (а) және абсолютті (б) қателіктердің тәуелділігі

Сурет 6.14. Өлшеуші X мәнінен ЦМ 2 салыстырмалы (а) және абсолютті (б) қателіктердің тәуелділігі

қателіктердің аспаптарын бір пішінге алмастыру қажет.

Екі құрылғы үшін де екі аспап бойынша кернеуді өлшеудің күтілетін нәтижелерінің абсолюттік A және салыстырмалы 8 аспаптық қателіктерінің мәндерін сандық бағалауға мүмкіндік береміз және қарапайым (детерминирлік) тәсіл - ең нашар әдіс, яғни берілген жағдайлардағы қателіктердің максималды мәндерін анықтау.

ЦМ 1. Суммалық (яғни негізгі және қосымша құраушылардың) инструменттік абсолютті қателіктердің шекті мәні D_c , В. Бірінші аспап үшін:

$$^1 \quad 100$$

мұнда X — өлшеу мәндері.

Көп мәндерде X ($X - 260$ В) қателіктер жоғары болады:

Бұл аспаптың салыстырмалы қателігі 8, әрдайым барлық өлшеуші кернеу диапазонында белгілі және $\pm 5\%$ тең.

ЦМ 2. Негізгі абсолютті қателік мәндері D_{20} , В:

$$D_{20} = \pm(0,005X_K + 0,005*),$$

мұнда X_K — өлшеуші диапазонның жоғарғы мәндері (біздің жағдайда $X_K = 400$ В); X — болжаулы өлшеу мәндері, біздің нұсқада — өлшеу мәндері $X - 170...260$ В.

Өлшеуші кернеудің төменгі мәндері X қателіктерге сәйкес D_{20m} :

$$D_{20-m} = \pm(0,005 \cdot 400 + 0,005 \cdot 170) = \pm(2,0 + 0,85) = \pm 2,85 \text{ В.}$$

Х үлкен мәндеріне $L_{20,6}$ қателіктері сәйкес:

$$L_{20,6} = \pm(0,005 \cdot 400 + 0,005 \cdot 260) = \pm(2,0 + 1,3) = \pm 3,3 \text{ В.}$$

Қосымша абсолютті қателік Дтд Х мүмкін болушы мәндердің диапазондары шекарасы үшін анықталады:

$$L_{2Д.м} = 2 A_{20,м}(35 - 20) / 10 = \pm 22, \quad 15 / 10 = \pm 2,1 \text{ В;}$$

$$C_{Д.б} \sim L_{20,6}^{(35-20)} / 10 = \pm 23,3 \cdot 15 / 10 = \pm 2,48 \text{ В.}$$

Суммарлық инструментті абсолютті қателіктер $D_{2м}$ (Х кіші мәндері үшін) және D_{26} (Z үлкен мәндері үшін), мынаған тең:

$$L_{2М} = L_{20,м} + L_{2Д.м} = \pm(2,8 + 2,1) = \pm 4,9 \text{ В;}$$

$$L_{2б} = L_{20,б} + L_{2Д.б} = \pm(3,3 + 2,48) = \pm 5,78 = \pm 5,8 \text{ В.}$$

$X = (170...260)$ В мәндеріндегі диапазон шекарасы үшін суммарлық салыстырмалы қателіктерінің 8_2 шекті мәндері мынаған сәйкес:

$$5_{2м} = \pm(4,9 : 170) 100 = \pm 2,88 = \pm 2,9 \text{ %;}$$

$$5_{2б} = \pm(5,78 : 260) 100 = \pm 2,22 = \pm 2,2 \text{ %.}$$

Жалпы абсолюттік Д және салыстырмалы 5 аспаптық қателердің шекті мәндерінің алынған бағалауы 6.2-кестеде келтірілген.

Өлшеу нәтижелеріндегі нақты қателер есептелген шекті мәндерден аспайтын нақты мәндер болуы мүмкін екендігін атап өткен жөн.

Яғни, келесідегдей қорытынды жасауға болады. Бұл мысалда эксперимент үшін екінші аспапты (ЦМ 2 аспабы) пайдалану жөн, себебі олар барлық қойылған шарттарға жауап береді, сонымен қатар өлшеуші кедергі мен қоршаған ортаның температурасының мүмкін мәндер барлық диапазонында шекті салыстырмалы қателіктердің (қажетті 3...4% орнына 2,9...2,2%) талаптарына жауап береді.

Кесте 6.2

Суммарлық инструкциялық қателіктерді бағалау

Аспап	Л, В	5, %
ЦМ 1	± 13	$\pm 5,0$
ЦМ 2	$\pm 4,9/\pm 5,8$	$\pm 2,9/\pm 2,2$

6.4.2. Өлшеу диапазонын таңдау

Өлшеу диапазонын дұрыс таңдаудан бастап өлшеу нәтижелерінің сенімділігі (тіркеу) және эксперимент жұмысының тиімділігі үлкен дәрежеде байланысты. Қалаған ауқымын таңдау логикалық операциялар блок (микропроцессор) арқылы автоматты түрде (пайдаланушы) қолмен жүзеге асырылады немесе мүмкін. ештеңе өлшенетін параметр ықтимал құны туралы белгілі болса, ол асқан («дөрекі») ауқымы бастап өлшеу қажет, және біртіндеп қолайлы неғұрлым сезімтал іздеу көшу. Өрқашан индикаторы оқулары айтарлықтай сандардың ең көп санын қамтиды, онда ауқымын таңдау үшін тырысу керек.

Өлшеу диапазондарын таңдау көп шекті ЦМ күш мәніне статикалық өлшеу мысалында сұрақтар қарастырылады. Эксперименттер интервалында тоқтың мәнін өзгермейді деп аламыз. Әдістемелік қателіктерді, әсерлесу қателіктерін, субъективті қателіктерді ескере отырып, барлық диапазондарда тоқтың өлшемдері нәтижесін абсолютті Д және салыстырмалы 8 қателіктердің инструменттерімен есептеледі. Бұл жағдайда ең қарапайым әдіспен — детерминациялау әдісімен (ең жаман жағдайдағы әдіспен), яғни максималды мүмкін қателіктер мәндерін анықтаймыз.

Мысалы, ауыспалы тоқты өлшейтін үш диапазонды мультиметр бар: бірінші диапазон 0... 10 А; екінші 0... 1,0 А; үшінші 0... 100 мА. Аспап шкаласының ұзындығы $L = 999$ нүкте (яғни үш толық он мыңдық разрядқа тең) барлық диапазондарында тең. Болжасақ, қарапайым үшін аспаптың дәлдік класы барлық диапазонда бірдей және негізгі абсолютті қателіктің шекті мәнімен анықталады:

$$D_n = \pm(0,005* + 0,01*),$$

мұнда * — өлшеуші мән (өлшеу нәтижесінде); X_k — нақты өлшеуші диапазонның жоғарғы мәндері.

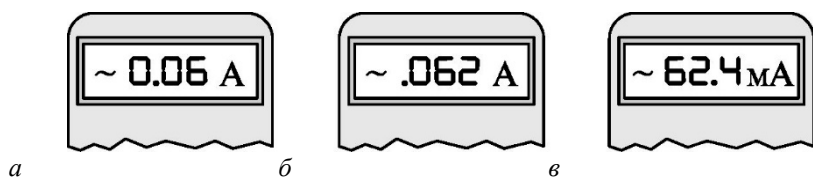
Сондай-ақ, эксперимент уақытында құрылғының пайдалану шарттары қалыпты болып табылады, яғни. негізгі аспаптық қате ғана бар (Егер бұлай болмаса, онда біз қосымша қатені бағалауымыз және жалпы қатені табуымыз керек).

Үш эксперимент орындалды делік - зерттелетін тізбектегі ток I_x мәндері кез-келген үш ауқым бойынша кезек-кезек өлшенеді және келесі нәтижелер алынады (6.15-сурет):

0, 0... 10 А диапазонында 06 А;

0, 062 А екінші диапазонында — 0... 1,0 А;

62.4 мА үшінші диапазонында — 0... 100 мА.



Сурет 6.15. Үш диапазонындағы өлшемдердің нәтижелері: **а** — 0 ... 10 A; **б** — 0... 1,0 A; **в** - 0 ... 100 mA

Алғашқы өлшеу нәтижесінің негізгі абсолюттік қателігінің A_1 шекті мәні ЦМ дәлдік класы арқылы анықталуы мүмкін:

$$A_1 = \pm(0,005 \cdot 0,06 + 0,01 \cdot 10) = \pm 0,1003 \text{ A} \cdot \pm 100 \text{ mA}.$$

Негізгі абсолютті қателіктердің шекті мәндері L_2 , A_3 екінші және үшінші өлшемдер төмендегідей анықталулары мүмкін:

$$D_2 = \pm(0,005 \cdot 62 + 0,01 \cdot 1000) = \pm 10,31 \text{ mA} - \pm 10 \text{ mA};$$

$$A_3 = \pm(0,005 \cdot 62,4 + 0,01 \cdot 100) = \pm 1,312 \text{ mA} - \pm 1,3 \text{ mA}.$$

Сәйкес негізгі салыстырмалы қателіктердің шекті мәндері S_h §2, 83 барлық үш диапазонда тең: $S_1 = \pm 167 \%$; $S_2 = \pm 6 \%$; $S_3 = \pm 2,1 \%$.

Өлбетте, бұл жағдайда ағымдағы мәнді өлшеу үшін, үшінші ауқымды (0 ... 100 mA) таңдаған дұрыс, себебі ол екіншіден, және біріншіден (шамамен 80 рет) диапазондарға қарағанда әлдеқайда аз қатені қамтамасыз етеді.

Осы мысалда соңғы өлшеу нәтижесінің I_x дұрыс жазылуы (0 ... 100 mA ауқымында) келесідей көрінеді:

$$I_x = 62,4 \text{ mA}; A = \pm 1,3 \text{ mA} \text{ ықтималды түрде } p_{\text{яов}} = 1.$$

Тұтастай алғанда, нәтиженің жалпы қателігінің басқа ықтимал компоненттерін ескеру қажет, мысалы, өзара әрекеттесудің қателігі, бұл қазіргі кездегі өлшеуіш режимінде ЦМ-нің жеткіліксіз кіру импедансымен туындауы мүмкін.

Көбінесе заманауи ЦМ модельдері қолдың және автоматты таңдау диапазондары (АТД) режимдері болады (Autoranging DMM). АТД режимдері операторға диапазондарды ауыстыру жайлы қобалжымауға мүмкіндік береді. Әсіресе бұл кірердегі өлшеуші параметрлердің ештенкесі белгілі болмағанда, немесе, өлшеу кезінде мән жиі өзгерген жағдайда өте маңызды (мысалы, 2...5 рет). Көрсетілген жеңілдіктерден басқа АТД режимі максимал түрде дәлдікті жоғарылатып және рұқсат етілетін мүмкіншіліктерді қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Шынымен, АТД көбінесе, аспаптың жылдам жұмыс істеуіне әкеледі.

Ең қарапайым түрде, масштабтың ұзындығы ондық бөлшек санының бүтін санына тең, АЕД алгоритмі келесідей.. Құрылғының жұмысы қарапайым аналогты-цифрлық түрлендіру орындалатын ескі (қалың) ауқымды қосудан басталады. Содан кейін құрылғының контроллері (микропроцессор) нәтиженің ең жоғары ондық орны мазмұнының автоматты түрде талданады. Егер ол нөлге тең болса, ең жақын төмен

(неғұрлым сезімтал) ауқым қосылып, жаңа түрлендіру орындалады. Тағы да, контроллер ең үлкен биттің мазмұнын анықтайды. Егер айталық, ол нөлге тең, ал келесі төменгі (тіпті сезімтал) ауқым. Осылайша, осы алгоритмдегі AED құрылғысы контроллері жоғары диапазоннан автоматты түрде басталады, бірнеше ауқым (мүмкін барлық) және конверсия нәтижесі барлық сандарда (немесе төменгі деңгей кіріс сигналы болған кезде ең аз).

Циклдік операция барысында сигнал едәуір артып кетсе, келесі жоғары диапазонға өтуіңіз керек болса, ол АЦТ контроллері толған кезде пайда болатын жүктеме сигналына байланысты болады. Құрылғының тұрақтылығын ауқымның шекарасына жақын ұстау үшін, жұмыс алгоритмі, әдетте, бір жолдан екіншісіне өту үшін кейбір гистерезисді (10-20%) қамтамасыз етеді

Мысал-аналогия ретінде 6.15 суретін қарастырамыз. Бірінші өлшемде (6.15, а суретін қара) «0.06 А» мәнге ие болды, яғни ең жоғарғы разряд кезінде мән 0-ге тең. Автоматты түрде келесі кіші диапазонына ауысқаннан кейін жаңа нәтиже — «0.062 А» тең (Сурет 6.15, б қара). Бұл жағдайда ең жоғарғы разрядта нәтиже 0-ге тең болады. Тек келесі сезімталдылығы жоғары жиілікке көшкеннен кейін ғана барлық нәтижелер «62.4 мА» тең болады (сурет 6.15, в қара). Тек осы диапазонда ғана барлық келесі өлшеулер жүргізіледі.

Кейбір ЦМ модельдерінде алгоритм мәселелері қисынды, бұл жағдайда контроллер барлық разрядтарды сараптайды.

Бақылау сұрақтары

1. Төрт АЦТ-ның ішінде шкаланың L ең үлкен ұзындығына ие, егер олардың разрядтары белгілі болса: $= 11$ екілік разряд (бит); $n_2 = 3$ мыңдық разрядтар; $n_3 = 3!$ Оңмыңдықты разрядтар; $n_4 = 10$ бит? Интеграциялық сандық вольтметрдің негізгі артықшылықтары қандай? Бұл типтің ЦВ негізгі кемшілігі қандай?

2. АЦТ кірердегі кедергісі $0... +5,12$ В өлшеу диапазондарына ие. АЦТ зарядтылығы $n = 10$ бит (екілікті разряд). Кванттың салмағын u анықтаңыз (кіші мәнді разрядтың бірліктері).

3. Сандық вольтметрдің паспорттында былай жазылған: «желілердің жиілігінің периодты бөгеттерін жұтушы коэффициентінің мәні 60 дБ кем емес». Неше есе рет бөгет әлсірейді?

4. АЦТ параллельді түрлендірудің негізгі артықшылығы не негізгі кемшілігі қандай?

5. ЦЧ жиілікті өлшеу режимінде келесідегідей интервал мәніне ие $T_0 =$

— $100 \text{ мс} + 1 \text{ мкс}$. Кіруші жиілік үшін аддитивті және мультипликатты қателіктердің абсолютті және салыстырмалы қателіктерінің мәнін бағалауды көріңіз/. $= 2 \text{ МГц}$.

6. ЦЧ дәлдік класы периодты өлшем режимінде $A = \pm(0,001 \text{ Г}_\Delta. + + 0,001 \text{ Г}_\kappa)$; өлшеу диапазоны $T_\kappa = 100 \text{ мс}$. Период өлшемі $T_x = 35 \text{ мс}$ жағдайы үшін абсолютті және салыстырмалы мәндерді анықтаңыз. Сенімді ықтималдылығы үшін өлшеу нәтижелерін жазыңыз $P_{яoB} - \Gamma$

7. Жиілікті өлшеу режимінде екі ЦЧ сипаттамалары белгілі: ЦЧ1 келесі интервалға ие $\Gamma_{01} = 0,1 \text{ с} \pm 0,001\%$; ЦЧ2 келесі интервалға ие $T_{02} = 1,0 \text{ с} \pm \pm 0,002 \%$. Жиілікті өлшеудің $f_x \sim 0,5 \text{ МГц}$ минимал қателігімен қамтамасыз ететін ЦЧ таңдаңыз.

8. Жиілікті өлшеудің $f_x \sim 20 \text{ кГц}$ минимал қателігімен қамтамасыз ететін ЦЧ таңдаңыз. ЦЧ сипаттамалары: жиілікті өлшеу режиміндегі интервал: $T_0 - 0,1 \text{ с} + 0,01 \%$; периодты өлшеу режиміндегі тактатты жиілік $F_0 = 10 \text{ МГц} + 0,01 \%$.

9. Интервал өлшемдерінің $T_x \sim 0,01 \text{ с}$ минимал шекті қателігін қамтамасыз етуші ЦЧ таңдау. Жиілік өлшегіштердің сипаттамалары келесідегідей: ЦЧ1 тактілік жиілікке ие $/\text{щ} = 10 \text{ МГц} + 100 \text{ Гц}$; ЦЧ2 $F_{02} = 1 \text{ МГц} \pm 10 \text{ Гц}$ тактілік жиілікке ие. Сонымен қатар ЦЧ таңдау үшін салыстырмалы және абсолютті қателіктердің шекті мәндерін жазыңыз.

САНДЫҚ ТІРКЕУ ЖӘНЕ СИГНАЛДАРДЫ САРАПТАУ

7.1. ЖАЛПЫ МӘЛІМЕТТЕР

Практикалық есептерде электрлік өлшемдер өте жиі динамикалық модельдердің процесі мен нысандары пайдаланылады.

Статикалық өлшемдер үшін (вольтметрлер, амперметрлер, ваттметрлер, термометрлер, манометрлер және т.с.с.) автономды өлшеуші аспаптар (аналогты да, сандықты да) ұзақ автоматты сигналдарды, зерттеуші процестер мен нысандарды кезекті сараптау, динамикада процестің/нысанның модельдерінің кейбір кілтті параметрлерін, процесті немесе нысанның ерекшеліктерін толықтай бағалау жұмыстарын жүргізуге мүмкіншілік бермейді.

Аналогты жазу құрылғылары (өзін-өзі жазу құралдары, жарық сәулелерінің осциллографтар, магнитографтар, жадыдағы электронды-сәулелік осциллографтар) бірқатар елеулі кемшіліктерге ие: салыстырмалы түрде жоғарғы емес дәлдік, кіруші каналдардың кейбір жағдайда жетіспеуі, төмен беріктік, үлкен габаритті өлшем мен масса, нәтижелердің жазбаларын автоматты түрде өңдеуде ұйымдастырушылықтың қиындығы. Одан басқа, оларды практикалық тұрғыда ақпараттық-өлшеуші жүйеде, автоматты бақылау жүйесінде пайдалану мүмкін емес.

Динамикалық өлшемдер мәселелерін шешу үшін, ұзақ мерзімді автоматты тіркеу, сандық әдістер мен құралдар кеңінен қолданылады. Кішігірім сандық өлшеуіштер мен анализаторлар, микропроцессорлық және компьютерлік өлшеу және жазу құралдары жиі пайдаланылуда. Сигналдарды кейіннен цифрлық талдау дәл едәуір үлкен көлемдегі сандық деректердің тіркелген массивтеріне негізделген. Сандық өлшеуіштердің маңызды артықшылықтарының бірі тіркеу процедурасынан автоматтандырылған цифрлық талдауды жеңіл және табиғи түрде көшіру болып табылады.

Өлшеу жабдықтарын дамытудың қазіргі заманғы деңгейі күрделі эксперименттерді ұйымдастыру үшін бай мүмкіндіктер береді. Сандық тіркеу қызметтері мен сигналдардың сараптаулары жоғарғы дәлдікті мәндермен (1,0...0,01 %), рұқсат етуші мүмкіндіктермен (1:200... 1:65000), түрлендіру тұрақтылығымен, жылдам жұмыс істеуі, сақтау мәліметтерінің үлкен көлемімен (100 Кбайт...10 Мбайт) сипатталады; бұл жағдайда әр түрлі қиындатылған өңдеу алгоритмдері пайдаланылады.

7.2. ЦИФРЛЫҚ ӨЛШЕУШІ ТІРКЕУ

Көптеген заманауи динамикалық өлшеу құралдарының жүрегінде сандық өлшеулерді жазу принциптері жатыр. Сандық өлшеу құралдарының сыныбы бүгінгі күні әр түрлі құрылғылармен ұсынылған: салыстырмалы қарапайым және «модельді» мәліметтерді жинағыш —

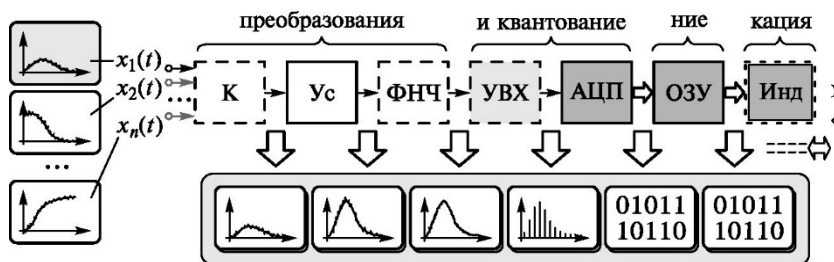
логгерамдар (Data Logger); жылдам жүретін процесті тіркеулер (Transient Memory); сандық осциллографтармен (Digital Storage Oscilloscope — DSO); уақытты аумақтардағы сигналдарды сараптаушылармен (Digital Signal Analyzer, Time-Domain Analyzer); жеке меншік аумақтарда сигналдарды сараптау (Frequency-Domain Analyzer); әр түрлі компьютерлік өлшеуші аспаптармен (Computer-Based Instrumentation). Барлық осы құралдардың негізін құрайтын ақпараттық трансформацияның негізгі формалары кіріс сигналдарын аналогты-цифрлық түрлендіру, сандық эквиваленттердің үлкен массивтерін сақтау, сандық талдау және тарату болып табылады.

Сандық өлшеуіштерде аналогтыға тән кемшіліктер жоқ және қазіргі заманғы өлшеу техникасында табысты қолданылады. Қазіргі уақытта әлемде динамикалық өлшемдердің әртүрлі мәселелерін шешуге арналған автономды (кішігірім) және мамандандырылған (дәл немесе жоғары жылдамдықты) магнитофондар, компьютерлік өлшеу құралдары бар.

7.2.1. Цифрлық өлшеуші тіркеудің жабдықтары

Цифрлық өлшеуші тіркеуіштер (ЦИР) — бұл ұзақ уақыт мезетінде электрлік және электрлік емес өзгеруші мәндрді динамикалық өлшеу және тіркеу үшін арнайы пайдаланылатын өлшеуші түрлендіргіштер (немесе өлшеуші аспаптар). ЦИР мәліметтерді сақтау көлемі ЦИП-пен салыстырғанда көп. Одан басқа, ЦИР-дің аналогтық-сандық түрлендіргіші көбінесе қарапайым ЦИП құрамымен алыстырғанда әлде қайда жылдам жұмыс істейді.

7.1 суретінде ЦИР оңтайландырылған құрамы келтірілген.



7.1-сурет. Цифрлық өлшеуші тіркеуші құрамы

Егер ЦИР көп каналды болса, онда кірісте К коммутатор тұрады, ол тізбектеу (немесе белгіленген бағдарлама бойынша) алғашқы өлшеуші түрлендіргіштердің (датчиктердің) зерттеу сигналдарын $l_1(t)$, $l_2(t)$, ..., $l_n(t)$ таңдайды. Сонымен қатар, таңдалған сигнал аналогтық трансформацияға ұшырайды (жалпы алғанда, бұл масштабтау, яғни сигналды күшейту немесе бөлу, сүзу, линеаризация). Сурет 7.1 сұлбасында, мысалы, К коммутатордың шығысындағы сигнал U_c күшейткішімен күшейтіледі және ФНЧ төменгі жиіліктің фильтріне түседі, онда жоғарғы жиілікті бөгеттер мен шулар жұтылады. Артынша, УВХ таңдау/сақтау жабдығының көмегімен аналогты-сандық түрлендіргіштің (АЦТ) көмегімен кванттау және сигналды дискреттеу (дискретті уақытқа ауысу) жүргізіледі. Көптеген нәтижелерді өңдеу кезінде оперативті сақтау жабдығында (ОЗУ) сақталады, оның көлемі үлкен. Тіркеу процедурасы аяқталғаннан кейін (немесе оны орындау кезінде) деректерді интерфейс арқылы көрсетуге немесе басқа (сыртқы) құрылғыларға беруге болады.

7.1 суретінде пунктирлі рамкамен белгіленген түйіндер ЦИР құрамында басқа да нұсқаларда болмауы мүмкін (7.1 суретінде контроллер көрсетілмеген).

Сандық өлшеуші журналдар динамикалық өлшеу / тіркеудің классикалық аналогтық құралдарын сенімді ауыстырады. Бүгінде олар процестердің параметрлеріне, қоршаған ортаға мониторинг жүргізу міндеттерінде (ұзақ мерзімді бақылау); түрлі энергетикалық зерттеулерде кеңінен қолданылады.

7.2.2. Сигналдарды дискретизациялау, кванттау және жаңғырту

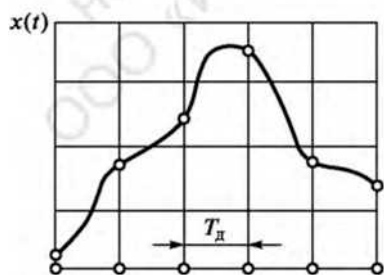
«Дискреттеу» және «квантизация» терминдері негізінен синонимдер болып табылады, бірақ олар басқаша пайдаланылатындықтан (және бұл жалпы қабылданған) болды. «Дискреттеу» термині әдетте үздіксіз аргументті (ағымдағы уақытты) лездік мәндердің шектеулі ретпен ауыстырылу рәсімін белгілеу үшін пайдаланылады, яғни, дискретті уақытқа көшу. «Квантизация» термині цифрлық эквиваленттердің шектеулі жиынтығынан шексіз мәндердің үздіксіз функциясының (сигнал деңгейінің) шексіз жиынтығын ауыстыруды білдіреді. Дискреттеу және квантизациялау цифрлық өлшеулерді жазудың негізі болып табылатын, аналогты-цифрлық түрлендіруді жүзеге асырады және мақсатқа жетеді және уақытша және кіріс сигналының деңгейі соңғы сандық эквивалентпен үздіксіз фрагменттің көрінісін береді.

Әр түрлі себептермен АЦТ-дан түсетін сандық мәліметтерді өңдеу кейбір кездерде реалды емес жағдайда жүргізіледі, сондықтан кейбір сақтаушы жабдықтауда аралық ақпараттарды сақтау қажет. Мұндай кіруші сигналдың, кодтарын сақтау үшін дискреттеу және кванттау процедурасы *сандық тіркеу* болып табылады. Сондықтан өлшеуші эксперименттерде барлық түрлендіргіштің нақтылығын анықталады, онда негізгі элементтердің құрамы мен барлық жабдықтың

метрологиялық сипаттамасын білу қажет. Бұл жағдайда *сандық өлшеуші тіркеу* туралы әңгіме жүруде.

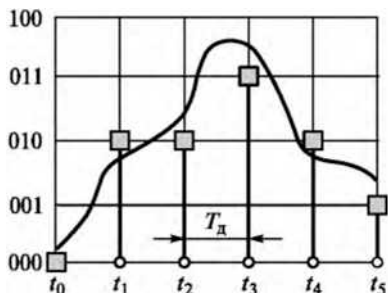
Процедура кезінде кіріс сигналының $x(t)$ үздіксіз дискреттеу және кванттау фрагменттері (сол кезде және деңгей кезінде) дискретизация қадамымен T_a алынған $t_0, t_1, t_2, t_3, \dots$, уақыт мезеттерінде дискретті есептеу кезінде сандық эквиваленттерде (кодов 7V,) массив трансформацияланады (Сурет 7.2).

Тіркеудің дискретизациялау және интервал қадамы. Дискретизациялаудың нақты пішінін орындау сигналдың сипаттамасымен анықталады.



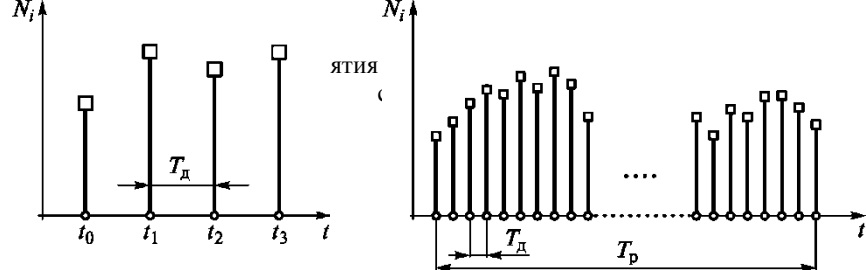
$t_0 \quad t_1 \quad t_2 \quad t_3 \quad t_4 \quad t_5$

a



б

Сурет 7.2. Сигналды дискреттеу (a) және кванттау (б)



б

Ең қарапайым дискретизация түрі — біркалыпты дискреттеу, бұл кезде көрші есептеулердің арасындағы уақыт (дискреттеу T_d қадамы) тіркеу интервалы T_p кезінде тұрақты. Біркелкі дискреттеу техникалық іске асыру кезінде өте қарапайым, сондықтан көп жағдайда пайдаланылады.

Кейбір жағдайларда жазу үрдісіндегі іріктеу сатысы тұрақты емес, бірақ сигналдың белгілері бойынша анықталады (мысалы, сигналдың өзгеру жылдамдығы, яғни сигналдың туындысының ағымдағы мәні) бірдей емес іріктеу пайдаланылады.

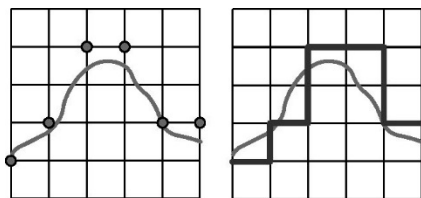
7.3 суретте іріктеу сатысының T_d тұжырымдамасы (іргелес үлгілер арасындағы уақыт интервалы - аналогты-цифрлық түрлендіру нәтижелері) және жазу аралығы T_p (жалпы жазу уақыты).

Эксперимент алдында қадамның мәні T_d кей бір диапазондарда берілетін болса (тұтынушымен бағдарламалау), онда дискреттеудің нақты қадам мәнін (немесе жиілігі $F_a = 1/T_d$) таңдау туралы сұрақ пайда болады. Бұл сұрақ өте маңызды болып келеді. T_d қадамы кіші болған сайын (немесе, F_a жиілігі артқанда), онда сигналдың қалпына келтіру және өндеудің көз қарасымен жақсырақ. Бірақ, екінші жағынан дискреттеудің жоғарғы жиілігі көлемі шектеулі тіркеуіштің жадын толтыру жылдамдығы жоғары екенін білдіреді. Әр бір бөлек эксперименттер үшін жиіліктің мәні F_a кіріс сигналдың өзгеру жылдамдығының мүмкіншілігімен; сандық акпараттарды болашақта пайдаланудың әдісін; мәліметтерді өндеу алгоритмі; сандық эквиваленттер бойынша кіріс сигналын қалпына келтіру мақсаттары мен міндеттерімен; графикалық акпараттарды көрсету спецификациясымен; қажетті соңғы қателіктермен; көлем жадымен анықталады.

Электрлік өлшеулерді практикада есептер бар, оларға кіріс сигналдарының дискреттеудің E_d жоғарғы жиілігі қажет (АЦТ жылдам жұмыс істеуі). Мысалы, желінің кернеуінің электрлік сигналдың спектральді құрамын сараптау кезінде дискреттеудің жиілігі қажет болады $F_a = (100...200)$ кГц (дискреттеу қадамы T_A сәйкесінше $10...5$ мкс тең болуы керек). Және де мынадай есептер бар, мұнда дискреттеудің жиілігі әлде қайда төмен (яғни дискретизация қадамдарының T_A үлкен мәндері рұқсат етіледі). Практикалық тұрғыда барлық жылулық процестер — баяу ауысатын процесс, бұл кезде дискреттеудің P_d төменгі жиілігі мүмкін болатын зерттеулер. Мысалы, сандық тіркеудің дискреттеу қадамы T_d үш тәулік ішінде температураның өзгеру сипаттамасын зерттеу үшін (яғни, жазбаның жалпы ұзындығы — тіркеу интервалы $T_p = 72$ сағ.) 15 минут деп таңдауға болады. Бұл дегеніміз жазбаның аяқталуымен есептеулердің (нәтижелердің) жалпы саны тіркелген (жадыда сақталған) $N = 72 - 60/15 = 288$. Кейбір жағдайларда тіпті дискретизация қадамы $T_A = 1$ сағатқа тең болғанда да жеткілікті болуы мүмкін.

Сигналдарды қалпына келтіру және көрсету. Кірісті аналогтық сигналда $x(t)$ графикалық пішінде (сурет 7.4, а) тіркелген сандық мәліметтерді көрсету әр түрлі іске асыруға болады (сурет 7.4, б, г). Ол эксперименттің міндеттерінің, оператордың квалификациясымен, аппаратураның мүмкіншіліктерімен және т.б. шарттарымен анықталады.

Қалпына келтіру рекордтық тіркелімде/сараптаушыда немесе компьютерде тіркелген деректерді өңдеуді және ұсынуды жүзеге асырады. Ең қарапайым және қажет етпейтін қосымша шығындар матрицалық индикаторлармен және принтерлермен негізінен сандық осциллографтар мен анализаторларда пайдаланылатын нүктелік ұсыну деп аталады (7.4, б сурет). Адамның көзі арасындағы бірнеше нүктелердің бірнеше нүктелерінің тізбегін тегістеу қабілетін ескере отырып, бұл әдіс тіпті экранның ажыратымдылығы $1,5...2$ нүкте/мм болатын қанағаттанарлық бейне сапасын береді.



Сурет 7.4. Сигналдарды қалпына келтіру және көрсету әдістері:
а — кіріс сигналы; **б** — дәл көрсетілу; **в** — баспалдақты аппроксимация; **г** — сызықты интерполяция

Егжей-тегжейлі жуықтау бірнеше күрделі (сурет 7.4,в суретті қараңыз), бірақ АЦТ уақыт пен амплитудаға қатысты төмен ажыратымдылықпен кіріс сигналының бұрмаланған көрінісі құрылуы мүмкін. Сонымен қатар, бұл тіркелген сигналдарды қалпына келтіру және ұсынудың ең кең таралған тәсілі.

Кейбір жағдайларда *сызықтық (векторлық) интерполяция* әдісі қолданылады (түзу сызық сегменттері арқылы толқынның формасын қалпына келтіру), бірақ сегменттердің (векторлардың) қалыптасуына белгілі бір шығындарды талап ететін, бірақ тегіс қисық сызықты береді (7.4, г суретті қараңыз).

Кез-келген жағдайда, тіркеу процесінің барысында таңдау жиілігі не аналогты-цифрлық түрлендірудің биттік тереңдігі қаншалықты жоғары болса, сигнал неғұрлым дәл кейінірек тіркелген сандық деректер массивінен алынады.

7.2.3. Тіркеу интервалының тапсырмасы

Дискреттеу қадамын T_a таңдаумен қатар, қажетті (және / немесе ықтимал) ұзақтығын анықтау және тіркеу аралығын T_p белгілеу әдісін таңдау мәселесі кем емес. Тіркеу аралығының T_p басталу және аяқталу сәттерін тағайындауды дұрыс ұйымдастыру - өлшеуді тіркеу экспериментін дайындаудың маңызды бөлігі.

Сандық тіркеуіштерде іске қосу. Іске қосу (Trigger) - оператор белгілеген белгілі бір критерийлер (шарттар) үшін тіркеу аралығының басталу уақытын автоматты түрде анықтау тәртібі. Сандық өлшеулерді жазу құралдарында әртүрлі іске қосу әдісі (режимдері) қолданылады. Ішкі және сыртқы сигнализацияны екі топқа қосудың бірнеше ықтимал режимдері бар.

Ішкі іске қосу, өз кезегінде, берілген уақыт нүктесінде іске қосылады; кіріс сигналының кейбір параметрлері (мысалы, деңгейдің немесе өзгерудің жылдамдығымен) және біріккен іске қосудан бастаңыз. Олардың қарапайым және түсінікті болуы – берілген астрономиялық уақытта ұшыру, бұл рекордтердің ішкі уақытша таймерінің арқасында мүмкін болады. Бұл жағдайда кіріс сигналының мінез-құлқы маңызды емес. Оператор алдын ала бағдарламаланған күн мен сағатта (мысалы: «Басталу: 06:30:00-тегі 29.09.03»), сигналды тіркеу процесі автоматты түрде басталады.

Цифрлық триггер (Digital Trigger) аналогты (электронды-сәулелік) осциллографтың ауысымының классикалық іске қосылу деңгейіне ұқсас. Жалғыз айырмашылық – бұл жағдайда сандық кодтарды (аналогтық деңгейлер емес) салыстыру. Деңгей спецификациясы нақты өлшенген физикалық сандардың бірліктерінде (мысалы, кернеулерде) өлшеу диапазонының пайыздық көрсеткіші ретінде, ал кейде код мәндерінде жүзеге асырылуы мүмкін.

Көп жағдайда зерттеуші сигналдардың кей бір басқа да параметрлердің жіберу режимдері ұңғайлы, мысалы, оның мәні бойынша

бірінші туынды — (яғни оның өзгеру жылдамдығы). Мысалы,

« — > 1 В/мин» шарттарымен анықталатын *at* тіркей бастау моменті, яғни 1 В/мин мәнге ие кіріс кернеудің өзгеру жылдамдығының артуымен.

Сонымен қатар іске қосудың бірнеше жағдайында (белгілерде) комбинациялар пайдаланылатын режимдері мүмкін. Мысалы, жазу бірдей уақтағы мынадай жағдайларда басталады: астрономиялық уақыт — 12:00 ерте емес; сигналдың амплитуда мәні — жағымды; сигналдың туындысы — теріс және 100 мВ/мин мәнінен модуль бойынша асуда.

Сыртқы іске қосу режимі (External Trigger) тіркеуден басталған кезде сыртқы сигналдың сигналының арнайы кіруіне (сыртқы құрылғыдан, оператордан, басқа құрылғылардан / құрылғылардан) қол жеткізу арқылы жүзеге асырылады. Тергеу барысында кіріс сигналының мінез-құлқы маңызды емес. Кейде мұндай режим кейбір оқиғаларда (Event Trigger) жұмыс істеу деп аталады. Бұл сыртқы сигнал, әдетте, транзисторлық-транзисторлық логика (ТТЛ — TTL) деңгейіне ие бірыңғай сигнал болып табылады. Мұндай режим қарапайым осциллографтың сыртқы іске қосу режиміне ұқсас.

Деңгей бойынша сандық іске қосу. Ішкі сандық жазу құрылғылары / анализаторларында белгілі бір деңгейде іске қосу бірқатар ерекшеліктерге ие. Тіркеудің сандық іске қосылуы әдетте осы жолмен жүзеге асырылады (сурет 7.5).

Айталық, жазбаны келесі жағдайларды орындау кезінде бастап керек болады: V_{ap} жіберу кодының мәні берілген мәннен асатын кодқа сәйкес кіріс сигналдың деңгейі (мысалы, $N_{i,ax}$ бекітілген өлшеу диапазонының жоғарғы шекарасы 70 %). Оператор $V_{,m} = 0,7/V_{imx}$, кодтың мәнін орнатады, оның мәнін іске қосу кезінде анықтау қажет.

Тіркеуіштің аналогты-сандық түрлендіргіші әрқашан белгіленген темпте жұмыс істейді (яғни, дискреттеудің T_n берілген қадамдары), бірақ түрлендіру нәтижелері ОЗУ-ға енгізілмейді. Әр бір жаңа қадамда T_n қайтадан алынған код (есептеу, түрлендіру нәтижесі) сандық салыстырушы жабдықтың көмегімен $N_{,m}$ жіберуші бекітілген кодымен салыстырылады (кодтардың компараторы).

Егер белгіленген жағдайлар $N(t_{i+1}) > N_{IMi}$ соңында орындалсын (яғни, iV_{3ap} тең немесе асулы код түседі), онда кодтардың компараторы тіркеуінің басталуы сигналын құрайды.

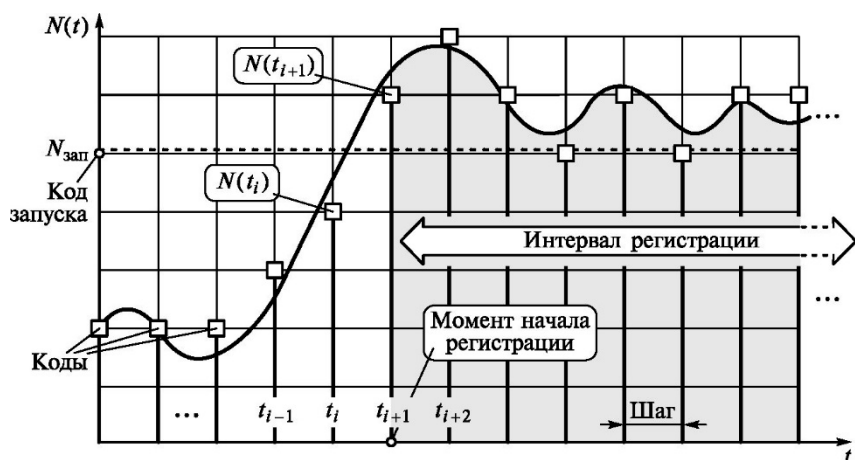


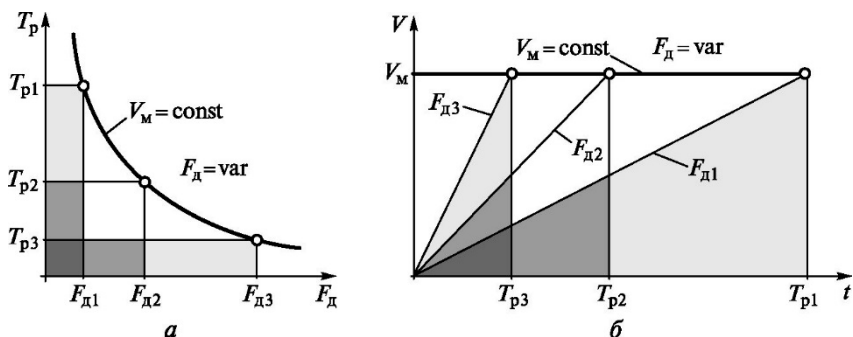
Рис. 7.5. Цифровой запуск по уровню

Осыдан кейін АЦТ-дан кейін келетін кодтар тіркеуіштің жадында сақталады.

Тіркеу интервалы және сақтау көлемі. Жазу құрылғысының жадында сақталатын үлгілердің саны (аналогты-сандық конверсияның, сөздердің жеке нәтижелері) T_p/T_a қатынасы бойынша анықталады. Дәл солай, әрине, жазба соңында жазылған деректер массиві алатын жады көлемін V анықтайды. Тіркеу аралығының T_p (сонымен қатар оның басталуымен) аяқталуы да әр түрлі болуы мүмкін. Түсінікті әдіс — жазудың соңында астрономиялық уақыт тапсырмасы. Шындығында, бұл жағдайда қайталап барлығын тексеріп алған жөн, себебі тіркеу интервалының жалпы ұзақтылығы T_p мен дискреттеу қадамының T_a берілген қатынастары тіркеудің жадына (максимал көлемге V_M) мүмкіндіктерге қарсы келмейді. Басқаша жағдайда ақпарат шығындары сөзсіз.

Тіркеудің максимал мүмкін уақыты (тіркеу интервалының максимал ұзақтылығы T_p) қарапайым $T_p = T_{\text{д}} F_M$ қатынаспен анықталады, мұнда V_M — есептеуде сақтау мәліметтерінің максимал көлемі (байтпен емес, себебі көбінесе есептеулер байттан көп болады). Мысалы, мәліметтердің саны $V_M = 1000$ және дискреттеу қадамы 1 минутта $T_{\text{д}}$ тең болса, зерттеуші процестің тәуліктік есептеуі мүмкін емес (яғни $T_p = 24$ сағат), себебі толық сақтау жады шамамен 16 сағаттан кейін-ақ толып қалады. Бұл себепте процестің соңғы мәндері тіркелмейді.

Сурет 7.6 дискреттеу жиілігінің ($F_A = 1/T_a$), тіркеу интервалдарын T_p және сақтау көлемі V параметрлерінің тәуелділігі көрсетілген. Сурет 7.6, а тұрақты максимал сақтау көлемі кезінде V_M дискреттеу жиілігінің мәнінен F_A тіркеу интервалының T_p мүмкін болатын мәндердің кері пропорционалдылығы көрсетілген.



7.6-сурет. Дискреттеу жиілігі, дискреттеу интервалы (а) мен жады көлемінің (б) мәндерінің байланысы

Сурет 7.6, б-да әртүрлі мүмкін болатын дискреттеу жиілігінің мәндері F_a ($-f_{ai} < P\omega < Bf$) толық сақтау көлемінің толтырылу жылдамдығы әр түрлі нұсқасы көрсетілген.

Егер дискреттеу қадамының мәні (немесе дискреттеу жиілігі /д) қандай да бір критерий бойынша (мысалы, зертелуші процестің максимал өзгеру жылдамдығынан), тіркеудің сақтау көлемі V_M белгілі болғанда, онда тіркеуіштің T_p максимал мүмкін уақытын келесі қатынастармен анықтауға болады:

$$T_p = Y_{bi} T_{ii} = V J F_a.$$

Тәжірибенің тапсырмалары үшін оның кейбір бөліктері жеткілікті болса, барлық тіркеушінің жадысын толтыруға тырысудың қажеті жоқ екенін ескеріңіз.

Алдын ала іске қосу және кейінірек іске қосу. Алдын ала іске қосу (Pretrigger) - сандық жазғыштар, осциллографтар, анализаторларға тән және аналогтық тіркеушілерде принципі бойынша іске асырылмаған маңызды және пайдалы қасиет. Алдын-ала басталу басталу уақытынан бұрын болатын сигнал фрагментінің жазылуы мен сарапталуына мүмкіндік беретін алдын-ала жазуды білдіреді. Бұл режим қызықты фрагменттің тарихын жазып алуға, бастаманы сенімді түрде орнатуға және пайда болудың себептерін түсінуге мүмкіндік береді, мысалы, төтенше жағдай.

Бастапқы режимді іске асыру тіркеушінің кездейсоқ қол жадында (ОЗУ) сандық сигнал деректерінің жеткілікті үлкен массивін үнемі қабылдау мен сақтауға байланысты болуы мүмкін.

Бұл жағдайда жазба 7.7 суретінде көрсетілгендей ұйымдастырылады.

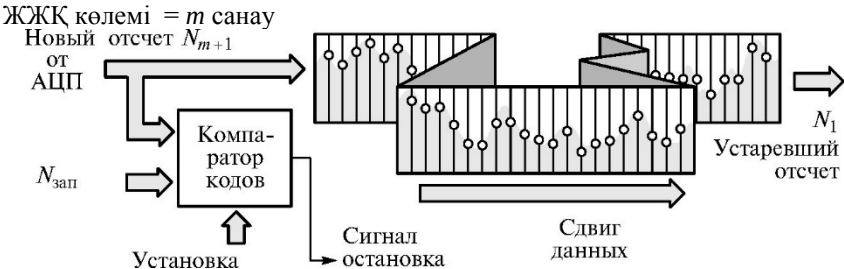
Оперативті сақтау құрылғысы мұнда көлемі m сөз (санау) регистрдің жылжу рөлін ойнайды, мысалы, $m = 512$. АЦТ түскен әрбір кезекті цифрлы эквивалентті мағына ЖЖҚ жазылады. Бұл ретте, алдыңғы жазылған санаулардың барлығы бір нөмірге жылжижы, ал сақталған санаулардың ең алғашқысы (ескі) N_1 жоғалады («итергенде» түсіп қалады). Осылайша, осы регистрдің жылжу ақпараты тұрақты жаңарып тұрады да, соңғы m («жаңа») санаулардан тұрады.

Осылайша жіберу жағдайлары орындалмағанша жалғаса береді

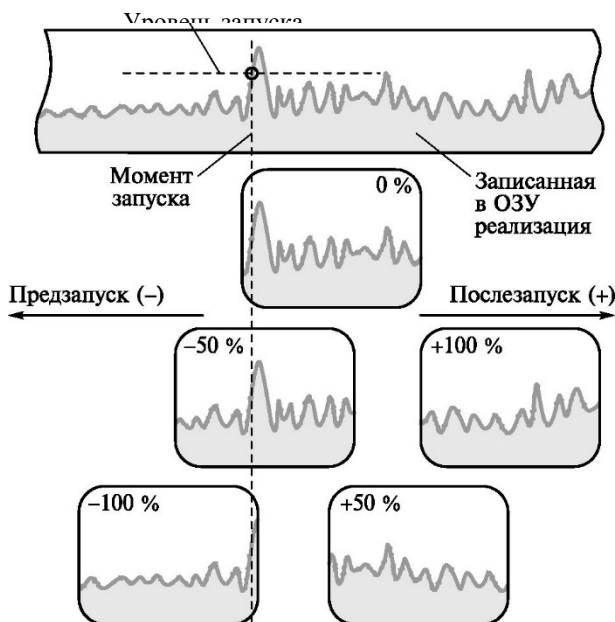
(мысалы, берілген жіберу деңгейінің артуы). Код компараторлары АЦТ түскен ағымдағы нәтижелерді (кодтарды) $Y_{зап}$ жіберудің оператор берген кодымен салыстырады. Егер тағы келген N_{m+1} санаулар жіберу шарттарын қанағаттандырса (мысалы, N_{m+1} артық $\hat{a}_{ап}$), онда жадыдағы сақталған оның алдындағы барлық санаулары (осы жаңаның алдындағы N_{m+1}) тіркелетін процесс дамуының алдындағы жағдайын білдіреді, бұл осы жіберу сәтіне дейінгі жазбаны білдіреді. Егер жазба процессін бірденнен тоқтатпай, кейде кідіріспен жасаса, онда жіберу сәтіне дейінгі және кейінгі тіркелген үзінділердің ұзақтықтығының түрлі ара қатынасын алуға болады. Осылайша жіберу алдындағы талап етілген тереңдікті ауыстыруға болады. Оператор бекіткен жіберу алдындағы тереңдік кодына байланысты компаратор ЖЖҚ жазбаны тоқтатуға сигналды осы немесе сол кідіріспен көрсетеді.

Жіберу алдындағы тереңдіктің сандық мағынасы (оқиға алды) жіберу сәтіндегі ара қашықтық бойынша таңдалған үзінділердің жылжу (уақыттағы кері) мағынасын көрсетеді (7.8-сурет).

Әдетте жіберу алдындағы тереңдік бір экрандық кескінге сәйкес ЖЖҚ көлемінің пайызында немесе ЖЖҚ көлемінің бөліктер пайызында көрсетіледі (цифрлы осциллографтар/талдағыштар үшін). Жіберу алдындағы тереңдік уақыттың абсолюттік интервалдарында да көрсетілуі мүмкін. Мысалы — 100%- жіберу алдындағы тереңдік,



7.7.- сурет. Жіберу алдын ұйымдастыру



7.8. Жіберу алды мен жіберуден кейінгі тереңдікті түсіндіру суреттемесі

Тіркеу пайызымен жіберу сәтіне дейінгілер де толықтай, сигнал оқиға алдының үзінділері жазылады (көлемі, жадының толық көлеміне немесе толықтай экранның кескініне сәйкес) (7.8-суретті қараңыз). Осы оқиға алдының максималды тереңдігі ЖЖҚ (санау) көлемімен анықталады.

Жіберуден кейінгі түсінік берілген интервалға жіберу сәтіне ара қашықтық бойынша тоқтатылған сигнал үзінділерін жазуды білдіреді, сондай-ақ жіберу алдындағыдай, ол санмен белгіленеді (7.8-суретті қараңыз). Бұл өте пайдалы режим, егер сигнал жосығының ерекшеліктері белгілі және бізді қызықтыратын үзінділер жіберу сәтіне ара қашықтық бойынша заңдылықпен тоқтатылса, эксперименттері қатарында жадының көлемін «үнемдеуге» мүмкіндік береді.

7.3. СИГНАЛДАРДЫ ЦИФРЛЫ ТАЛДАУ

Жаңа ақпаратты алу мақсатында бастапқы деректерді қайтақұрудың барлығын *талдау* деп білеміз.

Зерттеу объектілерінің динамикалық модельдерін кеңінен тарату ақпараттар ағынының бірденнен көбеюіне алып келді, бұл өз кезегінде автоматтандырылған өндеуді талап етеді. Қазіргі уақытта сигналдарды жеткілікті жоғарыөнімділікпен өндеу (талдау) тек цифрлы әдістемелер мен құралдармен ғана мүмкін.

Цифрлы талдауды дамыту мен кеңінен қолданудың объективті алғышарты микроэлектрониканың табысты болуы, жекелеп алғанда микропроцессорлар мен компьютерлік техникалар мен идеологиялардың құрылуы мен таралуы.

Талдаудың әдістері мен құралдары өлшеу-есептеуіш кешенді негізгі элементтердің бірі ретіндегі дербес компьютер пайдаланады.

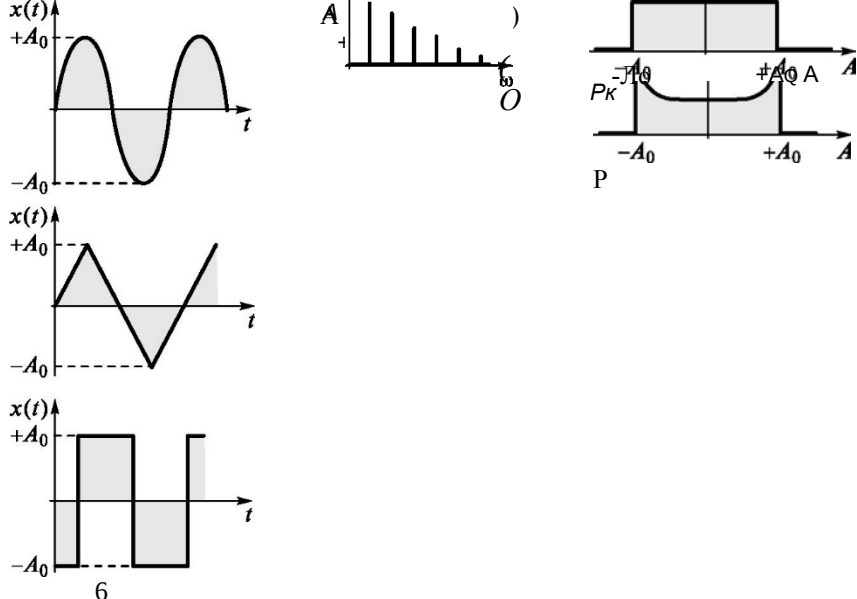
7.3.1. Талдау саласы

Деректердің тіркелген алқамы түрлі цифрлы талдау-өңдеуге алынуы мүмкін (құралдың ішкі микропроцессорының және/немесе ішкі дербес компьютердің көмегімен). Электрлік өлшеулер тәжірибесінде өңделген деректерді ұсынудың қаншама түрлі нысандары пайдаланады. Әдетте, сигналдарды өңдеудің (талдаудың) негізгі үш саласы анықталған, олар шығыс ақпараттарды ұсынумен ерекшеленеді, яғни талдау нәтижелерімен:

- уақытша (Time-Domain Analysis), мұнда ауқымдар мен келген және шыққан деректері уақыт функциясында ұсынылады;
- жиілікті (спектральді, Frequency-Domain Analysis), мұнда, шығыс деректер ауқымында жиілік функциясы бар;
- амплитудалы (Amplitude-Domain Analysis), мұнда шығыс деректер ауқымында сигнал деңгейінің (амплитуда) функциясы бар.

7.9-суретінде қарапайым нысандағы сигналдар мысалында үш аталған саланың әрбірінің мәні келтірілген: синусоидальді сигнал және үшбұрышты және тікбұрышты нысанды сигналдар.

Алғашқы екі сала көптеген автономды және компьютерлік цифрлы талдағыштарда кеңінен таралған және іске асырылған. Уақытша саладағы талдау тіркелген келген деректер ауқымынан қосымша ақпараттарды шығаруға және оны уақыт функциясымен ұсынуға мүмкіндік береді. Жиілікті (спектральді) саласындағы талдау үйреншікті уақытты сигнал беруден (сигнал – уақыт функциясы) жиілікті беруге (сигнал – жиілікті функция) ауысады. Бұл талдау саласы сигналды уақытша және жиілікті беруді байланыстыратын Фурьенің атақты түрлендіруін пайдалануға негізделген. Талдаудың заманауи құралдарында дискретті спектрдағы түрлені сигналын дискретті санаудың (уақытша сала) ауқымы арқылы Фурьенің дискретті түрлену (ФДТ) алгоритмін пайдаланады. Қазіргі заманауи құралдардың барлығы ФДТ өзге түрлерін іске асырады – Фурьенің тез түрлену алгоритмі (ФТТ), ол аса жоғары тезерекеттікті қамтамасыз етеді.



7.9.-сурет. Әртүрлі салаларда сигналдарды ұсынудың мысалдары:
а — уақытша салада; б — жиілікті салада; в — амплитудалық салада

Спектральді ұсыну әртүрлі тапсырмаларда пайдаланады. Қуатты пайдаланушылар тізбегінде электроэнергиялық қондырғылардағы сигналдардың гармониялық құрамын анықтауды талап етеді (яғни спектр). Заманауи тәжірибенің типті тапсырмасы — тберілген гармонияның құаттылық мәнін анықтау (электр тоғының сигналын тіркеу нәтижелері бойынша).

Амплитудалық саладағы талдау берілген диапазондағы кіріс сигналының мағынасының кіру ықтималдығын табуға, «аймақта» (немесе «аймақтан тыс жерде») сигналын табудың уақытын бағалауға мүмкіндік береді. Осы ұсыну саласы өте аз таратылған. Осындай кіріс сигналының кодтар ауқымын талдау нәтижесінде зерттелетін сигналдың деңгейін бөлу гистограммасы құрылады (амплитуданың лездік мағынасы), одан қосымша пайдалы ақпараттар шығарып алуға болады. Ұқсас гистограммалар процесстер (әсіресе кехдейсок) мен объектілерді статистикалық зерттеуде пайдаланады.

7.3.2. Уақытша саланы талдау

Уақытша саладағы талдау уақыт функциясымен ұсынылған кіріс сигналдарына функционалдық байланыстылық, және параметрлерін табуға мүмкіндік береді. Бірінші бағыт параметрлі талдау, екіншісі тиісінше функционалды.

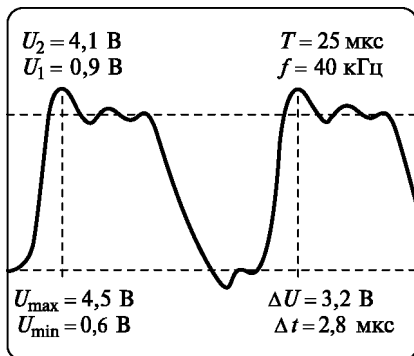
Бірінші жағдайда келген деректер ауқымында түрлі параметрлерін (бөлек мағыналар) есептеу алгоритмі іске асырылады, мысалы берілген интервалда максималды, минималды, орташа, орташа жазылыңқы, орташа квадратты мағыналарды анықтау. Параметрлі талдау мысалында кездейсоқ сигналдың лездік мағынасының цифрлы эквивалентінің ауқымы бойынша математикалық күтілетін (орта мағына) бағалау табу алгоритмі қызмет етеді.

Екінші бағыт (функционалды талдау) келген (шыққан) деректер ауқымы негізінде түрлі функционалды байланыстылық алуға мүмкіндік береді, мысалы кернеудің екі шығыс ауқымының көбейтінді функциясын есептеу және лездік қуаттылықтың қисығын анықтау кезінде.

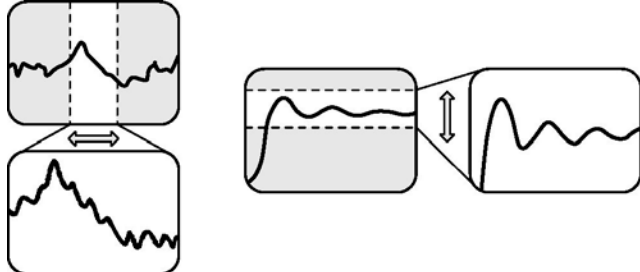
Параметрлердің автоматтық өлшемі. Тіркелген цифрлы деректердің ауқымын талдау негізінде кіріс сигналдарының параметрлерін автоматты өлшеу жеңіл іске асырылады. Өйткені лездік мағынаның цифрлы эквиваленті құралдың жадысында дайын кодпен сақталып тұр. Бұл ретте талдағыш дисплейінде (немесе дербес компьютердің мониторында) сигналдың графикалық бейнеден тыс санды сипаттамасын (параметрлері) қадағалауға болады. Курсорлар көмегімен (қағидатымен оператор басқаратын экрандық кескіндердің қосалқы линиялары) тиісті параметрлердің санды маңызын шағыруға болады. Деңгейі мен уақыты бойынша курсормен белгіленген нүктелердің айырмашылығын өлшеуге болады (7.10-сурет). Және де T мерзімі мен f жиіліктерін қайталайтын мерзімділік сигналдарын, Ат фронтының мен импульстердің кесіндісінің ұзындығын, АU амплитуда айырмашылығын және т.б. өлшеу де оңай.

Осындай өлшеу нәтижелерінің растығы әдетте өте жоғары, өйткені құралдың аналогты-цифрлы каналдарының дәлсіздігі анықталады. Дәлсіздіктерге қатысты шекті типті маңыздары $\pm (0,1 \dots 1,0)\%$ тең.

Кескін масштабтарының өзгеруі. Цифрлы талдағыштар мен осциллографтардың қызықты және пайдалы ерекшеліктері - аналогты тіркеуіштер мен талдағыштарда іске асырылмайтын, бір немесе екі өстері бойына тіркелген сигналдың (оның ішінде бір реттік) кекінін созу (Zoom) мүмкіндігі болып табылады (7.11-сурет).



7.10.-сурет. Сигнал параметрлерін автоматты өлшеу мен индикациялау



7.11.-сурет. X (а) және $Y(b)$ өстері бойынша кескін масштабтарын өзгерту режимы

а

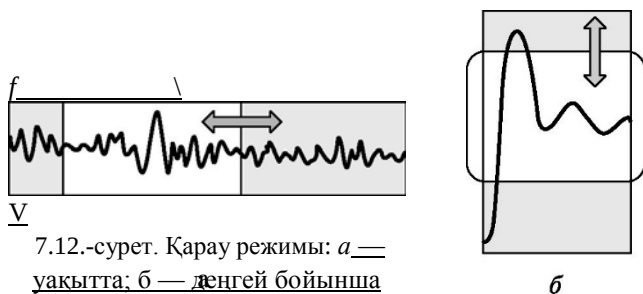
б

сигналдың қызықтырған үзіндіге курсорды қойып (немесе қос курсорды) және өстер мен жылжулар бойынша созу режимын қатар қолдана отырып, талап етілген масштабта кескіннің ақпараттаушы учаскесін ұсынуға болады. 7.11, а-суретте X өсі (уақыт өсі) бойынша масштабы үлкейту режимы, ал 7.11, б суретте — Y өсі бойынша созу режимы көрсетілген.

Кескінді қарау. Қарастырған режимдерден басқа әдетте экранды кескіннің кәдімгі көлемді терезесінің көмегімен ұзақ жазба процессін қарау режимы болады (айналдыру— ScrollingMode) (7.12, а-суреті). бұл режим ұзақ (көпсағатты немесе көпкүндік) жазбаларда ақпаратты үзінділерді іздеу кезінде өте ыңғайлы болады.

Егер деректер жадысының көлемі бір экранды кескін көлемінен әлдеқайда үлкен болса (мысалы, осы мағыналар тиісінде 1 м сөз және 256 сөз), барлық жазба 4000 «экранмен» ұсынылады. Бұл ретте, барлық диаграмманың қарау кезінде нақты проблеманы көрсетеді, ол заманауи талдағыштарда немесе бірқалыпты жылжумен, немесе терезелерді дискретті ауыстырумен шешіледі.

Аналогты мүмкіндік кейбір күрделі модельдерде және y өсінің бойындағы кескін қарау үшін қарастырылған (7.12, б-сурет).



7.12.-сурет. Қарау режимы: а — уақытта; б — деңгей бойынша

б

Тегістеу функциялары. Зерттелетін процестің қисықты цифрлы тегістеу (DigitalSmoothingMode) режимы мысалында функционалды талдау бойынша талдағыштардың мүмкіндігін қарастырайық. Аналогты-цифрлау қайтақұру нәтижелерін цифрлы ортalandыруға (DigitalAveraging) негізделген рәсім. Осы режим жағымсыз шулы процесстермен табысты күресуге мүмкіндік береді (жоғарыжиілікті, мезгілді және кездейсоқ кедергілер). Сонымен қатар, ол зерттелу процесіндегі жоғарыжиілікті бөтен шулардан ғана емес, зерттелетін қызығушылық танытпаған сигналдарын лезді өзгерту шуларынан да құтылуға мүмкіндік береді.

Қайталанушы (жекелеп алғанда мерзімділік) сигналдар жағдайлары үшін осы режимнің әрекетін қарайық. Қайталанушы сигналдары кезінде зерттелетін процесті синхронды (жіберудің бірдей шарттарына сәйкес) іске асыру (бірдей ұзақтылық үзінділер) ортalandырылады. 7.13-суретте мезгілдік сигнал $x(t)$ көрсетілген. Берілген деңгейде (кодта) $N_{\text{зап}}^{\wedge}$ жіберу $T1...T$ 8 сигналдың (мысалы сегіз) бірнеше мезгілді кодтар ауқымы кезекпен беріледі.

Егер әрбір сегіз мезгілден сигнал сол бір фазасына тиісті кодтарды кезекпен ортalandырылса, жаңа массив құралады, ол әрбір фазадағы кодтардың мағынасын ортайландырудан құралады. Жоғарыжиілікті шулар мағынасы әрбір санауда әрбір мезгілде кездейсоқ, пайдалы сигналдардың мағынасы кехдейсоқ емес болса, онда ортalandырылған сигнал нысаны өте тегіс болады. 7.14-суретте түрлі көлемдерді іріктеуге (M мезгілдің ортайландырудың түрлі саны) тиісті осындай тәсілмен тегістелген қисық кескіндер көрсетілген.

M іріктеменің көлемі үлкенірек болса, шу ықпалы төмен болатындығы анық. Алайда, іріктеменің үлкен көлемімен қиянат етуге болмайды, өйткені осы жағдайда шуды тегістеу ғана емес, және де пайдалы сигналдардың (динамикалық кемшілік) өзгеруін елеулі тегістеп жібереді. Жылдамдық жоғарылаған сайын сигнал өзгерістерінің динамикалық кемшіліктері үлкейе береді.

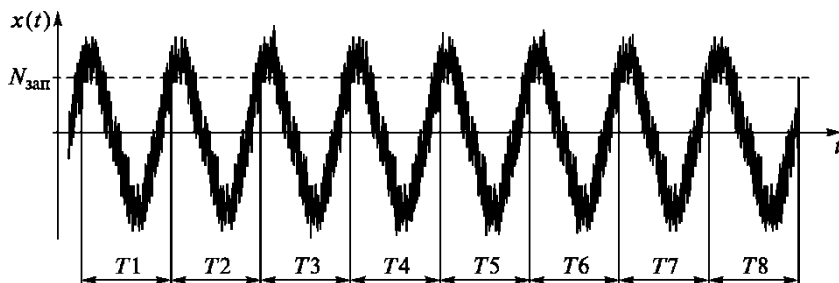
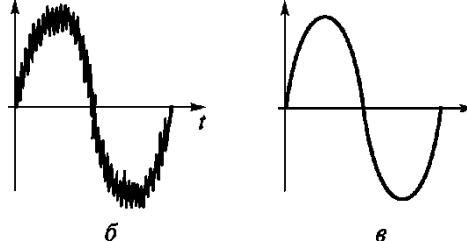


Рис. 7.13. Зашумленный входной сигнал



7.14.-сурет. Түрлі M мағыналары кезіндегі тегістеу:
 a — $M = 1$; $б$ — $M = 8$; $в$ — $M = 64$

Тегістеу режимін қолдану төменгі жиіліктің фильтрін пайдаланумен эквивалентті екендігін ұмытпаймыз. Бұл ретте, M іріктеме көлемін үлкейту тіркеуіш/талдағыштың серпінін үлкейтуге сәйкестендірілген.

Синхронды цифрлы ортайландырудың іріктемесінің нақты көлемін таңдай отырып (сигналдар мен шудың ара қатынас деңгейлеріне, олардың спектральді құрамына, талап етілген метрологиялық сипаттамаларға, қорытынды тезерекеттікке тәуелді), талдау серпінін маңызды көбейтпей шуды қолайлы басуға қол жеткізуге болады.

Талдау тәртібін іске асыру. Техникалық іске асырудың көзқарасымен цифрлы әдістер мен құралдар аппаратты, бағдарламалы және құрамдыға бөлінеді. Осы немесе сол шешімдерді қабылдау келген ақпараттарды түсіру темпімен (зерттелетін сигналдардың жиілік жолақтарымен, нақталағанда АЦТ дискретизация жиілігі мен сигнал спектрінің жоғарғы жиілігінің ара қатынасымен), өңдеу жылдамдығына қойылған талаптармен, қолжетімді құралдармен және т.б. анықталады.

Кіріс сигналының жоғары емес жиіліктерімен салыстырған кезде (1...10 кГц дейін) бағдарламалық өңдеу мақсатқа сай болады, мысалы әмбебап (дербес) компьютердің мүмкіндіктерін пайдалану. Осы жағдайда, зерттелетін процестің анау жазбалары үшін компьютер жадысының үлкен көлемдерін (жадыға тікелей қол жетімділік режимінде болуы мүмкін, DirectMemoryAccess— DMA); маңызды есептеуіш қуаты мен графикалық және белгілік келген ақпараттарын ұсынудың мүмкінді болатын нысандарының түрлілігі және талдау нәтижелері; деректерді таратудың түрлі стандарттарын тікелей пайдалануға болады.

Шағын көлемдер, ақпарат түсуінің төмен қарқыны, күрделі емес талап етілген өңдеу алгоритмдерінің жағдайларында талдағыштың ішкі микропроцессордың (немесе микропроцессорлар) көмегімен деректерді талдауға болады. Аса жоғары жиілік процестерде немесе қажет болған жағдайда талдаудың аса үлкен есептеуіш процедураларын орындау үшін буферлі сақтау құрылғылары пайдаланады (СК) олар келген деректерді (және/немесе аралық нәтижелерді) қосымша тіркеуді жүзеге асырады.

Осы жағдайда СҚ көлемі мен тезерекеттігі барлық кешенлілің мүмкіндігін анықтайды.

Аппараттық өңдеу, сигналдың мамандандырылған процестерін пайдалануға негізделген (DigitalSignalProcessor— DSP), аса жоғары тезерекеттікті қамтамасыз етеді. Түрленудің орындау жылдамдығы бұл ретте 2...3 есеге көбеюі мүмкін.

Құрамды (аппараттық-бағдарламалық) шешімдер кеңжолақты сигналдармен немесе тіркелген сигналдар көп саны кезінде эксперименттер үшін кешенді оңтайлы конфигурацияларды алуға мүмкіндік береді.

Шынайы уақыт режимі. Тапсырмалардың бөлек класы бар, онда келген деректердің түсу серпінінде талдау нәтижелерін алу таоап етіледі, былай айтқанда шынайы уақытта (On-LineMode). Бұл мысалы, тіркеу мен талдау бойынша барлық эксперименттер ішінде ақпаратты жоғалтпау өте маңызды жағдайлар болады, немес шынайы процестер мен объектілерді басқару жағдайлары, онда кіріс сигналдарын өзгертуге оперативті реакцияны қамтамасыз ету маңызды.

Шынайы уақыт режимінде (ШУР) екі түсініктер бар (түсіндірме). ШУР бірінші түсінігі – қатаң («қатты») - зерттелетін сигналдардың кезекті санауына келуге дейін өңдеудің жаңа соңғы нәтижесін алуды сипаттайды (7.15-сурет).

Осы жағдайда өңдеу серпіні **АЦТ** түскен деректердің серпініне сәйкес түсуі қажет, және тиісінше жоғарыжиілікті кіріс процестерінде тез аппараттық өдеу құралдарын пайдалану талап етілуі мүмкін. Егер бір іске асырудың деректерін өңдеуге (талдау) талап етілген уақыт (мысалы T_1) T_d дискретизацияның бір қадамының ұзақтығынан асып кеткен жағдайда, бұл қатты ШУР түсінігіне жауап береді.



Рис. 7.15. Режим «жесткого» реального времени

Тіркеу T1Талдау T1Тіркеу T2Талдау T2Тіркеу T3 Талдау T3

7.16.-сурет. «Жұмсақ» шынайы уақыт режимі

ШУР түсінігінің екіншісі — «жұмсақ» — буферлі сақтау құрылғыларының бар болуын жобалайлы (жеткілкті үлкен сыйымдылықты), онда кезекпен жазылатын және өңделетін кіріс сигналды іске асыратын үзінділер сақталады. Іске асырудың кезекті үзінділеріне талдауға кеткен уақыт, ақпараттарды жоғалтып алмау үшін жаңа үзінділерді СҚ жазудың ұзақтығынан аспауы керек (7.16-сурет). осы режимді қамтамасы ету өте жеңіл, жіне ол жиі бағдарламалық шешімдермен іске асыуы мүмкін.

Күнделікті техникалық өлшеулер тәжірибесінде көлемі бойынша жеткілікті үлкен келген деректердің ауқымын жедел өңдеу қажет етілген тапсырмалар жиі кездеседі, яғни бұл ретте талдау нәтижелерін алу сәтіне қатаң талаптар қойылмайды. Осы шынайы емес, салыстырмалы немесе түрлендірілген уақыт режимін іске асыру үшін ең қарапайым және жеңіл. Қарапайым мысал – температураның әрекетін және қойма жайындағы ауаның салыстырмалы ылғалдығын ұзақ тіркеу, мысалы бір апта ішінде және кейінгі пайымды өңдеу мен деректерді ұсыну эксперименті екі-үш күн ішінде жасалады.

7.3.1. Жиілік (спектральді) саласындағы талдау

Кіріс аналогты сигналдардың амплитудалық спектрін анықтауды бірнеше тәсілдермен, мысалы бірнеше жолақ фильтрлерінің көмегімен немесе бір қайта құралатын сүзгі көмегімен жасауға болады; функциялардың (сигналдың) уақытша және жиілікті көрсетімділерін байланыстыратын Фурьенің түрленуін пайдалануға болады.

Үздіксіз (аналогты) сигналдар үшін Фурьенің тікелей және кері түрленуі (ФТ) бар. *Тікелей ФТ* $\underline{x(t)}$ спектр сигналын біле тұра, $\underline{S(f)}$ спектрді анықтауға мүмкіндік береді. Ал *кері ФТ* керісінше $\underline{S(f)}$ спектр сигналын біле отырып, $\underline{x(t)}$ сигналының өзін уақытша көрсетімділерде табуға мүмкіндік береді.

Толық спектрлі көрсетімділерде N амплитудалық және фазалық спектрлерді құрайтынын түсені отырып, осында және кейіннен тек амплитудалық спектр жайлы айтамыз.

Дискретті (цифрлы) сигналдар үшін және ФТ бар. Бұл ретте сигналдар сондай-ақ дискретті (сызықты) болып табылады. Талдаудың заманауи цифрлы құралдарында Фурьенің дискретті түрлену (ФДТ) алгоритмі пайдаланады — DiscretFourierTransform (DFT), оның көмегімен дискретті санаудың уақытша саласында тіркелген ауқымдар дискретті спектрге қайта құралады. Өкінішке орай, ФДТ тәжірибелі іске асыру өте үлкен арифметикалық процедуралардың көптегенін талап етеді. T_D тіркеу интервалында санау саны N тең болса, ФДТ қажетті көбейту мен қосу операцияларының саны N^2 тең болады. Микропроцессор (микропроцессорлар) жұмысының шектелуіне байланысты, әрине тезерекеттікпен проблемаларға алып келуі мүмкін.

ФДТ көртүрлі болады — Фурьенің тез түрленуі (ФТТ) — FastFourierTransform (FFT). Осы алгоритмда N санау санын нақты таңдау тезерекеттігін жоғарырақ қамтамасыз етуі мүмкін. Егер N санау санын 2 саны толық деңгейін тең етіп кездейсоқсыз тандаса, онда көбейту мен қосудың талап етілген рәсімдерінің саны $(N \log_2 N)$ дейін кішіреюі мүмкін. Ұтыс пен жылдамдықты мынадай мысалмен келтіруге болады. Егер тіркелген санаулар саны $N = 1024$ болса, ФДТ кәдімгі алгоритмі $N^2 \sim 10^6$ процедураны талап етеді, ал ФФТ қолданған кезде бұл сан $N \log_2 N = 1024 \cdot 10 \sim 10^4$, яғни шамамен 100 есе аз, және тиісінше 100 есе тезірек уақытша саладан жиілікті салаға өтуді жүзеге асырады. Бұл ретте ұтыс N санау санының көбеюі бойынша өседі.

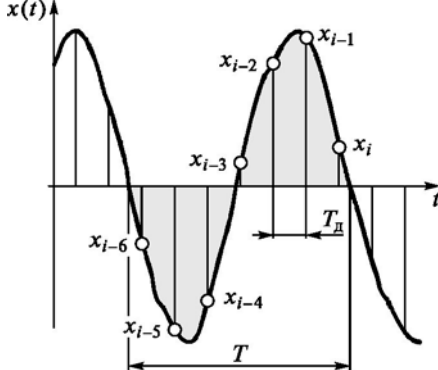
Сондай-ақ уақытша саланы талдау кезіндегідей, спектральді талдауда өңдеудің шынайы және шынайы емес уақытар режимінің түсінігі бар.

7.3.2. Электр тұтыну параметрлерін есептеу

Цифрлы өлшеу тіркеу жағдайында түскен аналогты (үздіксіз) сигналдар цифрлы кодтармен беріледі, яғни уақыт бойынша дискретті және маңыздық деңгейі бойынша квантты (санау). Электр тізбектеріндегі тоқ пен кернеу мысалында түрлі функциялар мен параметрлерді есептеуді қарастырайық.

Әрбір аналогты сигнал $x(t)$ сәттік мағыналары x_i (7.17-сурет) цифрлы эквиваленттінің (кодтар) реттілігімен ұсынуға (осы немесе сол растылықпен) болады.

T сигналының бір мезгілінде (T_D дискретизация қадамы азырақ болуы) алынған кодтар (санаулар) саны көбірек және разрядтың аналогты-цифрлы түрленуі жоғарырақ болғанынан, сигналдың өзі цифрлы түрде ұсынылады және содан кейінгі есептеулердің барлығының нәтижелері нақтырақ болады



...
x_i
x_{i-1}
x_{i-2}
x_{i-3}
x_{i-4}
x_{i-5}
x_{i-6}
...

7.17.-сурет. Мезгілдік аналогты сигналды (а) цифрлы эквивалентпен (б) ұсыну

а

б

заманауи тіркеуіш/талдағыштарда бір мезгілдік сигналдың типті санау сандары ($T = 20$ мс) 100...200 тең. Аналогты-цифрлық түрлену разрядтылығы 10.16 бит (екілік разряд).

Кіріс сигналдарын іске асырудың аса ұзақтығын кодтарға түрлендірген жағдайда (T бір мезгілдігінен төмен емес), алынған цифрлы эквиваленттік ауқым түрлі параметрлер мен функцияларды табу үшін пайдалануға болады. Кейбір шамалардың сандық мағыналарын табуға болады, сондай-ақ түрлі функционалды тәуелділіктерді салуға да болады.

Біз білетіндей, T мезгілмен $x(t)$ аналогты мезгілдік сигналдың барлығын шынайы орташа квадратты (қолданыстағы) мағынасы (ОКМ)

$$x_{с.к} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

өрнекке анықталады.

Кернеу мен токтардың кіріс мезгілдік сигналдарын аналогты-цифрлық түрлендірудің тезерекеттігі нәтижесінде алынған кодтар ауқымы негізінде микропроцессор (немесе компьютер) кернеу мен токтың ОКМ T мезгілінде есептейді. Жеке цифрлы санаулар бойынша ОКМ есептеу рәсімі үздіксіз функцияларға арналған өрнекке ұқсас. Мысалы, аналогты-цифрлық түрлендірудің (кодтар) және мезгілдік кіріс сигналдарының алынған N нәтижесі бойынша $u(t)$ мезгілдік кернеуін ОКМ есептеу жағдайында есептеудің өрнегі:

$$U_{с.к} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i^2}$$

Осындай реттілік есептеу мағыналарының көбісі уақыттағы $u_{СК}(t)$ қолданыстағы мағынасын өзгерту (функция) кестесін құруға мүмкіндік береді. Ұқсас етіп ОКМ тоғы $/_{СК}$ және $/_{СК}(f)$ функциясын алуға болады. Кернеу мен токтың есептеуіш мағыналары негізінде қуаттылық (активті және реактивті), энергия (активті және реактивті), қуаттылық коэффициенті және т.б. сияқты электр сигналдарының маңызды параметрлерінің басқа функциялары мен мағыналарын табуға болады. Осы мағыналар есептелетін формулалар аналогты (үздіксіз) сигналдардың өрнектерін еске салады (тұрғыда қайталанып та келеді).

Үшфазалы электр желіде жұмыс істеуге арналған тіркеуіштер/талдағыштар кернеу мен токтардың ОКМ, сондай-ақ әрбір фаза бойынша жеке қуатты есептейді. Содан кейін, үшфазалы желінің әртүрлі қосымша параметрлерін табуға болады, мысалы, үшфазаның орташасы бойынша кернеу ОКМ мағынасы ($U_{СК}$)_с, барлық үшфазасы бойынша жалпы (сомалық) белсенді қуаттылық $P^{\wedge}$, үшфаза және басқа бойынша қуаттылық коэффициентінің орташа мағынасы $\kappa_{ис}$ (жоғарыдан қараңыз).

Функционалды кодтар ауқымын құрамдау мәселесін анықтап көрейік. 7.18-суретте кернеу, ток тіркеу режимінде, қуаттылық функциясы мен белсенді энергияны (бір ғана фаза үшін) есептеуде тіркеуіш/талдағыштың оңайтылған құрылымдық-алгоритмді сұлбасы келтірілген.

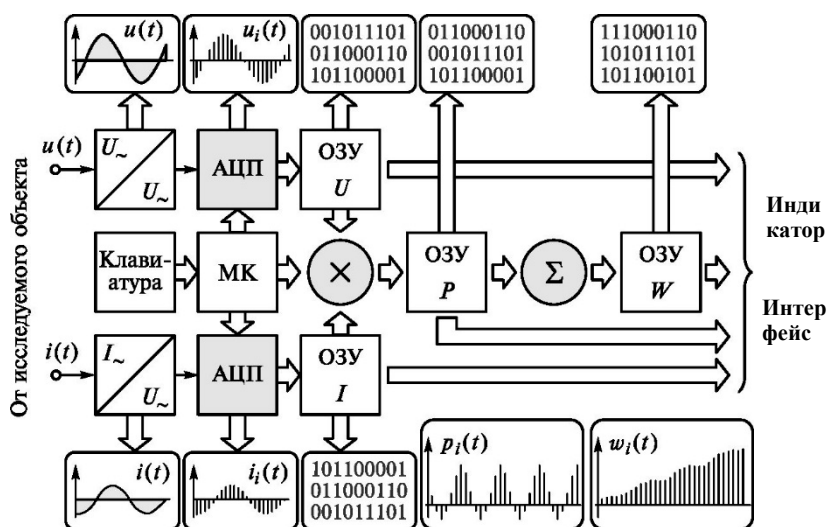


Рис. 7.18. Упрощенная структура регистратора/анализатора

Құрылымның екі кіріс каналдары бар, зерттелетін объектіден бір фазалы кернеу $u(t)$ және ток $i(t)$ түседі. Кіріс сигналдары шағын амплитуданың (2 ...10 В) пропорционалды кернеуінен кішірейеді (кернеу, бөлгіш, шунт трансформаторларының немесе басқа да кернеу мен тоқтың түрлендірулерінің көмегімен). Содан кейін жеткілікті дескритизациялаудың (5.20 кГц) жоғары жиілігімен олар АЦТ жеке аналогты-цифрлық түрлендіруге синхронды кернеу мен тоқтың кодтар ауқымына қайта құралады. Осы ауқымдар реттеліп жиналады және кернеу (ЖЖҚ U) мен ток (ЖЖҚ I) оперативті сақталу құрылғыларында сақталады. Егер интервалда алынған, мысалы, осы ауқымды біратаулы бір мезгілді кодтарды МК микропроцессорлық контроллер көмегімен көбейткен жағдайда, үшінші ауқымды алуға болады – қуаттылық функциясының кодтар ауқымы (ЖЖҚ P).

Осы жаңа ауқымды интегралдап, төртінші ауқымды алуға болады – белсенді энергияны өзгерту функциясын сипаттайтын кодтар ауқымы (ЖЖҚ W). Әрбір құрамдалған ауқымдар калпына келтіріледі, және графикалық (жалған аналогты) түрде индикаторда (дисплей) немесе басқа құрылғының интерфейсы арқылы ұсынылады.

Үшфазалы тіркеуіш/талдағыштар минимум осындай кернеудің үш кіріс каналдары мен тоқтың үш кіріс каналдарына ие, олар осы барлық каналдар арқылы сигналдарды синхронды тіркейді.

7.4. Типті тіркеуіш/талдағыштардың сипаттамасы.

Тіркеу мен талдау рәсімдерін іске асырудың бірнеше баламалары бар. Өртүрлі физикалық шамалардың (процестері) шағын өлшемді автономды тіркеуіш/талдағыштары, сондай-ақ тіркеу мен талдаудың компьютерлік құралдары аса кеңінен таралған. Олардың негізгі мүмкіндіктері мен сипаттамаларын қарайық.

7.4.1. Электр тұтыну параметрлерінің тіркеуіш/талдағыштары

Электр тізбесіндегі электр тұтыну параметрлерінің заманауи микропроцессорлық тіркеуіш/талдағышы — бұл шағын өлшемді тасымалды аспаптар. Осы кластың типті өкілдерінің негізгі сипаттамалары мынадай:

- бірфазалы және үшфазалы тізбектермен жұмыс істеу мүмкіндігі (оның ішінде симметриялы емес);
- Кіріс кернеу өлшемдерінің жоғарғы диапазон шегі — сызықты 600...1000 В дейін, фазалық 500...600 В дейін;
- Кіріс ток өлшемдерінің жоғарғы диапазон шегі (зерттелетін ток тізбектерін үзусіз өлшеуді қамтамасыз ететін ток клещтерді қолданумен) — 2000.5000 А дейін (қолданатын клещтердің типіне қарап);
- Шығатын ақпараттар - кернеу мен токтардың орташа квадратты

(қолданыстағы) мағыналары, қуат мағыналары (активті және реактивті – индуктивті және сыйымдылық сипаттағы), әрбір фазалар, желі жиілігі, энергия (активті және реактивті – индуктивті және сыйымдылық сипаттағы) ($\cos\phi$) қуаттылық коэффициенттері;

- Бағдарламаланған жұмыс режимі және өлшемдер диапазоңдары;
- Уақытша және жиілік салалардағы кернек мен токтардың тіркелген сигналдарын ұсыну, кернеу мен токтардың спектральді құрамын ұсыну (мамандандырылған бағдарламалық жасақтың қолдануымен);

- Тіркеудің мүмкінді ұзақтығы – бірнеше айға дейін;
- Ішкі деректер жадысының көлемі — 128 Кбайт. 1 Мбайт (қосымша жады картасын пайдалану мүмкіндігі бар);

- Жіберудің әртүрлі режимдері (берілген ағымдағы уақыт бойынша немесе берілген кіріс шамаларды деңгейі бойынша);

- Ішкі энергияға тәуелсіз таймен (ағымдағы күн және уақыт);
- Дербес компьютерде тіркелген деректерге пысықтап талдауды жүзеге асыруға мүмкіндік беретін мамандандырылған бағдарламалық жасақтың бары;

- кернеу мен токтарды (өлшеу трансформаторларын есепке алмағанда) өлшеу мен тіркеудің кемшілігі $\pm (0,5 \% \text{ өлшеу нәтижесінің мағынасы} + 2 \text{ разрядтың кіші мәнді бірлігі})$ температурасының барлық жұмыс диапазоңында;

- Активті және реактивті қуаттылықтарды өлшеудің кемшіліктері (өлшеу трансформаторларын есепке алмағанда) - $\pm (1,0\% \text{ өлшеу нәтижесінің мағынасы} + 2 \text{ разрядтың кіші мәнді бірлігі})$;

- АЦТ дискретизациялау жиілігі - 100 кГц дейін;

- жұмыс температураның диапазоңы — 0.50 °C;

- салмағы — 1.3 кг.

Осындай аспаптар (мамандандырылған бағдарламалық жасақтармен бірлесіп) өлшеуге, тіркеуге және есептеуге мүмкіндік береді:

- кернеу мен токтардың ағымдағы орташа квадратты (қолданыстағы) мағыналары; барлық тіркеу интервалдарында барлық фазалардағы кернеу мен токтардың максималды, орташаландырылған және минималды мағыналары;

- активті және реактивті ағымдағы мағыналар (индуктивті сияқты, сондай-ақ сыйымдылық сипаттағы); барлық тіркеу интервалдарында активті және реактивті қуаттылықтың максималды және минималды мағыналары; барлық фазалар бойынша сомалық қуаттылық;

- активті және реактивті энергияны тіркеу интервалында тұтынған;

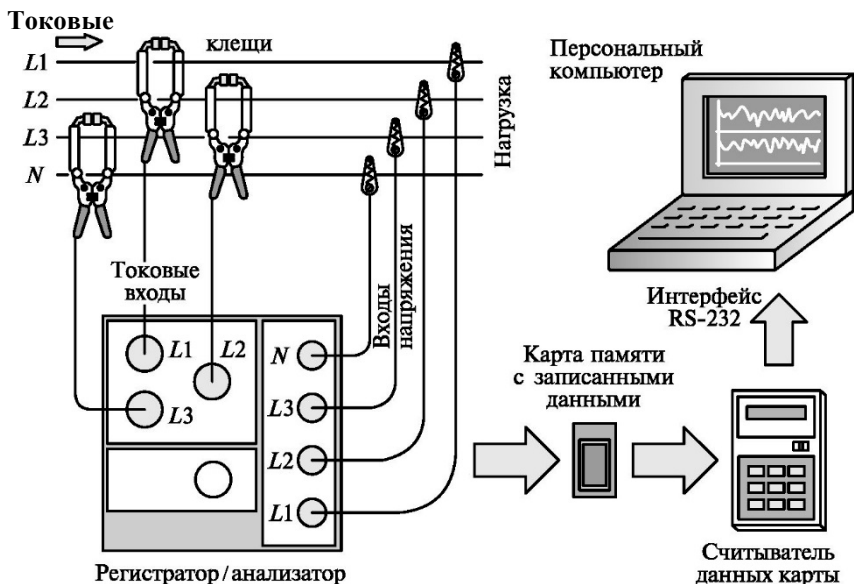
- электр желі жиілігінің ағымдағы мағынасы;

- қуаттылық коэффициенттерінің ағымдағы және экстремалды мағыналары ($\cos\phi$);

- барлық фазаларда кернеу мен токтардың қисық сигналдар нысаны; әрбір фазада кернек мен токтардың жалпы гармониялық бұрмалану коэффициенттерінің мағынасы; спектральді салада, сондай-ақ кесте нысанында графикалық ұсынумен әрбір фазадағы кернеу мен токтардың гармониялық құрайын пайыздық құрамы.

Осындай аспаптарды қолданудың кейбір типтік ерекшеліктерін қарастырамыз.

Үшфазалы электр желінің спецификасы және аспаптарды қосу жүктемесіне тәуелді әртүрлі жүзеге асырылуы мүмкін. Нейтраль бар төртсымды желі жағдайында («жұлдыз» типті сұлбасы) 7.19.-суретте көрсетілген аспаптарды қосудың баламалары жиі қолданады. Бұл ретте, барлық кернеу мен токтардың фазалары жеке өлшенеді және тіркеледі. Қосымша жады картасын пайдаланған кезде тіркеудің аяқталуы бойынша аспаппен тіркелген деректерді дербес компьютерге тасымалдау



7.19.-сурет. Аспапты қосу және тіркелген деректерді компьютерге тасу

RS-232 ретті интерфейс бойынша картаның деректерін оқу арқылы жүзеге асырылады. Кейін, бағдарламалық жасақтарды қолданумен компьютер соңғы талдау жүргізеді және ақпаратты кесте және/немесе графикалық түрде ұсынады.

Аспаптардың жады ресурстарының шектелуіне байланысты, цифрлы өлшейтін тіркеуіштердің барлығы үшін типті - T_0 дискретизациялау қадамы мен T_p тіркеудің жалпы ұзақтығы (интервал) арасында оптималды қашықтықты таңдау қажет болып табылады.

T_a (жады көлемі 512 Кбайт) қадамның түрлі мағынасы кезінде

T_f тіркеудің мүмкінді болатын интервалы

Дискретизациялау қадамы T_0 1 мин 5 мин 15 мин 1 с 4 с

Жалпы интервал T_p 8,5 с 42,6 с 5,3 тәу 21,3 тәу 85,3 тәу

1 мин. айыру қабілетімен мүмкінді болатын диапазон шеңберінде тіркеу қадамының әрбір мағынасын бағдарламалауға болады. Ішкі жадының үлкен көлемі кезінде (немесе үлкен көлемді жады картасын пайдаланған кезде) тіркеудің мүмкінді ұзақтығы пропорциялы өседі.

Осындай тіркеуіш/талдағыштардың бағдарламалық пакеттері өңдеудің түрлі алгоритмдерін (талдау) және ақпаратты ұсынуды қамтамасыз етеді. Тіркеу мен талдаудың нәтижелерін графикалық және кестелі ұсыну мүмкіндігі өте түрліше.

7.4.2. Мини-логгерлер

Көптеген түрленген **ЦИР** ішінен жиі кездесетін тапсырмалардың көбісін шешуге арналған қарапайым, дәлдігі жоғары емес, миниатюралық, автономды қорегі бар, арзан тобын бөліп алып, салыстырып көрейік. Осы топтардың типті өкілдері миниатюралық ЦИР (шетелдерде мини-логгерлер деп аталатын — MiniDataLogger) болып табылады. Қазіргі уақытта электр, сондай-ақ электрлі емес шамаларды электрлі өлшеу мен тіркеу тапсырмалардың көбісін табысты шешеді. Осындай мини-логгерлардың (МЛ) салмағы мен габариті өте кіші; жеткілікті кең диапазондарда оларды өлшеуге бір немесе бірнеше түрлі шамалардың цифрлы автоматты тіркеу ұзақтығының мүмкіндігімен қамтамасыз етеді; метрологиялық сипаттамасы қанағатты және пайдалану сипаттамалары үздік, құрамында ішкі қоректену көздері бар, ұзақмерзімді және автономды жұмыспен қамтамасыз етеді. Қолдануға ыңғайлы және қарапайым. Эксперименттің аяқталуы бойынша жинақталған цифрлы деректер ауқымы компьютерге беріледі, мұнда түрліше өзгерістерге ұшырауы ықтимал және/немесе түрлі нысандарда ұсынылуы мүмкін.

Қоршаған орта параметрлерін тіркеу: температуралар, ауаның салыстырмалы ылғалдығы, қысым, ауа ағынының жылдамдығы, жарықтығы, электр тұтыну параметрлері үшін МЛ кеңінен таралған. Сондай-ақ унификацияланған кіріс сигналдармен тиісті бастапқы өлшеу түрлендіргіштің (датчик) кірістеріне оларды қосу шарттары кезінде түрлі физикалық шамаларды тіркеуге қабелітті әмбебап МЛ бар.

Аса таралған МЛ типті сипаттамалары

кіріс каналдарының саны.....	1... 2
АЦТ разряды, бит.....	8. 12
Деректердің ішкі жады көлемі, Кбайт.....	8.64
Тіркелудің ұзақтығы, жыл.....	до 1
Салмағы, г	50.200

7.4.3. Компьютерлік тіркеу және талдау құрылғылары

Дербес компьютердің (ДК) жасанды ақылы элементі ретінде пайдалануға негізделген тіркеу және өлшеудің цифрлы құралдарының көп түрі бар (салыстырғанда жас).ол үшін ДК аналогты сигналдар мен цифрлы деректерді түрлендіру құрылғыларымен, яғни аналогты-цифрлық түрлендіргіш модулімен толықтыру қажет. Осындай түрлендірулер өлшеу, метрологиялық және пайдаланушы диапазондарын мүмкіндігіне қарай әртүрлі құрылымдылық орындауларды атқарады – ДК корпусына кіріктірілетін (қойылатын) шағын габаритті платалардан бастап, күрделі көпканалды модульді кешендерге дейін. Бұл бүгінгі таңда, өлшеуіш техникаларды дамытудың келешекті бағыттарының бірі, сонымен қатар компьютерлік шешімдер өздігінше қуатты болып табылады және пайдаланушыда ДК бар болу жағдайында қымбатқа да түспейді. Өлшеу және тіркеу компьютерлік құралдары кіріс шамаларды өлшеу және\немесе тіркеуді ғана мүмкіндік бермейді, олар және:

- Өте үлкен көлемді архивтерді сақтайды, әртүрлі форматта және тез жылдамдықта осы ақпараттарды бере алады;
- Күрделі мамандандырылған алгоритмдері бойынша цифрлы деректер ауқымына сәйкес өңдей алады;
- Алынған деректерді әртүрлі нысанда ұсынады, оның ішінде әртүрлі графикалық үлгілерді жасай алады;
- Күрделі жүйелер үшін әртүрлі сипаттамалардың сигналдарын қосымша басқаруды құрайды (синтездейді);
- Күрделі ақпараттық-өлшеулерді және басқарушы жүйелерді ұйымдастырады.

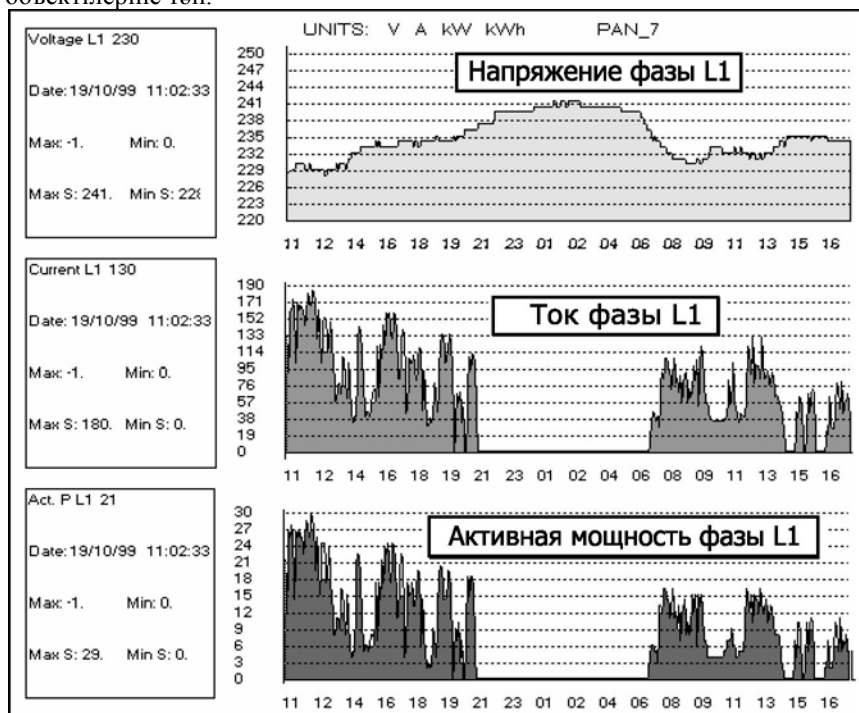
7.5. ТІРКЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ НӘТИЖЕЛЕРІНІҢ

МЫСАЛДАРЫ

Үшфазалы электр тізбектеріндегі шынайы эксперименттердің деректерін тіркеу және өңдеу нәтижелеріне кейбір мысал келтірейік. Эксперименттер тіркеудің әртүрлі ұзақтықтағы интервалдарымен және дискретизациялау қадамының әртүрлі мағыналарымен, әртүрлі уақытта, әртүрлі объектілерде жүргізілді.

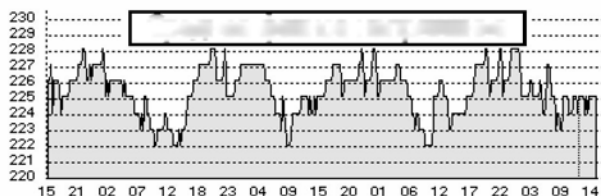
7.20-суретте үшфазалы желінің бір фазасындағы кернеу, ток және белсенді қуаттылықтың қолданыстағы мағыналарын тәулікті тіркеуге мысал келтірілген, абсцисс өсі бойынша — мәскеу уақыты. Токтың, қуаттылықтың түнгі төмендеуі, тиісінше кейбір кернеулердің артуы нақты көрсетілген.

7.21-суретінде үшфазалы электр желісінде, белсенді қуаттылық жиынтығы мен жалпы белсенді энергиядақолданыстағы фазалық кернеудің орташа (барлық үш фазалар бойынша) жазбасының аса ұзақ (4 тәулік ішінде) нәтижелері көрсетілген. Кернеу мен тоқтың диаграммасының осындай өзгеруі толық тәулік емес жұмыс істейтін объектілеріне тән.

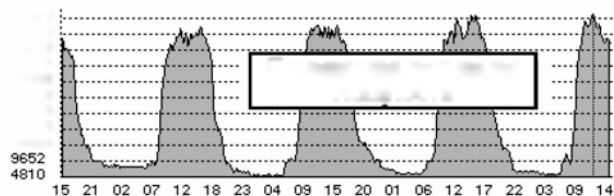


7.20 сурет. Фазалық кернеулерді, тоқты және қуатты тіркеу мысалы

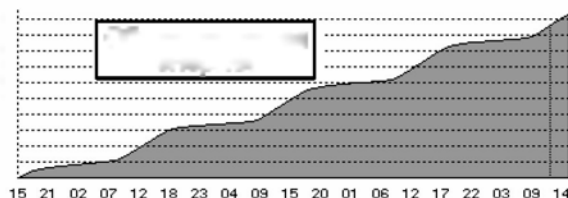
Voltage III 225 V	
Date: 18/10/99 12:00:00	
Max: 228.	Min: 222.
Max S: 228.	Min S: 222.



Act. P.III 53224 W	
Date: 18/10/99 12:00:00	
Max: 53224.	Min: 4819.
Max S: 53224.	Min S: 4819.



Act.P.Meter 2058.9 kVh	
Date: 18/10/99 12:00:00	
Max: 2200	Min: 12
Max S: 2200	Min S: 12



7.21.-сурет. Үшфазалы электр желінің параметрлерін ұзақ тіркеу мысалы

Уақытша салада барлық фазалық кернеу мен токтар сигналдарын беру 7.22.-суретте көрсетілген. Диаграммалар барлық фазадағы кернеулер мен токтарды сигналдар нысанының мәнін көрнекі көрсетеді. Фазалық токтар сигналдарының нысандары елеулі бұрмаланғаны жақсы көрінеді.

Бейсинусоидалылықты сигналдың гармоник құрамын көрсету бөлек гармонияның қолданыстағы мағыналары бағаналы графика (BarGraph), немесе санды кесте (Numerical) түрінде ұсыну мүмкін. Микропроцессорлық тіркеуіш/талдағыштар мен мамандандырылған бағдарламалық жасақтар көмегімен алынған үшфазалы тізбектердің кернеуі мен токтарының шынайы амплитудалық сигнал спектрлерін кестемен ұсыну мысалы 7.23.-суретте көрсетілген. Абсцисс өсі бойынша гармоник нөмірлері көрсетілген (екіншіден бастап — 100 Гц және 15-й дейін — 750 Гц), ординат өсі бойынша — жалпы қолданыстағы сигналдың мағынасына гармониктің пайыздық үлесі. Тақ гармониктің қатты ықпалы көрінеді — 3, 5, 7-й (әсіресе фазалық токтар спектрінде).

7.24,суретте үшфазалы тұтынудың кернеу мен токтардың тіркелген сигналдарының спектральді құрамын кестелі ұсынуға мысал келтірілген.

Waveform: 19/03/01 19:55:44
L1 Voltage: V

UNITS: V A
L2 Voltage: V

D I P P A N F I L D I C I R C U T O R
L3 Voltage: V

THD: 2.07 %
L1 Current: A

THD: 1.82 %
L2 Current: A

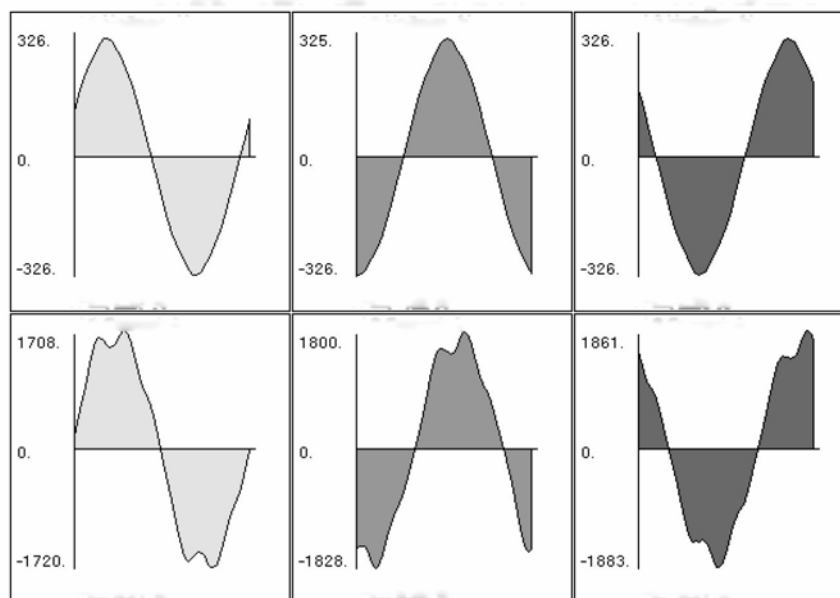
THD: 2.23 %
L3 Current: A

THD: 9.51 %

THD: 9.56 %

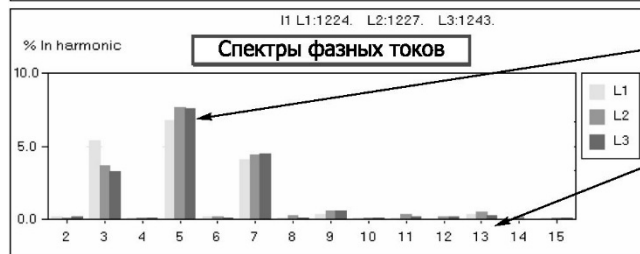
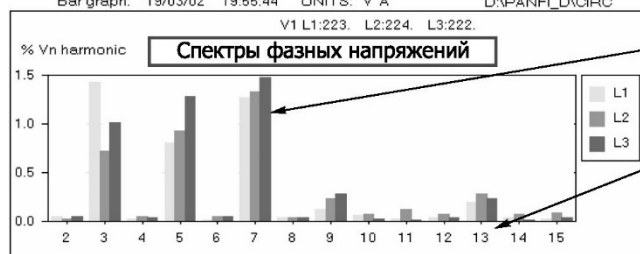
THD: 9.37 %

7.22.-сурет. Фазалық кернеу мен тоқтардың бейсинусоидалылығын бағалау



күні, уақыты (мәскеулік)

Bar graph: 19/03/02 19:55:44 UNITS: V A D:\P\NFI_DVCIRC



7.23-сурет. Кернеулер мен тоқтардың амплитудалық спектрлерінің кестесі

Файл атауы

Күні Ч у" уакыты (мәскеулік)

Кернеудің
гармоник
нөмірлері

Numerical tables: 17/03/01 09:40:48 UNITS: V A D:\PRA\NFI\DI\RCUTO R

Vrms:229. V1:229. THD(V): 0.98 %		Vrms:229. V1:229. THD(V): 0.61 %		Vrms:229. V1:229. THD(V): 0.69 %	
2	0.07	2	0.04	2	0.03
3	0.61	3	0.07	3	0.39
4	0.02	4	0.03	4	0.03
5	0.72	5	0.56	5	0.52
6	0.03	6	0.03	6	0.04
7	0.13	7	0.11	7	0.08
8	0.09	8	0.03	8	0.01
9	0.04	9	0.09	9	0.12
10	0.03	10	0.05	10	0.05
11	0.10	11	0.05	11	0.02
12	0.04	12	0.03	12	0.05
13	0.13	13	0.09	13	0.04
14	0.04	14	0.03	14	0.08
15	0.06	15	0.09	15	0.09

Irms:498. I1:498. THD(I): 2.46 %		Irms:438. I1:437. THD(I): 2.11 %		Irms:456. I1:455. THD(I): 3.35 %	
2	0.66	2	0.14	2	0.61
3	2.06	3	1.72	3	3.12
4	0.36	4	0.05	4	0.23
5	0.80	5	1.01	5	0.95
6	0.16	6	0.08	6	0.06
7	0.65	7	0.62	7	0.29
8	0.13	8	0.16	8	0.06
9	0.11	9	0.11	9	0.11
10	0.06	10	0.10	10	0.14
11	0.20	11	0.12	11	0.19
12	0.12	12	0.07	12	0.04
13	0.21	13	0.10	13	0.10
14	0.09	14	0.09	14	0.12
15	0.10	15	0.03	15	0.12

кернеу
гармонигінің
(пайыздық)
салыстырмалы
мағынасы

фазалық токтар
гармонигінің
нөмірі

ток гармонигінің
(пайыздық)
салыстырмалы
мағынасы
фазалық кернеу
мен токтардың
гармоникалық
бұрмалау
коэффициенттері
(THD)

7.24.-сурет. Кернеу мен токтардың спектральді құрамын кестемен ұсыну

ТОКОВ

Кестеде бейсунусоидальді (жиынтық) сингалдың жалпы қолданыстағы мағынасының пайызында қолданыстағы жеке гармониктардың мағынасы көрсетілген.

Бақылау сұрақтары

1. Аналогтыға караганда цифрлы тіркеуіштердің негізгі жетістіктерін атаңыз. Цифрлы тіркеуіштерде кемшіліктер бар ма? Бар болған жағдайда, оларды мазмұндаңыз.

2. «Дискретизация» және «кванттық» терминдері нені білдіреді? Заманауи цифрлы өлшеу және тіркеу құралдарында осы процедуралар қалай іске асырылады?

3. Аналогты-цифрлы түрлендіргіш цифрлы өлшеу тіркеуіштерінің құрамында қандай рөл атқарады? Автономды цифрлы мультиметрлерде қолданатын осындай АЦТ түрлендіргіштерден қандай айырмашылығы бар?

4. Минилоггер дегенімін не? Типті минилоггерлердің негізгі сипаттамалары қандай?

5. Цифрлы өлшеу тіркеуіштің деректер жадысының көлемі 1000 санау.

Дискретизация қадамы $T_0 = 15$ с. T_p тіркеудің максималды ұзықтығы қандай болады?

6. Цифрлы өлшеу тіркеуіштің кіріс каналдарының саны 4 тең. Деректер жадысының жалпы көлемі — 8000 санау. Дискретизация қадамы $T_0 = 1$ мин, барлық каналдар бойынша бірқалыпты дискретизация кезінде T_p тіркеудің максималды ұзықтығы қандай болады?

7. Цифрлы өлшеу тіркеуіштің деректер жадысының көлемі 2048 сөз. Екіапталық графиканы тіркеу үшін процессті өзгертуге T_d дискретизациясының қандай минималды мүмкіндікті қадамын тағдаған жөн?

8. Дискретизация қадамы $T_0 = 1$ мин тәулік ішінде сегіз процессті тіркеу үшін деректердің қандай жады көлемі қажет етіледі?

9. Тіркелетін цифрлы өлшеу тіркеуіштерінің технологиялық объектілерінің температурасын өзгертудің максималды мүмкінді өлшемі ± 5 °C/мин тең. Динамикалық дәлсіздігі $\pm 1,0$ °C дейін қамтамасыз ету үшін, T_0 дискретизацияның максималды мүмкінді қадамы қандай?

10. Цифрлы өлшеу тіркеуіштерпен тіркелетін айналмалы кернеудің қолданыстағы маңызын өзгертудің максималды мүмкінді жылдамдығы $\pm 0,5$ В/с тең. T_0 дискретизация қадамы 5 с. Тең берілген. Динамикалық дәлсіздігінің максималды мүмкіндігін бағалаңыз.

11. Егер $T_0 = 30$ с дискретизация қадамы, жеткілікті динамикалық дәлсіздік ± 1 А аспау керек, цифрлы өлшеу тіркеуіштерпен тіркелетін айналмалы тоқтың қолданыстағы маңызын өзгертудің жеткілікті (максималды) жылдамдығы қандай болуы мүмкін?

БЕЙЭЛЕКТРИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫ ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ**8.1. ТЕМПЕРАТУРАНЫ ӨЛШЕУ**

Бізді қоршаған әлемде көптеген бейэлектрикалық шамалар кездеседі. Қазіргі уақытта олардың мағынасын бағалау үшін электрикалық тәсілдер мен өлшеу құрылғылары пайдаланады. Ақпараттардың түрлендірудің электрикалық нысандарының барлық жетістігін пайдалану үшін бейэлектрикалық физикалық шаманы алдын-ала электрикалыққа түрлендіру қажет (электрикалық кернеу, тоқ, электр қарсылығы мен сыйымдылығы, импульстердің жүру жиілігі, индуктивтік, заряд немесе басқалар).

Осы тәсілдерді тәжірибелік тапсырмаларда жиі кездесетін кейбір бейэлектрикалық шамаларды өзгерту мысалында қарастырайық.

Температура — түрлі ғылыми, техникалық, өнеркәсіптік зерттеулердің тапсырмаларында бағаланатын, физикалық шамалардың маңыздыларының бірі. Температура — бұл өзгеше физикалық шама, әртүрлі жай-күйде (қатты дене, сұйықтық, газдар, аралас жағдайлардағы заттарда) болатын барлық заттар мен нәрселерге тән.

Тарихи жағдайда температура – физикалық шамаларды өлшейтін ескі тәсілдердің бірі. Адам жүз жылдар бойы температурасын өлшеп келген. Температураны өлшеудің алғашқы құралы (сұйық термометрлер) XVI ғасырда пайда болды. Оларды ашудың авторлығы атақты итальян табиғат зерттеуші Г. Галилейге берілген. Әртүрлі кезеңдерде термометрияны дамытуға XVII—XIX ғғ. Г. Фаренгейт, А. Цельсий, В. Томсон (лорд Кельвин), Т. Зеебек және басқа атақты ғалымдар өз үлестерін қосты.

Соңғы онжылдықта экспериментті зерттеулер тәжірибесіне қажеттілік өсті, температураны өлшеу диапазоны қаттаы кеңейді, метрологиялық және пайдалану сипаттамаларына талаптар бірденнен көтерілді. Сол уақытта өлшеу техникаларына, микроэлектроникаларға, компьютерлік техникаларға, қолданбалы математикаға мүмкіндіктер де сұраныста болды.

Өлшенетін температураларға мағыналар диапазоны өте кеңейді: -270°C дейін бірнеше мың Цельсия градусына дейін, аспаптарға нақтылық, дәлдік, сезгіштік, функционалды мүмкіндік, пайдалану сипаттамаларына қойылатын талаптар түрлі, қолданылған тәсілдер мен құралдар түрлері жеткілікті.

Заманауи тәсілдер мен температураны өлшеу құралдары температураны өлшеу кезінде келе көрінетін қатты денелер, сұйықтықтар, газдардың осы немесе басқа физикалық ерекшеліктеріне (механикалық, электрикалық, оптикалық қасиеттеріне) негізделген.

Қазіргі уақытта электрикалық және бейэлектрикалық тәсілдер мен температураны өлшеу құралдары пайдаланады. Бейэлектрикалық тәсілдер мысалы, кәдімгі сұйықтықты термометрлермен өлшенеді. Электрикалық тәсілдер (заманауи өлшемдердің негізі) мысалы, термометрлер мен тіркеуіштерде термоэлектрикалық түрлендіргіштер негізінде іске асырылған. Осы тарау тақырыбында тек электрикалық тәсілдер мен құралдар жөнінде айтылады.

Статикалық (қадағалау уақыты ішінде температураның мағынасы өзгермейтіні болжамдалады) және *динамикалық* (процесте тез өзгереді және принципті түрде шама жосығының сипатын білгені өте маңызды және (немесе) барлық өзгерістерді оперативті қадағалауды мысалы, автоматты басқару жүйесінде) өлшеулер бөлінеді. Сондай-ақ көрсетілетін және тіркелетін температураларды өлшеу құралдары болып та бөлінеді. Біріншілері статикалық модельдерді іске асырады және ағымды мағынаны санау үшін цифрлы индикаторларды немесе шкаласы бар болады. Екіншілері динамикалық модельдерге арналған және уақыт интервалының ұзақ мерзімге температураның өзгеруін (уақыт функциясы сияқты) жазуға мүмкіндік береді.

Ақпаратты түрлендірудің тәсілдері бойынша әдістер мен құралдар (тіркеу) *аналогты* және *цифрлыға* бөлінеді. Цифрлы термометрлер аналогтыларға қарағанда белгілі жетістіктер қатарына ие – метрологиялық және пайдалану сипаттамалары өте жоғары, тезәрекетті, берік. Сонымен қатар, ақпаратты ұсынудың цифрлы нысаны өңдеу, сақтау, тапсыру және деректерді ұсынуды автоматтандырумен жеңілдікті қамтамасыз етеді.

Объекті мен аспаптың өзара әрекеті принципі бойынша температураның өлшеу әдісі мен құралдары *байланысты* және *байланыссызға* бөлінеді. Біріншілері пайдалануда қарапайым және нақтылығы аса жоғары. Екіншілері жұмыста ыңғайлы (кейбір тапсырмаларда ауыстырғысыз), нәтижелерді тезірек алуға мүмкіндік береді, ал дәлсіздігі төмендеу.

Температураны көпканалды өлшегіштер (тіркеуіштер) бірнеше процесті өлшеге және/немесе температураны бірнеше нүктеде синхронды өлшеуге арналған.

Қазіргі уақытта температураны өлшеу тәжірибесінде әдеттегідей, температураның өлшеудің цифрлы құралдары пайдаланады, олар электрикалық әдістерді түрлендіруге негізделген. Бұл ретте, объектілер мен процестердің статикалық және динамикалық моделдері қолданылады. Байланысты және байланыссыз әдістер мен құралдар да кеңінен таралған.

Бірканалды өлшеуіңтер көпканалдыларға қарағанда жиірек қолданылады. Бірақ араласқан цифрлы аспаптар кеңінен қолданылады, олар екі немесе бірнеше түрлі физикалық шамаларды өлшей алады. Мысалы температураның және ауаның салыстырмалы ылғалдығының немесе температураны және ауаның ағынының жылдамдығын (термоанемометр). Температураның тіркеуіштері арасында көрсететін аспаптарға қарағанда, көпканалдылық жиі кездеседі.

Өлшеу құралдары мен температураларды тіркеуге қойылған негізгі талаптар (басқа техникалық құралдарға қойылғандай): өлшеу нәтижесінің қажетті дәлдігі, қатал жағдайларда пайдалану кезінде жұмысқа мүмкіндігі мен беріктігі, шағын габаритті көлемі мен салмағы, жұмысқа қарапайым және ыңғайлы, зерттелетін процестердің барысына әсер тизізбеуі (нақтырақ – елеместей аз ықпал), берілетін ақпараттың көрнекілігі, қолжетімді бағасы.

8.1.1. Өлшеудің байланысты әдістері мен құралдары

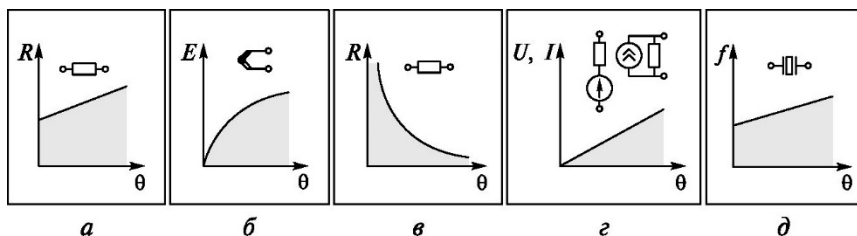
Егер бейэлектрикалық физикалық шаманы – температурасы 0 – қандай да бір пропорционалды электрикалық шамаға (ЭДС E , кернеу U , ток I , қарсылық R , сигнал жиілігі f және т.б.) бастапқы өлшеу түрлендіргіші арқылы түрлендірген жағдайда, оның мағынасын электрикалық өлшеу құралдарымен оңай анықтауға болады.

Бастапқы өлшеу түрлендіргіштерін (датчик) құру кезінде әртүрлі физикалық әсерлер пайдаланады. Негізінде термоэлектрикалық датчиктердің келесі түрлері қолданылады:

- металды кедергі термометрлері (КТ);
- термоэлектрикалық түрлендіргіштер (ТТ) — термопаралар;
- жартылай өткізгішті кедергі термометрлері (термисторлар);
- жартылай өткізгішті интегралды сенсорлар (датчиктер);
- жиілікті шығыс сигналдарымен пьезоэлектрикалық (кварцты) түрлендіргіштер.

Осы кластағы түрлендіргіштерінің негізгі англотілді терминдері: ResistanceTemperatureDetector (RTD) — кедергі термометр; Thermo-Couple (TC) — термопара; Thermistor — термистор; MonolithicLinearTemperatureSensor — монолитті жартылай өткізгішті датчик (түрленудің сызба сипатымен); QuartzSensor— кварцты датчик.

8.1-сурет. Аса танылған датчиктер типтерін түрлендірудің сипаттамаларында ерекшеліктерді сапалы бейнелейді.



8.1.-сурет. Температура датчиктері сипаттамаларының айырмашылығы: *а* — кедергі термометрі; *б* — термопара; *в* — термистор; *г* — интегралды жартылай өткізгіштік датчиктер; *д* — кварцты резонатор

Осы бастапқы өлшеу түрлендіргіштердің негізгі ерекшеліктерін келесі тәсілмен қысқаша сиппатауға болады.

Металды КТ жоғары дәлдікпен қамтамасыз етеді, сызбасы жақсы, сипаттамасы тұрақты және қайталанбалы. Негізгі кемшіліктері – мүмкін маңызды ықпалдар (өлшеу нәтижесіне), байланыс линияларының өткізгіш кедергісі, қажетті қосымша қорек көздері (кернеу және ток). Сонымен қатар, оның бойындағы токтан КТ өздік қызуы мүмкін, бұл қосымша дәлсіздіктерге алып келуі мүмкін.

Термопарлар қосымша қорек көздерін қажет етпейді, өлшенетін температуралардың диапазоны кең. Алайда, елеулі сипаттама түрлендіру сызықтылығы тән. Кейбір проблемаларды өлшеу нәтижелеріне ТП температураның еркін ұштарының ықпалын есептеу (немесе өтемақы) қажеттілігін құрайды. Одан басқа, шағын шығыс кернеулер (біршама сезгіштігі жоғары емес) екіншілікті түрлендіру және/немесе шығыс аспаптары сезгіштігі талап етеді.

Кедергі термометрлері және термопарлар жоғары дәлдікпен, тұрақтылықпен және өзінің түрлену сипаттамаларын қайталанушылығымен ерекшеленген.

Термисторы (жартылай өткізгішті кедергі), өз кезегінде, сезгіштігі өте жоғары, қосу сұлбасының қарапайым өткізгіштігі (ТП сияқты температураның еркін ұштарының өтемақысын талап етпейді), тезәрекеттілгі салыстырмалы жоғары. Алайда, оның маңызды кемшіліктері бар: түрлендіргіштің шұғыл сызықтық сипаттамасы мен сипаттамаларын қайталанушылығы нашар. Сонымен қатар, олардың өлшенетін температураларының диапазоны салыстырмалы жіңішке.

Жартылай өткізгішті интегралды датчиктер түрлендіргіштің сипаттамасының жоғары сызықтығымен сипатталады. Бірақ, өлшенетін температуралардың диапазоны шектеулі (150...200 °С дейін) және сонымен қатар сыртқы қорек көздерінің бар болуын талап етеді.

Кварцты резонаторлар негізіндегі датчиктердің шығыс шамасы температураның өлшеу кезінде резонансты жиілік ауытқуының өзгеруі болып табылады. Осындай датчиктер температураның тар диапазонында жоғары дәлдікпен қамтамасыз етеді.

Одан басқа, осындай датчиктердің түрлендірудің сипаттама параметрлері мен олардың температуралық коэффициенті стандартталмаған және жеке градуустауды тұспалдайды.

Барлық аталған датчиктер әртүрлі құрамда орындалады, бұл әртүрлі тапсырмаларды шешуге мүмкіндік береді (сұйықтықтар, газдар, сусымалы орталар, үстіңгі қабатының түрлі профильдер, әртүрлі температуралық диапазондар мен т.б. жұмыс істеу). Беткі өлшеулер, батпалы, әуе, магнитті датчиктер (олар ферромагниттерде, мысалы ботат үстерінде жақсы жабысады) бар, олар «жабысқақ» ленталарға бекітілген, мойынтіректегі датчиктер және басқалар.

Осындай түрлендіргіштер негізінде өлшеу\тіркеудің әртүрлі құралдарында іске асырылған байланысты электрикалық әдістер температураның (-200...+2000 °C) кең диапазонында жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Температураны байланыстық өлшеудегі дәлсіздік тек ғана бастапқы өлшеуіш түрлендірудің (датчиктер) сапасына тәуелді болып қоймай, датчиктің байланыс линияларын ұйымдастырудан – өлшеуіш, сондай-ақ екіншілікті түрленудің сипаттамаларына тәуелді. Осындай термометрлердің дәлсіздіктің типті мәні $\pm(0,2 \div 1) \%$, бірақ кейбір модельдер $\pm(0,01 \div 0,1) \%$ дәлсіздік мәніне жетеді. Қлшеудің типті сезгіштік нәтижелері – Цельсия градусының үлесі.

Аса кеңінен таралған датчиктер типтерін пайдалану ерекшеліктерін егжей-тегжейлі қарастырайық.

Кедергі термометрлер. Металды КТ негізіндегі аспаптар мен түрленгіштер 0 температурада Рот металды электрикалық термометріне тәуелді пайдаланады. Таза металда осы тәуелділік тұрғыдағы сызбалы және санды мынадай әдіспен көрсетеді:

$$\frac{R_t}{R_0} = \frac{R_0}{1 + a\Delta t},$$

мұнда R_0 — температура 0 °C кезіндегі кедергі; a — температуралық кедергі коэффициенті.

Кедергінің температуралық коэффициенті a , $1/^\circ\text{C}$, осы формула бойынша анықталады:

$$a = \frac{(AR/R) - 1}{\Delta t},$$

мұнда AR/R — температураны Δt өлшеу кезінде кедергі датчиктерді салыстырмалы өзгерту.

Осы коэффициентті былайша беруге болады, $\% / ^\circ\text{C}$:

$$a = \frac{(AR - 100/R) - 1}{\Delta t}.$$

Заманауи КТ кедергі коэффициентінің температуралық маңызы 0,003...0,006 1/°C диапазонына жатады. Бұл бастапқы (номиналды) мағынадан (0 °C кезінде) температураның 1 °C көбеюі кезінде шамамен 0,3.0,6 % кедергінің артуына сәйкес болады.

Жиі пайдаланатын материалдар: мыс (-50. + 200 °C температура диапазоны үшін) және платина (-250. +1000 °C диапазоны үшін) - 8.2.-сурет. Кедергі КТ номиналды мағынасы датчиктің құрылымы мен материалдарымен анықталады, нақты градуустаумен 10. 1000 Ом диапазонында жатады (0 °C немесе бөлме температурасы кезінде).

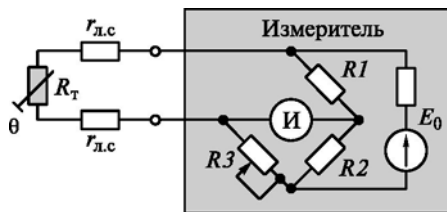
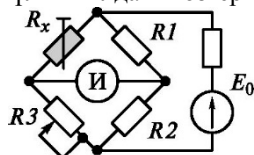
Мыс КТ әртүрлі номиналды мағынамен шығарылады: 25.1000 Ом. Мысалы 8.2-суретте номиналы (0 °C кезінде) кедергімен $R_0 = 53$ Ом мыс (Cu53) КТ сараптамасы көрсетілген.

Платина ТК түрлі техникалық өлшеулерде кең кездеседі. Олар таза платинадан жасалады (99,99 %). КТ номиналды кедергісі 0 °C кезінде 100 Ом (Pt100), бірақ КТ басқа да номиналды кедергілер мағынасы да кездеседі: 25, 500, 1000 Ом. КТ бойынша өтетін токтардың номиналды маңызы детте мынадай: 1 мА (Pt100 үшін) және 0,1 мА (Pt1000 үшін). Платиналық КТ кедергі температуралық коэффициенті (Pt100) екі мағынасы бар: еуропалық нұсқада $a_c = 0,00385$ Ом/Ом/°C ал америкалық нұсқада $a_a = 0,00392$ Ом/Ом/°C (8.2, б-сурет).

Конструктивті КТ өзіндік сезгіштік элементтерден, қорғауыш қабықша (құндақ) және бекіту элементтерінен тұрады. Сезгіштік элемент окшауланған жіңішке сымнан орамды (миллиметрдің диаметр үлесі), диэлектрикалық қаркас (өзекше), слюдтан, керамикадан немесе шыныдан орындалуын білдіреді. Сондай-ақ фольгалық орындаудағы КТ (жұқа пленкалы — ThinFilmDetector— TFD) кездеседі, ол минималды жылу инерциялық датчиктерді қамтамасыз етеді. Фольгалық (пленкалы) КТ сымды КТ қарағанда, уақыт реакциясы (жауабы) мағынасынан 5.10 есе кіші мағынаны көрсетеді.

8.2.-сурет. Мыс (а) және платина (б) КТ сипаттамасы

Бұл жылдам өзгеріп отыратын температура кезінде динамикалық



б

өлшеудегі миниатюралық объектілермен жұмыс істеу кезінде өте маңызды.

Қағидаттай, КТ көпірлік сұлбалар кіріктіріледі. Көпірлік сұлба *теңестірілген* және *теңестірілмеген* болып бөлінеді. Теңестірілген көпірдің бір немесе бірнеше резисторлары болады. Олардың кедергісі тепе-теңдікті сақтау үшін мақсатқа сай өзгертуге болады (қолмен немесе автоматты). Көпірді теңестіру көпірдің өлшеу диагоналіне айырмалық әлеуеттің (тиісінше, токтың да) жоқтығымен сипатталады, бұл көпірдің қарама-қарсы иінінің $\underline{R_1}, \underline{R_2}, \underline{R_3}, \underline{R_x}$ кедергілердің, $\underline{R_1}, \underline{R_2}, \underline{R_3}, \underline{R_x}$ резисторлардың теңдігін көрсетеді (8.3, а-сурет)

$$\underline{R_x R_2} = R_1 R_3.$$

R_1, R_2, R_3 кедергінің маңызын біле тұра белгісіз кедергінің мәнін табуға болады:

$$R_x = R_1 R_3 / R_2.$$

$\underline{R_x}$ рөлінде $\underline{R_1}$ кедергісімен КТ шықса (8.3, *б-сурет*), КТ сипаттамасын біле тұра θ температурасының мәнін табуға болады. Ол датчикен әсер етеді. Теңестірілмеген көпір мәні $\underline{R_1}$ болған жағдайда, КТ кедергісі (тиісінше 0 температура) көпірдік өлшеу диагоналінің айырымды әлеуетінің мәні бойынша анықталады. Теңестірілген көпірлерді теңестірілмегенмен салыстыру кезінде әлдеқайда нақтырақ болып келеді.

КТ датчиктерімен жұмыс істеу кезінде ең басты проблема - $r_{л.с}$ Байланыс линияларының өткізгіштік кедергісін өзгеру нәтижесіне ықпал етуі. Көпірлік сұлба датчиктер орналастырылған объектіге жақын орналасуы әрқашан болмайды, сондықтан жалпы жағдайда көп метрлі байланыс линиясы қажет болады. Нақты өлшеу тапсырмалардың сипатына қарай КТ өлшегішке қосылуы екісымды, үшсымды және төртсымды қосылады.

Екі сымды сұлбаның жетістіктері КТ қосылу үшін байланыс линиясының екі өткізгіші ғана талап етіледі (бұл байланыс линиясының үлкен ұзындығы кезінде өте маңызды). Бірақ екі сымды байланыс линиялары кезінде қосылатын өткізгіштердің (қоршаған орта температурасының табиғи ауытқу кезінде оның өзгерістері) $r_{л.с}$ кедергісі

8.4.-сурет. Үш сымды (а) және төрт сымды (б) КТ қосу

(8.3, б-суретті қараңыз) өлшеу нәтижелеріне тіке кіреді. Байланыс линиясының ұзындығы маңызды болуына қарай (оншақты мерт), мұндағы дәлсіздік те артуы мүмкін.

Осы дәлсіздіктерді өтелудің түрлі тәсілдері кездеседі. Оның бірі – КТ үш сымды сұлбаны пайдалану (8.4, а-сурет).

Бұл жағдайда көпірдің тепе-теңдігін:

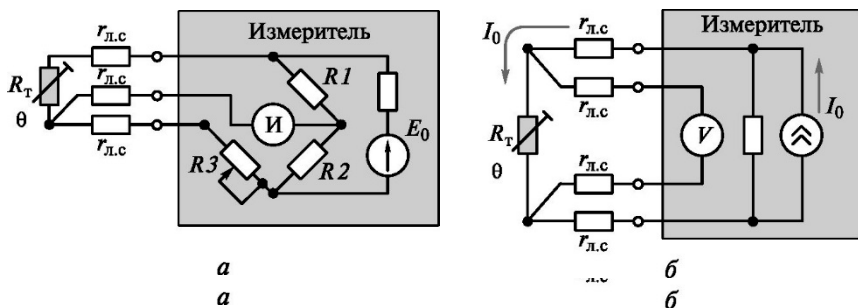
$$(R_T + r_{л.с})^2 - R_1(R_3 + r_{л.с}).$$

орындалады.

Егер көпір сұлбасы $R_1 - R_2$ және $r_{л.с}$ кедергісі қосылу өткізгіштігі бірдей болса (табиғи болжамдау), онда өлшеу нәтижесі КТ температурасымен ғана анықталатын болады және $r_{л.с}$ кедергі мәніне тәуелді болмайды. Өткізгіш кедергісіне $r_{л.с}$ индикатор тізбегіне байланбайды, өйткені көпірдің теңестірілген кезде осы тізбек болмайды.

Төртсымды қосылу түсінігі де бар (8.4, б-суретті қараңыз). Шынын айтқанда бұл көпір сұлбасы емес. Осындай өлшеуіш негізінде I_0 белгілі тұрақты ток көздері КТ R_T кедергісі арқылы өтеді. Бұл ретте, жалғаушы өткізгіштер кедергісі $r_{л.с}$ және олардың өзгерістері I_0 токтың мәніне ықпал етпейді, тиісінше өлшеу нәтижелеріне де ықпал етпейді. Вольтметром V (үлкен кіріс кедергілермен) ТС R_T кедергісіне құлау кернеуі өлшенеді.

Өдістемелік дәлсіздіктерді көрсетудің бірі ток бойымен өткізілетін КТ қызу салдарынан нәтиженің бұрмалану мүмкіндігі болып табылады. Көпірдің жеткізу кернеуінің төмендеуі E_0 осы токтың түсуіне мүмкіндік береді, бірақ бір уақытта сезгіштігі де төмендетеді.



Сондықтан жоғары сезгіштігі және рұқсат етілген токтың орташа мәніне біруақытта қол жеткізу үшін резисторларда корек үшін тұрақсыз кернеу, ал импульсті жеткілікті үлкен амплитуда қолданылады. .

Термопарлар. Термопарлар аспаптар мен түрлендіргіштер негізінде кеңінен қолданған. Температураны өлшейтін термопарлар негізіндегі шағын цифрлы термометрлер қазіргі уақытта негізгі және ең көпшілікті

аспаптар болып табылады.

Термопардың кіріс сигналдары – тұрақты кернеу – оңай түрде цифрлы кодтарға түрлендіруге немесе қарапайым құралдармен өлшеуге болады (мысалы, шағын габаритті цифрлы мультиметрлер). Термопаралар әртүрлі екіншілікті өлшеуіш түрлендіргіштерге (аспаптар) кейіннен түрленуі үшін қосылуы мүмкін, статикалық және динамикалық өлшеулер үшін аналогтыдағы, және цифрлыдағыда сияқты.

ТП көмегімен өлшенетін температуралар диапазоны өте кең: -200-ден бастап +2000 °C дейін. ТП негізіндегі өлшеуіштер жоғары дәлдікпен және сезгіштікпен, түрлендірудің жақсы қайталанушылық сипатымен ерекшеленеді. Шығыс кернеудің әдеттегі диапазоны 0...50 мВ (ТП пайдаланатын материалдарға тәуелді) құрайды, түрлендіргіштің типтік температуралық коэффициенті 10.50 мкВ/°C диапазонға жатқызылған.

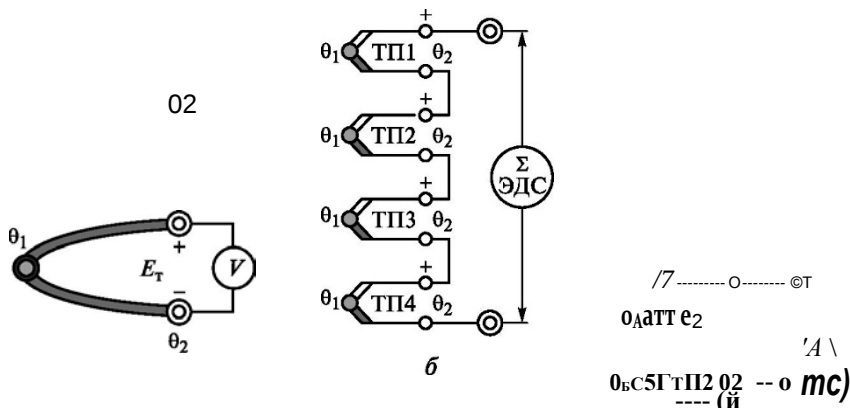
ТП негізінде термоэлектрикалық әсер жатады. Оның мәні келесідей. Егер түрлі металды екі өткізгіш тұйық тізбекке біріктірілсе, бұл жердегі бір қосындының температурасы (дәнекерленген) басқаның температурасынан өзгеше, мұнда термоЭДС (тұйық тізбекте де ток өтеді) туындайды. Оның мәні дәнекерлеудің температурасының түрлілігіне және өткізгіштік материалдарының сипаттамаларына тәуелді. Егер еркін ұштарына ЭДС немесе вольтметр V өлшегіші кіріктірілгенде, олардың температуралар көрсеткіштері (01 - 02) (8.5, а-сурет) айырмашылығымен анықталады.

дәнекерлеудің температуралардың айырмасы термоЭДС тәуелділігі сызықты емес, дәлдіктің талаптары жоғары емес кезінде (немесе ТП сипаттамасына жайдақтату) оны сызықты деп алуға болады. Сонда термопары E_T термоЭДС мәні келесі тәсілмен анықталады (бірінші жақындау):

$$E_T = S_T(0_1 - 0_2)$$

мұнда E_T — сезгіштік ТП (түрлендіргіш коэффициенті); 0_1 — жұмыс температурасы («ыстық» деп аталатын) дәнекер; 0_2 — еркін температура («суық» деп аталатын) ұштары.

термоЭДС 0_1 температурасынан бірімәнді тәуелділікпен қамтамасыз ету үшін тұрақты және белгілі 0_2 температурасын қолдау қажет. Әдетте бұл 0 немесе +20 °C. Осылай тәсілмен,



а — термоЭДС пайда болуы; б — термобатарея; в — дифференциалды термо-пара; θ_1 — жұмыстық дәнекерлеу температурасы; θ_2 — еркін ұштарының температурасы; Σ ЭДС өлшеуіш немесе кернеу

8.5. –сурет. Термоэлектрикалық түрлендіргіштер (термопарлар):

S мәнін біле тұра және термоЭДС термопардың мәнін өлшеп, θ_j температурасын анықтауға болады. Әрине, кең температуралық диапазондарда жұмыс істеу үшін өте дәлдік көрініспен–температуралардың айырмасы E_m полиномиалды аппроксимациялы сызықты емес тәуелділікті пайдалану қажет. Заманауи цифрлы термометрларда ТП түрлендіргіштің автоматты желілендірудің сипаттамасы қолданылады.

Қазіргі уақытта, қағидаттағыдай, θ_2 тұрақтылықтың мәнін қолдаудың әдістері мен құралдарының орнына ТП еркін ұштарына қоршаған ортаның температураларының ықпалын автоматты өтеу құралдары мен әдістері қолданады.

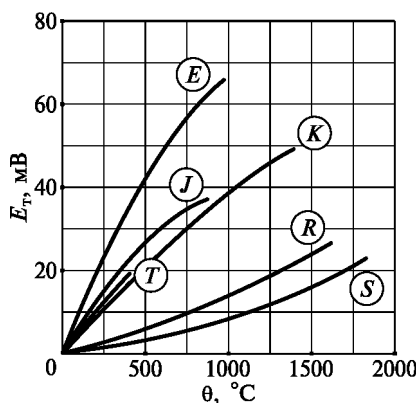
Осындай термометрлердің сезгіштігін көтеру үшін кейде ретпен бірнеше термопарлар термобатареяларға (8.5, б-сурет) бірігеді. Бұл ретте, барлық термопардың жұмыс ұштары зерттелетін объектінің θ_b температурасында, ал екpін – тұрақты кезде (немесе белгілі) θ_2 температурасында болады. Шығыс термоЭДС жиынтығы әрине, бөлек ТП термоЭДС сомасына тең.

Екі объектінің температуралық айырмасын табу үшін дифференциалды термопарлар қолданылады, олар қарама-қарсы ТП қосындысынан тұрады (8.5, в-сурет). ТП жұмыс ұштары (θ_a и θ_b) әртүрлі температурада, ал еркін – бірдей θ_2 температурада болады.

Халықаралық жалпы қабылданған жіктеуішке сәйкес термоэлектрикалық түрлендіргіштер (термопарлар) пайдаланатын материалдарға және сипаттамаларға байланысты бірнеше типтерге бөлінеді. ТП кейбір типтеріне негізгі сипаттамалар 8.1.-кестеде келтірілген.

ТП кейбір типтеріне негізгі сипаттамалар

ТП типі	ТП материал	Өлшеу диапазоны (қысқа мерзімді), °C	Түрлендіргіш коэффициенті, 20 °C кезінде мкВ/°C
<u>E</u>	Хромель — константан	-270...+1000	62
<u>J</u>	Темір — константан	- 210.+1000 (1200)	51
<u>K</u> (ТХА)	Хромель — алюмель	-200.+1000 (1372)	40
<u>R</u> (ТПП)	Платина — платинородий (13 % родия)	- 50. +1500 (1700)	7
<u>S</u> (ТПП)	Платина — платинородий (10 % родия)	- 50. +1600 (1768)	7
<u>T</u> (ТМК)	Мыс — константан	-270. +400	40



8.6.-сурет. ТП кейбір типтердің сипаттамалары:

E — хромель — константан; *J* — темір — константан; *K* — хромель — алюмель; *R* — платина — платинородий (13 % родий); *S* — платина — платинородий (10% родия); *T* — мыс — константан

ТП негізгі типтерінің сипаттамаларына графикалық бейнелер 8.6.-суретте келтірілген. Мұнда көрнекі ең үлкен өлшеу диапазонын, максималды сезгіштігін немесе жақсы сызықты қандай типтер қамтамасыз ететіндігі көрінеді.

Тәжірибе тұрғысынан типті температуралық өлшеуде үш типті ТП жиі қолданады: *J*, *K*, *T*.

J типті термопарлардың бағасы минималды, мезгілшілдігі жоғары, дәлдігі бірқалыпты, бірақ экстремалды температураларда (1000 °C жоғары) ұзақ уақыт пайдалана алмайды (міндет емес), өйткені оның градуустау сипаттамалары бүлінеді.

K типті термопарлардың бағасы орташа,

Дәлдігі орташа¹, сезгіштігі жақсы және температура диапазоны кең (1300 °C дейін). Дәл осы ТП типі аса кеңінен таралған. Т типті термопарлардың құны орташа, сезгіштігі де орташа, дәлдігі жоғары. Олар жоғары емес температурадағы жұмыс үшін өте ыңғайлы.

Жоғары температурада және/немесе агрессиялық орта жағдайларында жұмыс істеу үшін R және S типті ТП қолданылады.

Термисторлар. Ерекше класты датчиктер кездеседі – кедергінің жартылай өткізгіштік термометрлері, олардың температуралық кедергі коэффициенті әдеттегі ТС қарағанда қомақты үлкен 1...20 1/°C тең, бұл кезде осы коэффициенттің белгісі оңтайлы (позисторларда), және де теріс (термисторларда) болуы мүмкін. Бұл оның негізіндегі термометрлердің аса жоғары сезгіштікпен қамтамасыз етеді (және, тиісінше, жылу сыйымдылығы мен жылу инерттігі кіші), құрылымы қарапайым, сондықтан механикалық берік және сенімді, сондай-ақ - бағасы арзан. Осы түрлендіргіштердің негізгі кемшіліктері: өлшенетін температуралардың диапазоны біршама тар (типті - 50...150 °C), түрлендіргіштің сызықты емес мәні (шамамен экспоненциалды заң бойынша термисторлардың кедергісі температураның өсуімен кішірейеді), түрлендіргішті қайталаушылық сипаттамасы нашар (жеке градуस्ताудың қажеттілігін білдіреді және бір типті датчиктерді ауыстыруды қиындатады), әсіресе жоғары температураларда ұзақ жұмыс жасаған кезде сипаттамасының маңызды уақытша тұрақсыздықтары.

Интегралды жартылай өткізгіштік датчиктер. Интегралды датчиктер микроэлектрониканың жетілуі арқасында таяуда пайда болды. Осы датчиктер тұрғыда 0 температурасынан сызықты тәуелді шығыс сигналдарын қамтамасыз етеді (кернеу немесе ток). Осы датчиктерді өзіндік өлшеуіштерге қосу сұлбасы 8.7.-суретте көрсетілген.

8.7_а -суретте интегралды датчикке кернеуді қосу сұлбасы келтірілген. Шығыс кернеу $U = f(\theta)$

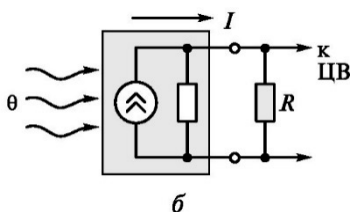
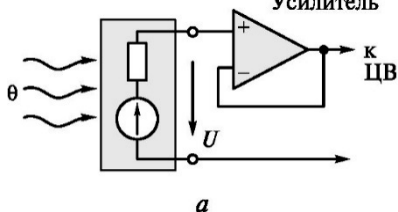


Рис. 8.7. Подключение интегральных полупроводниковых датчиков: а — напряжения; б — тока

қушейткіш-қайталағыш арқылы осы кернеуді, пропорционалды температураға, цифрлы кодқа түрлендіретін, **ЦВ** цифрлы вольтметрлер кірісіне немесе **АЦТ** аналогты-цифрлы түрлендіргішке беріледі. Датчиктердің сезгіштігі әдетте 10 мВ/°C.

8.7, б-суретте интегралды ток датчикке қосылу бейнеленген.

Датчиктің кіріс ток $I = I(0)$ резистор R_v арқылы пропорционалды кернеуге түрленеді және ЦВ кіруге немесе АЦТ кіруге беріледі. осындай типті датчиктердің сезгіштіктері әдетте $1 \text{ мкА}/^\circ\text{C}$ құрайды.

Әртүрлі датчиктердің мүмкіндіктерін салыстыру. Температураның әртүрлі датчиктердің мүмкіндіктерін салыстыруға 8.8-суреттегі диаграмма мүмкіндік береді. Бұл жерде температураның алғашқы өлшеу түрлендіргіштерінің асы таралған қоланудың бағдарлы диапазоны көрсетілген: кедергі термометрлер — платина (КТП) және мыс (КТМ); термоэлектрикалық түрлендіргіштер — әртүрлі типті термопарлар; термисторлер; интегралды жартылай өткізгіштік датчиктер мен кварцты резонаторлар.

Температураның динамикалық өлшеулері мен тез өзгеретін жылулық процесстерді тіркеуіштер үшін маңызды параметрлер жылулық инерциялы термоэлектрикалық түрлендіргіштер болып табылады, олар негізінде датчиктер құрылғыларымен және әсіресе — оны қорғайтын арматура құрылғысымен анықталады.

Тез өзгеретін температуралармен эксперименттер жүргізуде осы жағдайларды есепке алмағанда, динамикалық маңызды дәлсіздік алу мүмкіндігі бар.

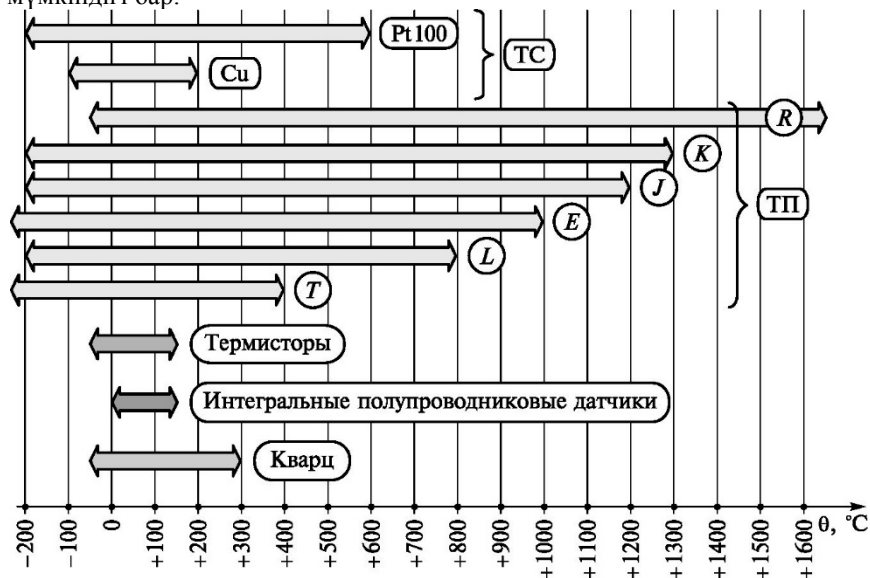


Рис. 8.8. Типичные диапазоны применения датчиков различных типов

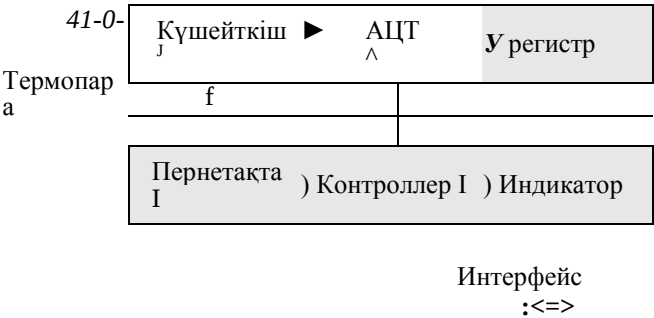
Бұл шынайы уақыт деп аталатын режимді қамтамасыз етуі өте қажетті бақылау жүйесінің құрамында жұмыс істейтіндерге температураны тіркеуіштер мен өлшеуіштер үшін әсіресе маңызды. Температураның секіргіштік түрлерін өзгертуге датчиктердің уақытты реакциясы мәні

секунд бірліктерінен оншақты минуталарға дейінгі диапазонда жатады. Кедергі термометрлердің (пленкалы) және термисторлардың құрылымын жеке арнайы әзірлеуде термисторлардың уақытты реакциясы секундтың ондық үлесіне қол жеткізеді.

Цифрлы термометрлардың құрылғысы және сипаттамалары. Кіріс датчигі ТП болып табылатын цифрлы термометр (ЦТ) құрылғысының кеңінен таралған варианттарының бірін қарастырамыз.

8.9-суретінде, ЦТ байланысты оңайтылған құрылымы келтірілген, ол әрбір цифрлы өлшеу аспаптарының құрылымына ұқсайды.

Термопара күшейткіш кірісіне қосылады, оның тапсырмасы – кіріс сигналының деңгесін бірлік-ондық милливольттан бірлік вольттарына дейін көтеру. АЦТ аналогты-цифрлы түрлендіргіш **ТП** күшейтілген сигналын цифрлы кодқа түрлендіреді, ол термоЭДС деңгейіне және тиісінше өлшенетін температура мағынасына пропорционалды. Автономды ЦТ, қағидатты, түрлендірулің интеграциялық әдістері мен дәлдігі, сезгіштігі, қабілеттілік ажыратымдылығы жоғары қамтамасыз ететін, деңгейі маңызды болатын жалпы және қалыпты мерзімділік бөгеттерді басуы жоғары АЦТ қолданылады. **АЦТ** шығыс коды тіркелімде сақталады (кейіннен бір уақыттарға сақталады), және цифрлы индикаторларға шығарылады (цифрлы санау құрылғысы). Микропроцессорлы контроллер барлық аспаптың тораптарын басқарады. Және ол ТО сипаттамалар функцияларын сызықтандырады. Пернетақта көмегімен оператор жұмыстың режимін орнатады. Аспап құрылымында сыртқы цифрлы құрылғылармен ақпарат



8.9.-сурет. Байланысты цифрлы термометрдің құрылымы

алмасу үшін интерфейс болуы мүмкін (мысалы, дербес компьютерге және/немесе автоматтандырылған басқару жүйесіне тіркеу нәтижелерін тарату үшін).

Көпканалды ЦТ модельдері белгілі (жиі екіканалды). Осы аспаптардың айырмашылығы – ТП кіріс коммутаторларының бар боолуы, ол кезекпен датчикті күшейткіш кірісіне қосуға мүмкіндік береді. Екіканалды ЦТ әдетте температуралардың айырмасын өлшеу режимі болады. Осындай аспаптар дифференциалды термометрлер деп аталады.

Заманауи ЦТ шағын габариттермен (Handheld— «алақанға сиятын») және салмағымен (100...500 г), салыстырмалы төмен бағасымен, метрологиялық және пайдалану сипаттамаларының жоғары болуымен ерекшеленеді.

Типті ЦТ негізгі техникалық сипаттамалары

Өлшенетін температур диапазоны (аса таралған К типті термометрлер үшін),

°C..... -200. +1000

Инструменталды негізгі абсолютті дәлсіздік (нақты термометрлердің дәлсіздігін есепке алмағанда) ±(0,2 % нәтижеде

Сезгіштік, °C 0,1. 1,0

Разрядтық АЦП, бит 10.12

Жұмыс температура диапазоны, °C..... 0. + 50

Қорек Батарея 9 В

Бір жиынтық қорек көздерінен үздіксіз жұмыс жасаудың ұзақтығы, ч 30

Кіріс каналдарының саны..... 1.2

өлшеу + 0,5 °C)

Номиналды 20 °C (немесе 23 °C кейбір шетел модельдері үшін) қоршаған ортаның температурасының ауытқу кезіндегі қосымша дәлсіздіктер

..... ± (0,01 % Өлшеу нәтижесі + 0,05 °C) әрбір 1 °C номиналды температурадан ауытқу.

Аспап түрлі типті термометрлермен жұмыс істеу алады (мысалы, К, J, Т). Аспаптың сұйық кристалды индикаторы, қалыпты түсінікті пернетақтасы бар, шаңнан, судан қорғалған соққыға қарсы корпуста орнатылған. Өртүрлі құрылмалы бірнеше термометрлерді орындаумен жинақталған (беткі өлшеулер, әуе, батпалы, магнитті және басқа).

Байланысты өлшеу температураларының ерекшелігі. Температураны дәл өлшегіште (тіркеуіш) жасаған жағдайда да, экспериментті дұрыс емес ұйымдастырған кезде, объектіге датчиктерді сәтсіз орналастырған кезде де, нәтижеде үлкен дәлсіздіктерді алуға болады.

Жоғары беттің температурасын байланысты өлшеу кезінде келесі маңызды жағдайлар ескеріледі.

1. Егер объекті мен датчиктің байланысы жеткіліксіз, жанасу алаңы кіші болғанда, датчикке объектіден жылуберілісі нашар болады. Бұл ретте, жалпы жағдайда жағымсыз жылу ағыны пайда болуы да мүмкін (қорғанысты чехол), ол да өлшеу нәтижесіне кері әсерін береді.

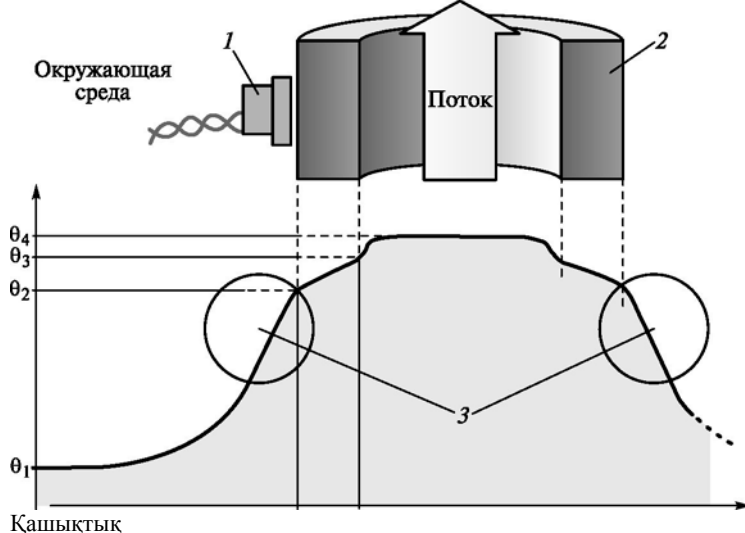
2. Объектінің үстінде орнатылған датчик, жалпы жағдайда температураны эксперименттеуді қызықтыратын ықпалын ғана емес, қоршаған ортаның температурасын да сынайды. Осы температуралардың айырмашылығы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым күтілетін (шынайы) мағынадан өлшеу нәтижелері қаттырақ ерекшеленуі мүмкін. Сонымен қатар, датчик айналасындағы табиғи ауа конвенциясы да өз әсерін келтіреді.

3. Егер объектінің жылу сыйымдылығы кіші (салмағы мен габариттері үлкен емес, мысалы, байланысты клемма төменвольтті азқуатты электр жетегі бетінің температурасын зерттеу жағдайындағыдай) болса, зерттелетін объектінің температурасы (объектінің бұрмаланған режимі) датчиктің (әсіресе ауқымды) қатты ықпалына шалығуы мүмкін. Бұл статикалық өлшеулердегі өзараәрекетті дәлсіздіктің маңызды пайда болуына және объектінің өзгертілген температурасы кезінде динамикалық едәуір дәлсіздіктерге алып келеді.

4. Егер құбырдың ішіндегі ыстық су температурасы қызықтырған жағдайда, осы құбырдың ішкі бетінің температурасын өлшеудің нәтижелері бар, бұл ретте осы екі жағдайды бірдей деп есептеуге болмайды. Өлшеу нәтижелерінің және судың нақты температурасының айырмасы едәуір (бірнеше градусар) болуы мүмкін.

Осы әсерлердің көріну классикалық мысалы 0_4 температураны, құбырдың ішіндегі заттардың ағыны (мысалы ыстық су), қоршаған ортаның 0 температурасы кезінде құбырдың қол жеткізілген сыртқы бетіндегі 0_2 температураны байланысты өлшеудің нәтижелерін анықтау ойынша эксперименті болып табылады! (8.10-сурет).

Датчик (термопар, кедергі термометрі немесе термистор) жалпы жағдайда ықпалдың маңызды айырмалы температурасын (құбырдың сыртқы бетінің температурасы 0_2 және қоршаған орта температурасы 0_x) сынайды, онда өлшеу нәтижелерінде орталандырылған мағына алуға болады (интегралды), 0_2 шынайы температурасынан өте қатты айырмашылық маңызын көрсетеді. Маманды қызықтырып отырған ортаның ағыны 0_4 температурасының шынайы мағынасына осы нәтижелер мүлдем ұқсамайтын болады. Осындай бұрмаланудың негізгі себептері – сыртқы қабат пен қоршаған ортаның температуралары маңызды градиентінің (айырмашылығы) бар болуы және құбырдың ішкі және сыртқы қабырғалары арасындағы температураның елеулі градиенті болып табылады.



8.10.-сурет. Температураларды кеңістікте тарату:

θ_1 — қоршаған орта температурасы; θ_2 — құбырдың сыртқы бетінің температурасы; θ_3 — құбырдың ішкі бетінің температурасы; θ_4 — ағын температурасы;

1 — датчик; 2 — құбыр; 3 — жоғары градиент аймағының температурасы

Температураны байланыстық өлшеу бойынша экспериментті ұйымдастыру кезінде жеткілікті көлемде дәл нәтижелерді алу үшін объекті үстінде датчиктерді орналастыруды егжей-тегжейлі ойластыру, температураларды мүмкінді таратумен ойлау қажет. Осындай эксперименттерді ұйымдастыру бойынша кейбір типті ұсынымдардың жасап қоюға болады. Объекті мен датчикті жақсы *жылулық байланыспен* қамтамасыз еткен маңызды. Датчиктің объектімен жанасу беті (алаңы) максималды мүмкінді болуы қажет. Мүмкіндікше объектіден датчикке жылу таратуды жақсартатын *жылу өткізгіштік пасталарды* пайдаланған жөн. Қоршаған ортаның ықпалын максималды төмендететін датчиктің жылу өткізбеуі туралы ойластыру қажет. Қол астындағы қарапайым құралдарды пайдалану жақсы әсер беруі мүмкін (шыны мақта, әдеттегі құрғақ мата, резеңке және с.с.). статикалық өлшеулер кезінде қалыптасқан режимді күткен пайдалы, яғни нәтижені шығаруға асықпау керек. Аз салмақты немесе тезөткінші процесстермен объектілерді зерттеу кезде, шағын өзіндік салмақты датчиктерді пайдаланған дұрыс, әсіресе эксперименттерде, мұнда динамикалық шағын дәлсіздіктер өте маңызды.

Әрине, құбырдың ішкі бетінің (қол жетімді) температурасын жоғары дәлдікпен өлшеуге болады, бірақ ішіндегі температураны онымен байланысты орнату өте маңызды (және өте күрделі). Осы байланысты анықтауға талаптану керек (өрескел модельдің көмегімен) немесе экспериментальді, мысалы ағынға батқан стационарлық термометрлерді пайдалану (мүмкін болған жағдайда).

8.1.2. Өлшеудің байланыссыз әдістері мен құралдары

Температураны байланыссыз (Non-Contact) өлшеу датчикпен өлшенетін объектіге механикалық байланыспен қамтамасыз ету қауіпті және/немесе күрделі, мүмкін емес болған жағдайларда таптырмайтын құрал болып табылады.

Объекті қозғалыста болған кезде температураны анықтау жеңілге түспейді, мысалы тез қозғалыстағы қағаз лентасы, немесе қозғалыстағы бетонды айландырғыш барабан, немесе қызған асфальт ағыны. Объекті беті, қызықтырған температура кейде қол жетпес және/немесе қауіпті (мысалы, электрберілістің әуе линияларын байланысты қосумен қыздыруды бағалау кезде немесе жоғарывольтті трансформатор).

Басқа жағдай: зерттелетін объекті шағын габаритті және аз салмақты (жылу сыйымдылығы да аз) және объектіден датчик аспабынан алынатын жылудың едәуір көптігі есебінен байланыс термометрлерін пайдалану, оның жұмыс режимі жол берілмейтін бұрмалануға, әсіресе өлшеу нәтижесіне өте үлкен әдістемелік дәлсіздікке алып келуі ықтимал (өзараәрекеттік дәлсіздік). Бұл шағын салмақты зерттелетін объектінің температурасын тез өзгеруге жеткілікті зерттеулердің қажеттілігі кзінде өте қатты көрінетін еді, мысалы, миниатюралық электронды тораптардың температурасын бағалау жағдайында.

Температураны өлшеудің байланыссыз әдістері мен құралдары инвазивті емес болып табылатын, яғни технологиялық процесс барысына араласуды талап етеді, датчиктерді орнатумен проблемаларды жасамайды, зерттеу объектісімен байланысты талап етпейді, объектімен аспаптардың өзараәрекеттесу дәлсіздіктерін және басқа да жағымсыздықтарды тудырмайды.

Тағы бір тапсырмалар класы, байланыссыз әдістерді және құралдарды пайдалану мақсатқа сай ғана емес және шарасыз (өйткені альтернатива жоқ) – тыс жоғары температураларды өлшеу (мысалы, балқытылған металдың температурасын өлшеу). Өлшенетін температуралардың жоғарғы шегі $+2000...+2500$ °C құрайды, сондықтан аса жоғары температураларды өлшеу тек байланыссыз әдіспен жүргізіледі.

Өлшеудің байланыссыз әдістері түрлі инфрақызыл (ИК) өлшеулерде іске асырылады (InfraRedInstrumentation) — термометрлерде және өлшеу түрлендіргіштерде, сондай-ақ оптикалық (Optical) термометрлерде –

пирометр.

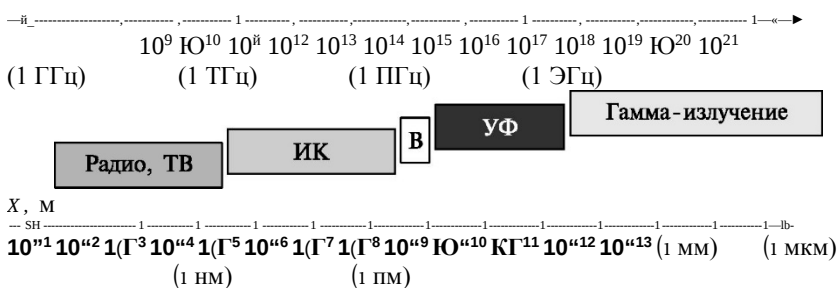
Оптикалық параметрлер (пирометрлер) объекті беті жарқырауы кезінде (+ 600 °C және жоғары), өте жоғары температурада өлшеуге ғана қажет. Сонымен қатар, оптикалық термометрлермен өлшеудің дәлдігі және сезгіштігі жоғары емес.

ИҚ-термометрлердің маңызды жетістіктері өлшенетін температуралардың диапазоны өте кең болғаны, дәлдігі жеткілікті жоғары, сезгіштігі мен тезәрекеттігі, жақсы пайдалану сипаттамасы, құны қымбат емес. Алайда, ИҚ-термометрлердің негізгі жетістіктерін іске асыру оңай емес – растық нәтиже үшін пайдаланушының жеткілікті жоғары біліктілігі талап етіледі, ИК-өлшеулердің ерекшеліктерін білу, тәжірибелік тексерулерді арнайы тәжірибесі болуы қажет.

Оптикалық сәулелені. Температурасы абсолютті нөлден жоғары әрбір дененің (-273 °C) жылулық сәулеленуі болады. Температураның өсуімен зат денесінің молекулалар ауытқуының амплитудасы мен жиілігі көбейеді. Адам өзінің сезгіштік органдарымен жылуды (сезу) және жарықты (көру) қабылдайды. Табиғаттың физикалық ауытқуы бір (жылу), ауытқу жиілігі әртүрлі және объектінің жқызған деңгесінің тәуелді. 600.1000 °C (объекті материалына тәуелді) және жоғары температурада дене энергиясының кейбір саны көзбен көру спектрінің бөлігімен сәулеленеді.

Физикада «оптикалық сәулелену» түсінігі пайдаланады, ол 1 нм. 1 мм. диапазонында орналасқан X толқындарының ұзындығымен электромагнитті сәулеленуге сәйкес. Осы диапазон үш бөлікке бөлінеді. 8.11-суретте ИҚ-сәулелену, көрінетін В, ультрафиолетті УФ және көршелес сәулеленудің ішкі диапазонның өзара қатынасын бейнелейді. Жоғарғы өс F жиіліктің мағынасын көрсетеді,

F, Гц



8.11. сурет әр түрлі сәулелендірудің жиілік диапазоны F және толқын ұзынығы X (логарифметикалық масштабта)

Ал төменгісі — X толқындар ұзындығының мағыналық жиіліктеріне сәйкес (логарифмикалық масштабта).

Ультрафиолетті сәулеленудің X толқындарының ұзындық диапазоны 1,0 нм...0,38 мкм құрайды. Көрінетін сәулеленудің X толқындарының

ұзындық диапазоны — 0,38.0,76 мкм. ДИҚ-сәулеленудің X толқындарының ұзындық диапазоны — 0,76.1000 мкм.

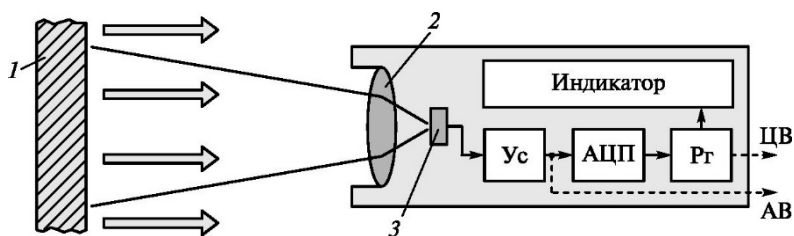
ИҚ-термометрдің құрылымы. Түйіспесіз ИҚ-өлшегіштің әдістері мен аспаптары объектінің инфрақызыл (жылу) сәулеленуін сандық бағалауға негізделген. Жылулық сәулеленудің іс жүзінде адамның көретін жарықтық сәулелену сияқты мынадай қасиеттері: түзу сызықпен таралады, шағылысу, жылу сәулесінің сыну, кейбір денелер арқылы өту қабілеті, линзалардың оптикалық жүйесіне шоғырлануы мүмкін (мөлдір болуы міндетті емес) және т.с.с. бар

8.12-суретте ИҚ-термометрдің оңтайланғандырған құрылымы көрсетілген.

Объектінің үстіңгі бетінің жылулық сәулеленуі аспаптың объективімен қабылдағышта жинақталады, оның рөлі ретінде термोजұп қызмет етеді. Термोजұптың термоЭҚК U_c күшейткішпен күшейеді, АСТ аналогтық-сандық түрлендіргішпен сандық кодқа түрленеді, ол біраз уақыт P_r сақтау тізілімінде сақталады және өлшеу нәтижесінің индикаторында көрсетіледі. ИҚ- өлшегіштің объективі бір мезгілде жиіліктің тілме сүзгі функциясын атқарады.

Сондай-ақ, инфрақызыл өлшегіште сыртқы құрылғылары бар байланыс тораптарынан (аналогтық немесе сандық) тұруы мүмкін. 8.12-суретте аналогтық АВ және сандық ЦВ шығыстар көрсетілген. ИҚ-термометрде өлшенетін температураның ағымдық мәніне пропорциональды аналогты шығыс сигналының болуы аспапты сыртқы аналогтық өзі жазғыш аспапқа немесе сандық өлшеуші тіркеушіге қосуға мүмкіндік береді.

Ұзақ мониторингтеу міндеттерін атқару үшін сондай-ақ ИҚ өлшегіш түрлендіргіші қолданылады. Осы құрылғыларда индикатор жоқ, олардың аналогты шығыс сигналы токтың өлшенетін температурасына пропорциональды (мысалы, 4.20 мА) немесе кернеумен (мысалы, 0.5В) көрсетілген. Олар өлшегіш қондырғылар, кешендер немесе жүйелер құрамында көрсетуші аспаптармен немесе тіркеушілермен бірге жұмыс істеу үшін арналған.



8.12-сурет. ИҚ-термометрдің оңтайланғандырған құрылымы:

1 — объект; 2 — объектив; 3 — қабылдағыш

ИҚ-өлшегіштерді қолдану ерекшелігі. ИҚ-термометрлер немесе түрлендіргіштер арқылы температураны түйіспесіз өлшеу кезінде кейбір

маңызды ерекшеліктер туралы сөз қозғау қажет.

Объектінің шығаратын энергиясының мөлшері температураға ғана емес, сонымен бірге дененің үстіңгі бетінің қасиетіне де тәуелді болғандықтан, тексерілген нәтижелерді қамтамасыз етуі үшін е. нақты объектiнiң үстiңгi бетiнiң сәуле шығару коэффициентiнiң мәнін (Emission) білуі (немесе алдын ала экспериментальды анықтау) қажет. Абсолютті кара дене ($\epsilon = 1$) үстіңгі беті жылтыраған тегіс объектіге қарағанда жылуды анағұрлым жақсы «шығарады». Өлшеуді бастау алдында аспапқа объекті үстіңгі беті материалының қасиетіне сәйкес келетін түзету мәндерін енгізу қажет және сонда аспап автоматты түрде зерттелетін үстіңгі беттің жеткіліксіз сәуле шығару қабілетін орнын толтыра отырып, көрсеткіштерді түзететін болады. Осындай түзетулер («толық емес қаралық» деп аталатын түзетулер), әдетте, Пайдалану жөніндегі нұсқаулықта немесе ИҚ-аспабының төлқұжатында келтіріледі.

Егер нақты зерттелетін объектiнiң үстiңгi бетiнiң материалы аспаптың түзету кестесінде (ϵ сәулелену коэффициенті) сипатталмаса, онда қажетті түзету мәндерін экспериментальды бағалауға болады, мысалы мынадай түрде: ол мүмкін болған жағдайларда зерттелетін үстіңгі беттің температурасын түйіспе термометрмен өлшеу қажет. Содан кейін ИҚ-термометрдің әр түрлі түзету мәндерін тандап, екі аспаптың бірдей көрсеткіштеріне қол жеткізу қажет.

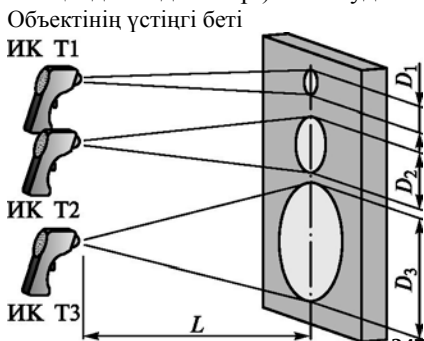
Инфракызыл термометрлерді үстіңгі беті жалтыраған, жылтыратылған, хром, алюминий, тот баспайтын болат, жез және т.с.с. тектес тотықсыз металдарды зерттеу кезінде қолдану ұсынылады. Егер зерттелетін үстіңгі беттің аз сәуле шығару қабілеті бар болса, онда оның бетін жұқа күңгірт кара бояу немесе күйе жаққан дұрыс. Бұл үстіңгі беттің іс жүзіндегі температурасына әсер етпейді, бірақ нәтижелердің анықтығын арттыруға мүмкіндік береді, себебі сәуле шығару қабілетін $\epsilon = 0,9...0,96$ дейін ұлғайтуға көмектеседі.

Сәуле шығару қабілетінің коэффициент мәні үстіңгі беттің қасиетіне ғана емес, сонымен бірге объектiнiң температурасына да тәуелді екенін есте сақтау қажет.

Нысанның арақашықтық/диаметр арақатынасы. ИҚ-термометрдің (түрлендіргіштің) объектiнiң үстiңгi бетiмен оптикалық өзара әрекеті конустың негізімен анықталады. Объектіге дейін L арақашықтығы неғұрлым алшақ болған сайын, соғұрлым сәулелену қабылданатын аумағының (нысанның) көлемі (атап айтқанда D диаметрі) мен ауданы үлкен болады.

Нақты ИҚ-аспабының оптикалық мүмкіндігі объектив өсіне перпендикуляр нысанның жазықтығы үшін арақашықтық/диаметр (L/D) арақатынасымен анықталады (8.13-сурет).

Кейде осы сипаттама «көздеу



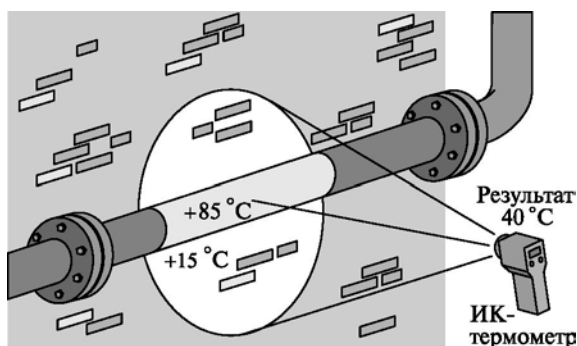
8.13-сурет. Арақашықтық / диаметр арақатынасы

көрсеткіші» деп аталады.

Әр түрлі ИҚ-құрылғылары үшін объектіден бірдей алшақтықта болған кезде үстіңгі беттегі нысанның диаметрі әр түрлі болады. Мысалы, $L/D \approx 100/1$ арақатынасы бар өлшегіш үшін $L = 1$ м арақашықтық кезінде нысанның диаметрі $D_1 \approx 1,0$ см; $L/D = 40/1$ арақатынасы бар аспап үшін $L/D = 8/1$ арақатынасы бар нысанның диаметрі $D_3 = 12,5$ см тең болады. Осы арақатынас неғұрлым үлкен болған сайын, соғұрлым үстіңгі беттің ұсақ фрагменттерін автономды түрде зерттеуге болады.

Интегралдық температура. ИҚ-өлшегіш қандай да бір интегралдық сәуле шығаратын энергияны қабылдайтынын, яғни бақылау аумағының (нысанның) барлық ауданын сипаттайтын интегралдық (орташалаңдырылған) температураны бағалайтынын ескеру қажет. Егер объекті нысанның көлемінен кіші болса, онда өлшеу нәтижесі айналасындағы орта температурасының (ол анағұрлым жоғары, сондай-ақ зерттелетін объектінің температурасынан едәуір төмен болуы мүмкін) әсер етуі есебінен елеулі бұрмалануы мүмкін. 8.14-суретте температураның күтілетін (дұрыс) мәнінен елеулі айырмашылығы болатын өлшеу нәтижесінің ықтимал жағдайының үлгісі көрсетілген.

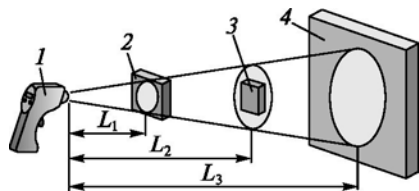
Мысалы, ыстық сумен қамсыздандыру жүйесінің құбыр желісіне бағытталған ИҚ-термометрдің көрсеткіші $0 = 40^\circ\text{C}$ құрады, дегенмен, құбыр желісінің температурасы (негізінен сол осы экспериментте бізге қажетті) $+85^\circ\text{C}$, ал қоршаған ортаның температурасы (қабырғаның) $+15^\circ\text{C}$ тең.



8.14-сурет. Қоршаған орта температурасының әсері

Егер бірнеше ИҚ-құралдарынан таңдау мүмкіндігі бар болса, онда қажетсіз фрагменттердің (интегралдық температура) әсерін болдырмауға, яғни бізге қажетті фрагменттің температурасын ғана өлшеуге мүмкіндік беретін арақашықтық/диаметр арақатынасын пайдалану қажет. Егер бір ғана аспап бар болса, онда зерттелетін объектіге дейінгі қашықтықты нысанның өлшемі бізге қажетті объекті фрагментінің өлшемдерінен үлкен болмайтындай етіп таңдау қажет. 8.15-суретте объектілер мен нысандар өлшемдері арақатынасының кейбір ықтимал түрлері көрсетілген.

Екінші жағдай (L_2 объектісіне дейінгі қашықтық) – арақашықты сәтсіз таңдалған жағдайдың мысалы болып табылады, себебі бақылау (нысан) аумағы бұл ретте объектіге қарағанда үлкен ауаны бар және аспап, сөзсіз қоршаған ортаның аясын да ескереді. Бірінші жағдай (L_1 объектісіне дейінгі қашықтық) – шекті орналасу мысалы, яғни объектінің аталған өлшемдері үшін дұрыс нәтижелерді қамтамасыз ету үшін қажетті ықтимал



8.15-сурет. Объектілер мен нысандар өлшемдерінің арақатынасы:

1 — ИҚ-термометр; 2 — 1-объект;

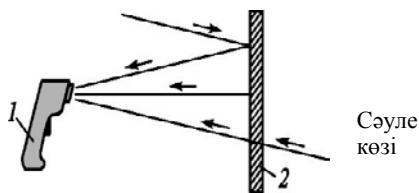
3 — 2-объект; 4 — 3-объект

ен алыс арақашықтық. Үшінші жағдай (L_3) — ең оңтайлы нұсқа. Жалпы ұсыныстар: егер, мүмкін болса, онда зерттелетін объектіге дейінгі қашықтықты объектінің өлшемдері нысаннан (бақылау аумағы) шамамен екі есе үлкен болатындай етіп таңдау қажет.

Жиынтық сәуелену. ИҚ-термометрдің сәуеленуді қабылдайтын жалпы жағдайында үш құрамдаушы бөліктерден қалыптасады:

объекті үстіңгі бетінің өзіндік сәуелендіру, басқа объектілерден (көздерден) шағылысқан сәуле, сондай-ақ объектіден тыс орналасқан көздердің тесіп өтетін сәуле (8.16-сәуле).

Сәуле көзі



8.16-сурет. Жанама сәуелердің әсері:

1 — ИҚ-термометр;

2 — зерттелетін үстіңгі бет

Мүмкінлігінше, осындай қажетсіз көздердің әсерін болдырмауға (немесе оларды барынша азайтуға) тырысу қажет, себебі олар өлшеу нәтижелеріне елеулі әсер етуі мүмкін. Тегіс (өңделген) үстіңгі беттермен (мысалы, жылтыратып өңделген металл, шыны, су) жұмыс істеген кезде басқа көздерден шағылған жылу сәуелерінің әсерін азайту үшін оның оптикалық өсі зерттелетін үстіңгі бетке перпендикуляр

болатындай ИҚ-термометрді бағыттау қажет.

ИҚ-өлшегіштердің инерциялығы. Көптеген жағдайларда ИҚ-аспаптарымен өлшеуді түйіспеліге карағанда айтарлықтай жылдам орындауға болады, себебі датчиктерді орнатуға, объекті мен датчик арасында жылумен алмасу үрдісінің орнауын күтуге уақыт жұмсалмайды.

Жылдам әрекеттегі үлгілік ұтымдылық – он – жүз есе. Мысалы, құбыр желісіне термोजұпты орнату, жылумен оқшаулауды қамтамасыз ету, аспаптың белгіленген көрсеткіштеріне қол жеткізу 10 ...20 минутты талап етуі мүмкін, ал ИҚ-өлшегіштің нәтижелерін алуға 5 ...10 секунд жеткілікті.

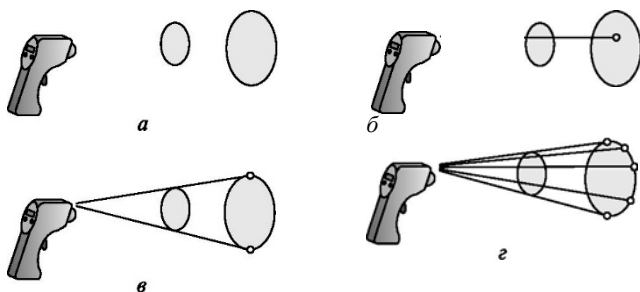
Әсіресе, осы артықшылық көптеген біртипті өлшеуді орындауды талап ететін эксперименттерден айқын көрінеді, мысалы көп қабатты үйдің жылумен қамсыздандыру жүйесін тексеріп-зерттеу кезінде температура мәнін ондық-жүздік нүктеде анықтау қажет болғанда байқалады.

Алайда, ИҚ-термометрдің кіріс датчигінде (қабылдағышта) сондай-ақ белгілі бір жылу инерциялығы барлығын және жоғары (мысалы, ең жоғары ықтималға жақын) температурасы бар үстіңгі беттен төмен температурасы бар үстіңгі бетке өту кезінде көрсеткіштерді орнату үшін бірнеше секунд (мүмкін, ондаған секунд) талап етілуі мүмкін екенін есте сақтау қажет.

Әсіресе, тез өзгеретін температураларды тіркеу кезінде өлшегіштің инерциялығын білу маңызды.

Лазерлік көрсеткіштер. Әдеттегі қарапайым (арзан) ИҚ-термометрмен (лазерлік көрсеткіші жоқ - 8.17-сурет, а) жұмыс істегенде сәулелену (нысан) аумағының контуры мен орналасуы туралы әрқашан нақты түсінік ала бермейміз.

Бұл жағдайда температураны анықтау кезінде елеулі қате кетуі мүмкін.



Осы аумақтың орталығыны, шекараларын, өлшемдерін дұрыс анықтау үшін лазерлік (кейде нысаналық деп аталатын) көрсеткіштерді қолдану қажет.

Осы құрылғылар аспаптың объективін талап етілетін үстіңгі беттің учаскесіне дәл көздеуді айтарлықтай жеңілдетеді, объектіге дейінгі қашықтықты дұрыс таңдауға мүмкіндік береді, тіпті кейбір жағдайларда аумақтың контурын көрсетеді.

ИҚ-термометрлердің заманауи моделдерінде лазерлік көрсеткіштердің (нысаналардың) ұйымдастырудың әр түрлі нұсқалары қолданылады.

Ең қарапайым жағдай (8.17-сурет, б) — зерттелетін үстіңгі беттің нысан ортасын (сирек – жоғарғы шетін) көрсететін бір лазерлік сәуле.

Екінші нұсқа (8.17-сурет, в) — ең оңтайлы — зерттелетін үстіңгі бетте нысанының шеңбер диаметрінің ұштарын көрсететін екі алшақтанушы сәуле.

Үшінші нұсқа (8.17-сурет, г) — көп сәулелі (әрине, ең қолайлы, бірақ ең қымба). Бұл нұсқада жарқыраған нүктелерімен көптеген алшақтанушы сәулелер (мысалы, 8) үстіңгі бетте нысанның шеңберлі бейнесін көрсетеді.

Лазерлік нысаналарды қосу аспапты тұтыну қуатын айтарлықтай ұлғайтатынын білу қажет (шамамен 5 ...10 есеге), сондықтан осы режимді оны пайдалану қажеттілігі жоқ болған кезде әрқашан өшіріп отырған дұрыс. Бұдан басқа, ИҚ-өлшегіштерін таңдаған және сатып алған кезде лазерлік көрсеткіштің болуы, әсіресе, егер осындай көрсеткіштер бірнеше болса аспаптың құнын айтарлықтай өсіретінін есте сақтаған жөн. Сондай-ақ, лазерлік нысана көрсеткіш көз үшін қауіпті сәуле шығару көзі болып табылатынын және сондықтан пайдаланудың айрықша қағидаларын сақтауды талап ететінін есте сақтау қажет.

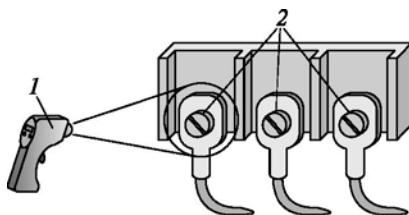
Мәндерді сақтау режимдері. ИҚ-термометрлердің көптеген заманауи үлгілері кейін қарау мүмкіндігімен эксперимент кезінде орын алған температураның ең жоғары, ең төмен және орташа мәндерін анықтау мен тіркеудің тиімді режимдері бар.

Бұдан басқа, оператордың шекті белгілеген (тағайындама) мәндерінен асатын температураны анықтау режимдері бар аспаптар бар.

Бұл зерттелетін үстіңгі бетті сканерден өткізе отырып, белгіленгеннен жоғары температурасы бар үстіңгі беттің учаскелерін оңай табуға мүмкіндік береді.

Осыған ұқсас бағдарламаланған тағайындамадан төмен температурасы бар учаскелерді табуды қамтамасыз етуге болады. Бұл ретте, әдетте тағайындамадан жоғары немесе төмен (белгіленген режимге байланысты) өлшеу нәтижелерінің пайда болуы қалыптасқан жағдайға назарды қосымша аударатын дыбыстық белгі беріледі.

ИҚ-өлшегіштерін қолдану мысалдары. ИҚ-термометр әр түрлі электр күштік тарату құрылғыларындағы электр өрігіш түйіспелерінің, жалғаушы қыстырғылардың, жалаушы өткізгіштердің және т.с.с. жай-күйін зерттеу кезінде қолдануға ыңғайлы. 8.18-суретте жоғары кернеуі бар түйіспелі жалғаудың температурасын



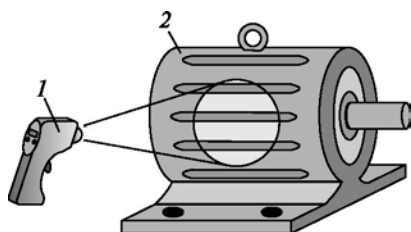
8.18-сурет. Түйіспе
жалғағыштардың
температурасын өлшеу:
1 — ИҚ-термометр;
2 — түйіспелі жалғау

анықтау мысалы көрсетілген. Осындай әдіспен жылдам және ең бастысы қауіпсіз түйіспелердің жиынтығын тексеруге, олардың ішінде қызатын жалғағыштарды анықтауға және сонымен апаттық жағдайдың туындауына жол бермеуге болады.

ИҚ-техника электржетектерін оңай зерттеуге мүмкіндік береді. Қозғалтқыштардың қызып кеткенін, мойынтіректердің температураларын ИҚ-аспаптары және түрлендіргіштері арқылы өлшеу оңтайлы (8.19-сурет). Бұл жағдайда, алдыңғы мысалдағы сияқты, сондай-ақ ИҚ-термометрді электрлік жалғаным температурасын бағалау үшін қолдануға болады.

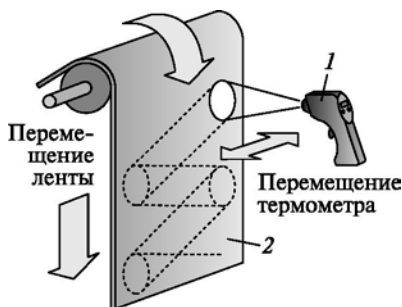
Температуралық өрістің жалпы көрінісін алу мақсатында ИҚ-термометрді қозғалмайтын, сол сияқты қозғалатын үстіңгі беттер мен заттарды сканерлеу үшін қолдануға болады (8.20-сурет).

ИҚ-термометрмен 0°C төмен температураны да өлшеуге болады. -50°C басталған температураны өлшеуге қабілетті моделдер бар. Бірақ, бұл ретте аспаптың өзі (аз тұтынатын сұйық кристалды индикаторы бар шағын аспаптардың көпшілігі сияқты) әдетте, $0...+40^{\circ}\text{C}$ жұмыс температурасы барлығын есте сақтау қажет. Сондықтан қалыпты жұмыс істеу үшін аспаптың артық салқындауына жол бермеу қажет.



8.19-сурет. Электржетектің жай-күйін бағалау:

1 — ИҚ-термометр; 2 —
қозғалтқыш



8.20-сурет. Қозғалатын үстіңгі беттерді сканерлеу:

1 — ИҚ-термометр; 2 — таспа



8.21-сурет. Температураны аналогты тіркеу:

1 — ИҚ-термометр; 2 — аналогты
өзі жазатын аспап

ИҚ-түрлендіргіштің барлық моделдері мен ИҚ-термометрдің көптеген моделдерінің өлшеу нәтижесіне пропорционалды аналогты шығыс сигналы бар. Сондықтан аналогты немесе сандық өлшеу тіркеушілері арқылы объекті үстіңгі бетінің өзгермелі температурасын ұзақ уақыт бойында

тіркеуді оңай ұйымдастыруға болады.

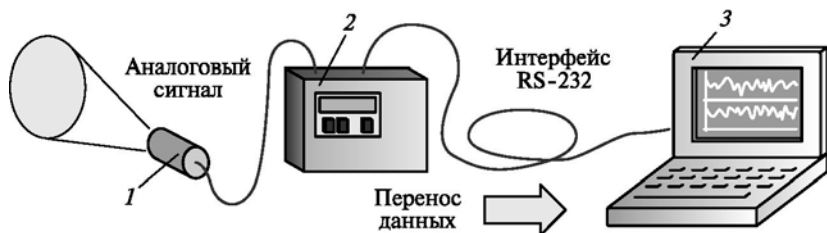
ИҚ-термометрдің немесе түрлендіргіштің аналогты сигналы өзі жазатын аспаптың кірісіне берілуі мүмкін (8.21-сурет). ИҚ-өлшегіш жалғанатын сыртқы аспап (шығыс сигналы кернеу болып табылатын) жеткілікті жоғары кіріс кедергісі болуы тиіс (әдетте, кемінде 100 кОм).

Сандық өлшеу тіркеуші (логгер)де қолданылуы мүмкін (8.22-сурет). Бұл жағдайда (аналогты өзі жазатын аспаптарды қолданудан айырмашылығы) экспериментті аяқтау бойынша сандық деректер ауқымы кейін автоматтандырылған өңдеу және ақпаратты ұсыну үшін дербес компьютерге қайта көшіріліп жазылады.

Өлшегіштердің кейбір түрлерінде сандық шығыс жабылы бар (ағымдық өлшеу нәтижелерінің кодтары), бұл бірден деректерді талдау және ұсыну үшін дербес компьютерге ақпаратты беруге мүмкіндік береді.

Жылдам өзгермелі температураларды тіркеу кезінде өлшегіштің инерциялығын ескерген маңызды. ИҚ-өлшегіштер көрсеткіштерін типтік белгілеу уақыты 1...10 с құрайды.

Инфрақызыл термометрияны дамытудың қажетті және перспективалы бағыты жылу көру (немесе термокөру, немесе термография) болып табылады. Тепловизиялық техника объекті үстіңгі бетінің растрлық кескінін – термограмманы алуға мүмкіндік береді, ол бойынша фотосурет сияқты үстіңгі беттің жекелеген фрагменттерінің температура мәндерін бағалауға болады.



8.22-сурет. Температураны сандық тіркеу:

1 — ИҚ-түрлендіргіш; 2 — сандық тіркеуші; 3 — компьютер

8.2. ҚЫСЫМДЫ ӨЛШЕУ

Температура және шығыспен қатар қысым адам қызметінің әр түрлі салаларында өлшенетін маңызды физикалық шамалардың бірі болып табылады. Қысымды өлшеу әдістері мен құралдары бұрыннан белгілі, сол сияқты салыстырмалы түрде жуықта ашылған әр түрлі физикалық құбылыстарды қолдануға негізделген.

8.2.1. Негізгі ұғымдар

Қысым күштің ауданға қатынасы болып табылады. Физикалық күштің ең түсінікті байқалуы – бұл дененің салмағы. Белгілі болғандай, дененің салмағы, яғни онымен дене төменге қарай қозғалатын (бетке қысып-басады) F күші оның т. салмағымен ғана емес, сонымен бірге g еркін құлаудың үдеуімен анықталады:

$$F = mg.$$

Жердің үстіңгі бетінде әдеттегі жағдайда үдеудің мәні $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Адамзаттың тарихи дамуының әр түрлі кезеңдерінде физикалық шама – күш (салмақ) әр түрлі бірліктермен көрінеді. Олардың кейбірі бүгінгі күнге дейін сақталды: күш килограммы (бұрын кГ деп белгіленген кгс), ұзындық. Бүгінде SI жүйесінде күшті білдірудің негізгі бірлігі ньютон (Н) болып табылады:

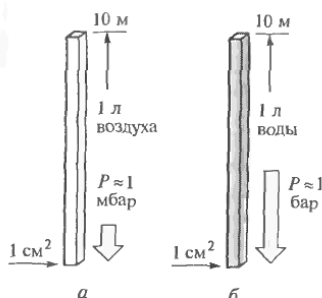
$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг-м/с}^2.$$

Табиғаттағы қысым көрінісін қарастырайық. Жер шарын қоршайтын ауа (атмосфера) салмақсыз болып көрінгенмен толық белгілі бір салмағы бар. Тартылыс күшінің салдарынан ауа көлемінің салмағы белгілі бір атмосфералық қысымды туындатады.

Физикалық бірліктердің халықаралық жүйесіне сәйкес қысым бірлігі ретінде паскаль (Па) қабылданған, ол 1 м^2 ауданға біркелкі таралған 1 ньютон (Н) күшімен құрылатын қысымға тең, яғни $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. Бірақ, әдетте атмосфералық қысым миллибармен [$1 \text{ мбар} = 0,001 \text{ бар} = 10^3 \text{ г/(см-с}^2\text{)}$], сынап бағанасы миллиметрмен (мм с. б.) немесе гектопаскальмен (гПа) өлшенеді. Бұл ретте, $1 \text{ мбар} = 1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$; $1 \text{ мм с. б.} = 1,33 \text{ мбар} = 133,3 \text{ Па}$.

Ауа тығыздығы ρ тұрақты емес, бірнеше факторларға, атап айтқанда температурасына, салыстырмалы ылғалдылығына, қысымға тәуелді. Жағдайға байланысты ρ мәні $1,1...1,3 \text{ г/л}$ диапазонында өзгеруі мүмкін. Қарапайымдылық үшін қалыпты жағдайда ауаның тығыздығы 1 г/л тең.

Осылайша, 1 л ауаның салмағы шамамен 1 г құрайды. Егер осы ауа көлемін (1 л) биіктігі 10 м бағана және негізінің ауданы 1 см^2 (8.23-сурет, а) бағана түрінде елестетсек, онда олардың құратын қысымы:



$$\begin{aligned}
 p &= mg/1 \text{ см}^2 = \\
 &= (1 \text{ г} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2)/1 \text{ см}^2 = \\
 &= 980 \text{ г/(с}^2\text{-см)} \sim 1 \text{ мбар}.
 \end{aligned}$$

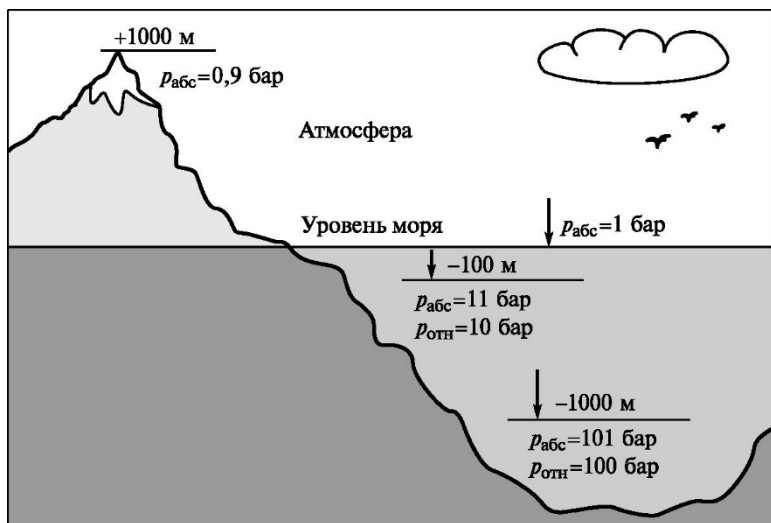
Судың 1000 есе үлкен тығыздығы бар — 1 л су қалыпты жағдайда шамамен 1 кг салмағы бар. Биіктігі 10 метр және негізінің ауданы 1 см² судың бағаны қысымды туындатады (8.23-сурет, б):

8.23-сурет. Ауа (а) және су (б) қысымы

$$p = mg/1 \text{ см}^2 = (1 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2)/1 \text{ см}^2 = 980 \text{ кг/(с}^2\text{-см)} \sim 1 \text{ бар}.$$

Мәнді есептеу нүктесінен ерекшеленетін «қысым» физикалық шаманың мынадай: абсолютті және салыстырмалы (дифференциалды) екі бастапқы ұғымы бар. Абсолютті қысым — бұл абсолютті нөлден (вакуумнан) бастап есептелетін қысым. Дифференциалды қысым қысымның айырмасын (деңгей айырмасын) білдіреді.

Теңіз деңгейіндегі атмосфералық ауаның абсолютті қысымы $p_{абс}$ 1 барды құрайды. Теңіз деңгейінен жоғары 1000 м биіктікте атмосфера қысымы 100 мбар төмен және 900 мбар құрайды (8.24-сурет).



8.24-сурет. Табиғаттағы қысым

Су астында қысым анағұрлым жылдам жоғарылайды: әрбір 10 метрге 1 бар. Теңіз деңгейінен төмен 100 метр тереңдікте абсолютті қысым $p_{абс}$ 11 бар құрайды (10 бар — шын мәнінде судың қысымы плюс 1 бар — ауаның атмосфералық қысымы). Салыстырмалы қысымы $p_{отн}$ (су бетіндегі қысымға қатынасы бойынша) 10 барға тең. 1000 метр тереңдікте абсолютті және салыстырмалы қысым, тиісінше, 101 және 100 бар.

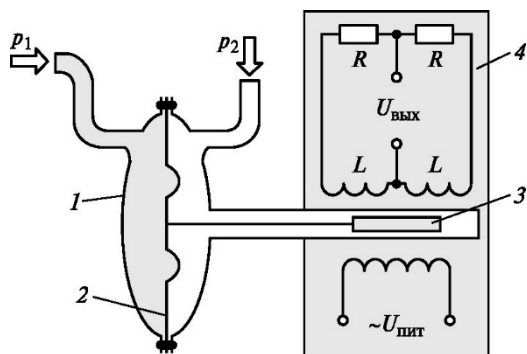
8.2.2. Қысымды өлшеу құралдары

Қазіргі уақытта қысымды өлшеудің алуан түрлі әдістері мен құралдары қолданылады. Бастапқы өлшеу түрлендіргіштің (датчик) әрекет ету қағидатының негізіне қаланған физикалық әсерлер бойынша қысымды өлшеу құралы (манометрлер, вакуум метрлер, барометрлер) бірнеше топтарға бөлінеді. Сұйықтық (онда өлшенетін қысым сұйықтық бағананың қысымымен теңдеседі); деформациялық (онда серпімді сезімтал элементтің деформациялану мәні өлшенетін қысымға пропорционалды); тензометрлік (материалдардың тензометрлік әсеріне негізделген) өлшеу құралдары барынша ең кең таралған. Бізге, әрине, электрлік әдістер мен қысымды өлшеу құралдары ғана қажет. Өз кезегінде, электр монотрлері *аналогты* және *сандық* болып бөлінеді. Бірінші – қарапайым, жеткілікті сенімді, арзан тұратын аспаптар және сол себепті олар өнеркәсіптік объектілерде стационарлы өлшеу мақсатында кең қолданылады. Сандық манометрлер автоматтандырылған өлшеуді ұйымдастыруға, ұзақ уақыт бойында тіркеуді, сол сияқты технологиялық үрдістерді басқару міндеттерін шешуге мүмкіндік береді.

Бастапқы түрлендіргіштердің электрлі шығыс сигналдарына өту әр түрлі ұйымдастырылуы мүмкін. Серпімді элементтің электр сигналына ауысуы үшін түрлендіруде мынадай: индуктивтік/индукциялық (шарғының индуктивтілігі өзгереді немесе екі шарғының өзара индуктивтілігі), трансформаторлық (трансформатордың шығыс кернеуі өзгереді), кедергілі (кедергісі өзгереді, мысалы, тензодатчик), сыйымдылықты (датчик сыйымдылығы өзгереді) және т.б. екінші реттік өлшеу түрлендіргіштері қолданылады. Қысымды электр сигналына түрлендірудің кейбір мүмкін нұсқаларын қарастырайық.

Трансформаторлық түрлендіргіштер. Электр шығыс сигналына өту нұсқаларының бірі 8.25-суретте көрсетілген.

Механикалық бөліктің құрылымдық негізінде – 2- серпімді мембрананың екі бөлігіне саңылаусыз бөлінген 1-мембраналық қорап. 1-қораптың екі бөлігіне түсетін p_1 және p_2 кіріс қысымның алуан түрлігі әсерінен 2 – мембрана бұл ретте 3-өзекшені 4-дифференциалды трансформаторлық түрлендіргішке ауыстыра отырып, майысады.

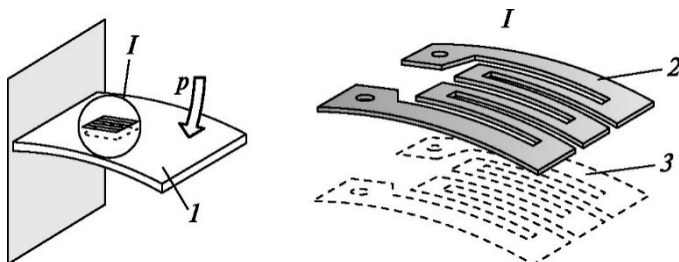


8.25-сурет. Электрлі шығыс сигналы бар манометр:
1 — мембраналық қорап; 2 — мембрана; 3 — өзекше; 4 — дифференциалды трансформаторлық түрлендіргіш

Өзекшенің орнын ауыстыру трансформатордың екінші қайталама орамының L екі бірдей жартысымен және R екі бірдей тең резистормен құрылған көпір сұлбасының бастапқы тепе-теңдігін өзгертеді. Бұл ретте $I_{\text{шығ}}$ көпірдің шығыс сигналы өзекшенің ауыстырылу орнына, және тиісінше қысыммен өлшенетін немесе p_1 және p_2 қысымның айырмасына пропорционалды өзгереді. Бұл $I_{\text{вых}}$ шығыс кернеуді ауыспалы кернеудің вольтметрмен өлшеуге болады.

Тензометрлік түрлендіргіштер. Бүгінде өлшенетін қысымның әсерінен деформацияланатын үстіңгі беттерге бекітілетін тензометрлік сезімталды элементтері бар манометрлер бәрінен көбірек қолданылады.

Тензометрлік әсер өткізгіштің геометриясы өзгерген кезде (мысалы, бүгілген кезде) өткізгіштердің (немесе жартылай өткізгіштердің) электрлік кедергісінің өзгерісінде көрінеді. Тензо-кедергілер жұқа металл фольгадан (мысалы, мыс) жасалады және серпімді пластина немесе мембрана үстіңгі бетінің жазықтығына жинақы жинақталған жеткілікті ұзын өткізгіштер болып табылады (8.26-сурет).



8.26-сурет. Тензометрлік әсер:

1 — серпімді пластина; 2 — 1-ші тензокедергі ($R_0 + 4R$); 3 — 2-ші тензокедергі

$$(R_0 - \Delta R)$$

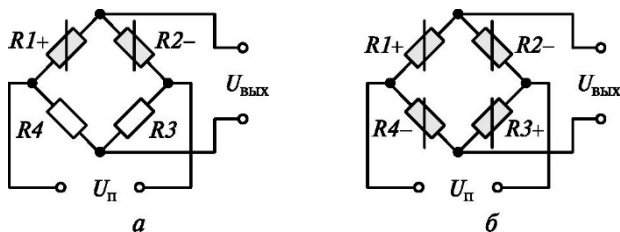
Әдетте (өлшеу сезімталдығын арттыру үшін) пластинаның қарама қарсы бетіне екі тензорезистор орнатады. Осы датчиктер пластинаға мықтап бекітіледі (желімделеді) және онымен бірге бүгіледі.

Егер p зерттелетін қысым серпімді пластинаны төмен қарай бүксе, онда жоғарғы тензорезистордың ұзындығы ұзарады, оның қимасы азаяды және оның кедергісі өседі: $R_0 + \Delta R$. Пластинаның төменгі бетінде орналасқан датчикте – барлығы керісінше, p қысым әрекетінің нәтижесінде оның кедергісі азаяды: $R_0 - \Delta R$. Осы кедергінің өзгерістерін тоқтың немесе кернеудің электр сигналымен оңай көрсетілуі мүмкін. Әдетте тензорезистор көпір сұлбасына қосылады (теңгерілмеген көпірлер) — 8.27-сурет.

Теңгерілмеген көпірдің шығыс кернеуі $U_{\text{шығ}}$ көпір иіні кедергісінің өзгеруіне тәуелді. Бір тензорезистор бар болса жеткілікті, бірақ түрлендірудің түзулігін қамтамасыз ету үшін көпірдің көршілес иіндеріне екі бірдей (8.27-суретті қараңыз, а), бірақ пластинаның бүгілуі кезінде әр түрлі өзгеру белгілері бар кедергі ($R1+$ резистор кедергісі ұлғаяды, ал $R2-$ азаяды) қосқан дұрыс. Сезімталдықты арттыру үшін төрт тензорезисторды жиі қолданады (8.27, б-суретті қараңыз). Оларды көпірдің көршілес иіндерінде кедергілер мәнінің қарама-қарсы өзгерістері бар датчиктері болатындай етіп қосу. Егер көпір сұлбасындағы барлық датчиктер бірдей, қысым әсер еткен кезде R кедергісінің тең номиналды мәндері және ΔR өзгерудің тең модулі бар болса, онда көпірдің шығыс кернеуін $U_{\text{шығ}}$ мынадай түрде жазып көрсетуге болады:

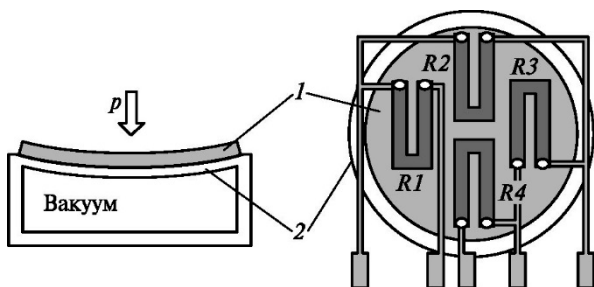
$$U_{\text{шығ}} = U_n(\Delta R / R),$$

мұнда U_n — көпірдің қуат беру кернеуі.



8.27-сурет. Көпірлік сұлбаның нұсқалары:

а — екі тензодатчикпен; б — төрт тензодатчикпен



8.28-сурет. Микроэлектронды кедергілі датчик құрылымы:
1 — кремний пластинасы; 2 — мембрана

Одан әрі осы кернеу аналогты өлшегіштермен өлшенуі немесе сандық кодқа түрлендірілуі мүмкін, ол өз кезегінде, сандық индикаторға шығарылуы, сақталуы немесе басқа да құрылғыларға берілуі мүмкін. Сандық манометрдің құрылымы іс жүзінде басқа да сандық аспаптардың құрылымынан ешқандай айырмашылығы жоқ.

Тензометрлік қағида дифференциалды манометрлерді құру кезінде де сәтті қолданылады. Сондай-ақ, бұл ретте дәстүрлі механикалық конструкция: ең саңылаусыз окшауланған бөлшектерден (камералардан) мембраналық қорап, оларға тензорезисторлар мықтап бекітілген (мысалы, желімделген) олардың арасындағы бүгілетін мембрана қолданылуы мүмкін.

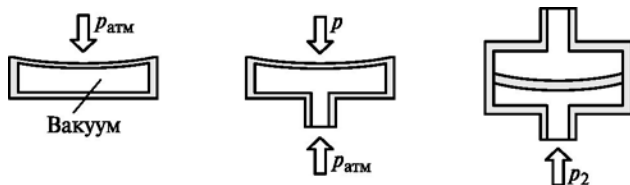
Заманауи микроэлектронды технологиялар манометрлердің шағын сезімталды элементтерін (датчиктерін) құрудың үлкен мүмкіндіктерін қамтамасыз етеді. 8.28-суретте микроэлектронды кедергілі тензометрлік датчиктің оңтайланғандырған құрылымы көрсетілген.

Жұқа кремний пластинада R1, R2, R3, R4 тензорезисторлар (жұқа-немесе қалыңпенкалы технология бойынша) және жалғастырғыш өткізгіш құрылған. Пластина серпімді мембранаға орнатылған және онымен бірге деформацияланады (бүгіліп-майысады).

Деформация кезінде R2 және R4 резисторларының кедергісі ұлғаяды (20...50%-ға дейін), ал R1, R3 резисторларының кедергісі іс жүзінде өзгермейді. Барлық резисторлар шығыс кернеуі деформациямен және тиісінше өлшенетін қысымның мәнімен p анықталатын көпірлік сұлбаны құрады.

8.29-суретте абсолютті, салыстырмалы және дифференциалды қысымды өлшеу үшін датчиктердің мембраналық қораптардың құрылымдық орындау нұсқасы нобайлап көрсетілген.

8.29, а-суретте абсолютті қысымды өлшеу үшін мембраналық қораптың нұсқасы келтірілген (мысалы, атмосфералық $p_{атм}$). 8.29-суреттегі б — нұсқасы атмосфералық және өлшенетін арасындағы айырма ретінде салыстырмалы (дифференциалды) қысымды өлшеу үшін арналған. Дифференциалды қысымды $p_{диф}$ екі өлшенетін p_1 және p_2 қысымдардың арасындағы айырмасы ретінде өлшеу 8.29, в-суретте сипаттап көрсетілген.



а б в
8.29-сурет. Датчиктердің мембраналық қораптар құрылымының әр түрлі нұсқалары:

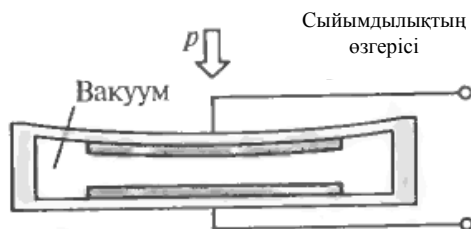
- а — абсолютті қысымды өлшеу үшін (мысалы, $p_{\text{атм}}$);
б — атмосфералық және өлшенетін арасындағы айырма ретінде салыстырмалы (дифференциалды) қысымды өлшеу үшін;
в — дифференциалды қысымды $p_{\text{диф}}$ екі өлшенетін p_1 және p_2 қысымдардың арасындағы айырмасы ретінде өлшеу

Трансмиссия (Transmitter) ұғымы бар, датчиктен және сигналды нормалау (кондициялау) тізбегінен тұратын толық түрлендіргішті білдіреді, яғни кіріс шамасы – қысымды бастапқы және екінші реттік түрлендіруді орындайды. Трансмиссия шығысында — сәйкестендіріген сигнал: 0... 100 мВ, немесе 0... 10 В, немесе 4...20 мА, немесе өзге стандартты қабылданған деңгейлер. Түрлендіру дәлсіздігі (үлгілік) — 0,5,2,5 %.

Сыйымдылықты түрлендіргіштер. Кедергіліден басқа, сонымен қатар қысымның сыйымдылықты датчиктері де қолданылады. Сыйымдылықты датчиктерде мембрана конденсатор пластиналарының бірі ретінде қызмет етеді (8.30-сурет). Оның қалыбын өзгерту датчик сыйымдылығын өзгертуге және содан кейін, мысалы ауыспалы токтың көпірлік шығыс кернеуінің өзгерісіне әкеп соқтырады.

Микроэлектронды технология жетістіктерінің арқасында осындай датчиктердің габариттік өлшемдері айтарлықтай кішкентай (бірліктері – ондық шаршы миллиметр) болуы мүмкін. Бұдан басқа, кремний пластинада екінші реттік түрлендіргіштің кейбір элементтері орналасуы мүмкін, мысалы көпірлік сұлбалар, күшейткіштер.

8.30-сурет.
Сыйымдылықты
тензометрлік
датчик



8.3. Заттек ағыны қозғалысының жылдамдығын және оның шығынын өлшеу

Едәуір таралған тапсырмаларды – заттек ағыны қозғалысының жылдамдығын және оның шығынын өлшеуді қарастырайық. Осы физикалық шамалар өзара жиі байланысты болып келеді және оларды жеке қарастыру дұрыс емес.

Нақты эксперимент үшін шығынды және/немесе қозғалыс жылдамдығын өлшегішті таңдау кезінде барлық өлшеу құралдары үшін жалпы критерийлерден (метрологиялық және пайдалану сипаттамалары, бастапқы бағасы және қызмет көзсету құны және т.б.) басқа өлшенетін шаманың ерекше өзіне тән факторларын да ескеру қажет. Бұл – заттек жай-күйінің сипаты (сұйық, газ тәрізді заттектер, бу, көпфазалы орта, сусымалы заттектер, ірі қатты заттар және т.б.), зерттелетін ортаның қасиеті (тығыздығы, тұтқырлығы, сығымдылығы, химиялық құрамы, электр өткізгіштігі, агрессивтілігі, түрпілігі, майлайтын қабілеті және т.б.), оның ағымдық сипаттамалары (температурасы, қысымы, көп фазалық жай-күйі, ылғалдылығы – әсіресе сусымалы орта үшін). Таңдалған моделдері үшін жүріп жатқан – статикалық немесе динамикалық үрдістер маңызды болып табылады. Бұдан басқа, өлшеу құралдарын құрастыру жағдайлары мен мүмкіндіктерін, ықтимал өлшемдерін, құбыр желісінің геометриясы мен материалын, экспериментті жүргізу шарттарын, қосымша жабдықтар талаптарын, сыртқы қуат көзінің қажеттілігін, үздіксіз жұмыс уақытын, талап етілетін мерзімді тексеруді және т.б. ескеру қажет. Осындай сан алуан түрлі критерийлер болған кезде таңдау проблемасы жеткілікті күрделі, білікті және кәсіби тұрғыдан мәселені шешуді талап етеді.

Осы бөлімде, негізінен құбыр желісінде ағатын сұйықтықтар мен газдардың мысалында қозғалыс жылдамдығын және шығынды өлшеу туралы сөз қозғалады. Бүгінде, сұйықтықтар мен газдардың шығынын үнемі заттектердің қозғалыс жылдамдығы арқылы табатын болғандықтан осы параграфта жылдамдық сияқты, сондай-ақ шығынды өлшеу әдістері мен құралдары қоса қарастырылады. Шығын деп бұл жағдайда ағын қимасы арқылы уақыт бірлігіне өтетін заттектердің саны түсініледі.

Жылдамдық өлшегіштердің ағылшын тіліндегі терминдері — Velocity Meter, шығын өлшегіштің — Flowmeter.

8.3.1. Негізгі ұғымдар

Сұйықтық ағып жатқан құбыр желісі мысалында жылдамдық пен шығын байланысын қарастырайық. Белгілі бір жағдайларды орындаған кезде (құбыр желісі жеткілікті ұзындықта тұзу және толығымен сұйықтықпен толтырылған, оның қозғалысы бірқалыпты, құбыр желісінің ішкі қимасы жеткілікті ұзындықта тұрақты және т.с.с.) ағымдық шығынның мәні Q мына формула бойынша есептеледі:

$$Q = p v S = p v \frac{\pi d^2}{4},$$

мұнда p — сұйықтық тығыздығының мәні; v — ағын қозғалысының жылдамдығы; S — құбыр желісінің ішкі қимасының ауданы; d — құбыр желісінің ішкі диаметрі.

Белгілі бір уақыт интервалы ішінде At шығындардың ағымдық (лездік) $q(t)$ және интегралдық (жиынтқы) G ұғымдары қолданылады. Интегралдық шығын G жалпы жағдайда At интервалында лездік (ағымдық) шығынның $q(t)$ функция интегралы болып табылады. Жеке жағдайда At интервалында Q ағымдық шығынның тұрақты мәнінің G интегралдық шығыны төмендегі қарапайым өрнекпен анықталады:

$$G = QAt.$$

Интегралдық мәнді өлшеу үшін аспаптарды сандық есептегіштер (Flow Totalizer) деп жиі аталады. Заманауи аспаптар әдетте екі жұмыс режимімен қамтамасыз етіледі.

Көлемдік (көлем бірліктерімен берілетін л/с, м³/ч және т.с.с.) және *салмақтық* (салмақ бірліктерімен берілетін — кг/мин, т/с және т.с.с.) шығындар деп бөлінеді. Көлемдік Q_v және салмақтық Q_m шығындар зерттелетін ағын ортасының p тығыздығымен байланысты:

$$Q_m = pQ_v$$

8.3.2. Өлшеу әдістері мен құралдары

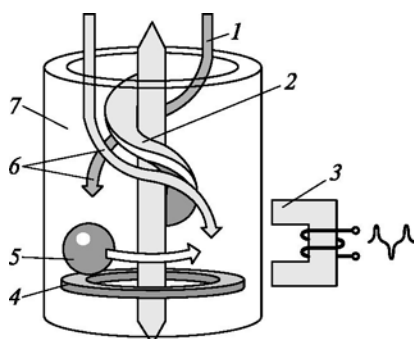
Қазіргі уақытта заттек қозғалысының жылдамдығы мен шығынын өлшеудің бірнеше ондаған әр түрлі тәсілдері қолданылады. Зерттелетін ортаның түріне, құрамы мен қасиетіне байланысты жылдамдық пен шығынды өлшеудің әр түрлі әдістері мен құралдары қолданылады.

Бүгінде мынадай қағидаттар (және оның негізінде аспаптар) ең көп таралған: манометрлік (өлшенетін ортаның ағынымен туындайтын қысымның айнымалы немесе тұрақты деңгей айырмасында жұмыс істейтін); тахометрлік (турбиналық, қанатты, шарлы); электр магниттік (электр магниттік индукция әсеріне негізделген индукциялық); ультра дыбыстық (қозғалатын ортада дыбыстық сигналдың өту уақытының айырмашылығын өлшеуге немесе шағылған ультра дыбыстық сигнал жиілігінің өзгерісін өлшеуге негізделген); құйындық (құйынды ағынның жиілік ауытқуын бағалауға негізделген); жылулық (қозғалатын ортаның айнала ағатын датчик температурасының өзгерісіне негізделген).

Осы ең көп таралғандардың ішінен жылдамдық пен шығынды өлшеудің кейбір электрлік әдістері мен құралдарын қарастырайық.

Тахометрлік шығын өлшегіш. Әр түрлі шығын өлшегіштердің жалпы жиынындағы осы тектес аспаптардың (Turbine Flowmeter) үлесі шамамен 10 %-ды құрады. Тахометрлік шығын өлшегіштер мынадай: роторлық және роторсыз деп екі түрге бөлінеді. Бірінші тип құрылғысының жұмысы заттек ағынына орналастырылған роторлық құрылғының (турбиалар немесе қанаттылар) айналу жиілігін өлшеуге негізделген. Екінші тип өлшенетін ортаның жасанды иірімек ағынындағы шариктің айналма қозғалысының жылдамдығын өлшеуге негізделген.

Бірінші типті шығын өлшегіштердің ең қарапайым және кең таралған нұсқасының әрекет ету қағидаты ағын қозғалысының сызықтық жылдамдығынан турбиналардың (құбыр желісіне кіріктіре орнатылған) айналу жиілігінің пропорционалды тәуелділігіне, яғни шығынның мәніне негізделген.



8.31 - сурет.

Тахометрлік шарлы шығын өлшегіш; 1 — ағын; 2 — бекітілген бұрама; 3 — индуктивті түрлендіргіш; 4 — полимер немесе фтор қабатты сақина; 5 — шарик; 6

Механикалық шама — турбина білігінің бұрыштық жылдамдығы — тахометрмен өлшенуі (аналогты немесе сандық) немесе оны оңай өлшеуге болатын тахогенератор арқылы электр сигналына түрлендірілуі мүмкін. Жиілікті импульстік шығыстың болуы мүмкін. Сондай-ақ, осындай сигнал өте оңай сандық кодқа түрлендіруге болады.

8.31-суретте тахометрлік роторсыз (және тиісінше, мойынтірексіз) шарлы шығын өлшегіштің оңтайланғандырған құрылымы көрсетілген.

Қозғалмалы элемент (ферро-магниттік материалдан, мысалы, полимер немесе фтор қабатты жабыны бар болаттан жасалынған)

шарик болып табылады, ол өлшенетін ортаның иірімек ағынының әсерінен құбыр желісінің өс айналасында айналмалы қозғалысты жасайды. Ағынның иірілуі құбыр желісінің өс бойымен қозғалмайтын көпжүрісті бұраманың қатты бекітілуін қамтамасыз етеді. Шектеуші сақина шарикті ұстап тұрады. Шарик қозғалысының бұрыштық жылдамдығы ағын қозғалысының сызықтық жылдамдығына (және тиісінше, көлемдік шығынға) пропорционалды. Шариктің индуктивті түрлендіргіштің жанында мерзімді өтуі магнит өткізгіш түрлендіргіштің магниттік кедергісін өзгертеді. Бұл ретте, түрлендіргіштің шығысында импульстік дәйектілік пайда болады. Осылайша, индуктивтік түрлендіргіш шариктің механикалық қозғалысын айналу жиілігіне пропорционалды олардың электр сигналының жиілігіне түрлендіреді.

Осындай шығын өлшегіштер құбыр желісінің диаметрі 20.150 мм болғанда 0,025...400 м³/с шығындар диапазонында жұмыс істейді. Дәлдік кластары — 1,0,2,5 %, өлшенетін ортаның температурасы— 5.100 °С.

Электр магниттік (индукциялық) шығын өлшегіштер. Сондай-ақ, бұл өнеркәсіптік өлшеу тәжірибесінде ең көп таралған түрлерінің бірі. Әлемдегі барлық стационарлы шығын өлшегіштердің шамамен 15 %-ы — электр магнитті (Electromagnetic Inductance Flowmeter).

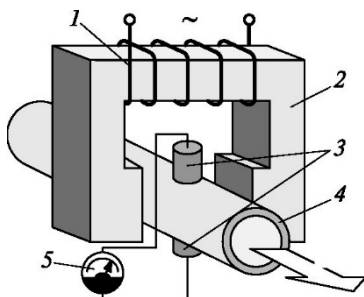
Электр магниттік (индукциялық) шығын өлшегіш электр өткізгіш сұйықтықтар үшін қолданылады және электр магниттік индукция әсеріне негізделген. Магниттік өрісте электр өткізгіш сұйықтықтар ағынының қозғалысы кезінде онда ЭҚК болады. Осындай шығын өлшегішті оңтайландырған құрылымы 8.32-суретте көрсетілген.

Магниттік емес материалдан жасалынған құбыр желісінде электр өткізгіш сұйықтық ағады, ол электр магнитімен (магнит өткізгіштегі орам) құрылатын ауыспалы магниттік өрісімен өтеді. Электродтар құбыр желісінің қабырғасы арқылы өтеді және сұйықтықпен байланыста болады. Электр магниттік индукция заңы бойынша сұйықтық ағынында (магниттік өрісте кез келген орын ауыстыратын өткізгіште) ауыспалы ЭҚК пайда болады, оны өлшегіш бағалайды. ЭҚК мәні магниттік өрістің жиілігімен және индукциясымен, құбырдың ішкі диаметрімен және әрине, сұйықтық қозғалысының жылдамдығымен анықталады. Осылайша, жылдамдықты тауып, құбыр қимасын білген кезде шығынды бағалауға болады.

Осындай шығын өлшегіштердің дәлсіздігі 1.2% диапазонында болады. Осындай типті шығын өлшегіштер аз инерциялы болып келеді, яғни жеткілікті жоғары жылдам әрекетті қамтамасыз етеді, бұл әсіресе салыстырмалы тез өзгеретін шығынның ағымдық (лездік) мәнін анықтау үшін маңызды. Сондай-ақ осы шығын өлшегіштердің артықшылығы мынада: құбыр желісінің өткел қимасын өзгертпейді, қозғалатын бөлшектер болмайды, лас және көп фазалы ортада, агрессивті сұйықтықтармен жұмыс істей алады.

Олардың жалғыз ғана кемшілігі - белгілі бірі электр өткізгіш сұйықтықты талап етуі, әдетте — кемінде 10⁻⁸ См/м (См — сименс — омға қарсы бірлік).

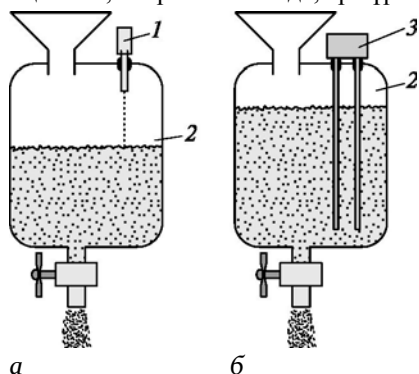
Қатты заттектер шығынын бағалау. Тік резервуарлардағы



8.32-сурет. Электр магниттік (индукциялық) шығын өлшегіштер:

- 1 — орам; 2 — магнит өткізгіш;
3 — электродтар; 4 — құбыр желісі;
5 — ЭҚК өлшегіш

сусымалы ұсақ дисперстік заттектер үшін ағымдық, сол сияқты интегралдық шығындарды бағалау үшін деңгей өлшегіштерін қолданған ыңғайлы, олар өз кезегінде, әр түрлі қағидаттарға құрылуы мүмкін.



8.33-сурет. Деңгейді өлшеу негізінде шығын өлшегіштер: *а* — ультра дыбыстық дабыл арқылы; *б* — деңгейдің сыйымдылықты датчигі арқылы; *1* — деңгейдің ультра дыбыстық датчигі; *2* — бункер; *3* — деңгейдің сыйымдылықты датчигі

Негізінен ультра дыбыстық (УД) және сыйымдылықты деңгей өлшегіштері қолданылады (8.33-сурет).

Бірінші жағдайда (8.33, *а*-суретті қараңыз) шыққан УД-сигнал түсуінің кідіру мәні бойынша датчиктен заттектің бетіне (орта шекарасына) дейінгі қашықтық анықталады. Осы тәсіл сусымалы орталарға ғана емес, сонымен бірге тұтқырлығы әр түрлі сұйықтықтар үшін де қолданылуы мүмкін.

Екінші жағдайда (8.33, *б* суретті қараңыз) деңгейдің сыйымдылықты датчигі қолданылады, ол бір бірінен жеткілікті оқшауланған екі ұзын металл пластина болып табылады. Ауаның және бункерді толтыратын заттектің әр түрлі диэлектрлі өткізгіштігі арқасында датчик сыйымдылығын өлшеп, бункердің

ағымдық толуын және тиісінше, заттек шығынын бағалауға болады. Осы тәсіл, әрине, тек диэлектрлі орталар үшін ғана жарамды. Осы құрылғылардың елеулі кемшіліктеріне сондай-ақ өлшенетін ортаның өлшеу нәтижесіне елеулі ықпалын жатқызу қажет.

Тахометрлер. Айналымдар санын (айналу жиілігін) және сызықтық жылдамдығын өлшеу үшін негізінен түйіспелі және түйіспесіз өлшеуді қамтамасыз ететін сандық тахометрлер қолданылады.

Айналу жиілігін өлшегіштерді ағылшын тілінде көбінесе RPM Measurement Instrument (RPM — Rotation-per-Minute) деп атайды. Әрекет ету қағидаты және/немесе жұмыс режимі бойынша барлық тахометрлерді мынадай: түйіспелі (механикалық) және түйіспесіз (оптикалық, стробоскоптық, индуктивтік) өлшегіштер деп екі топқа бөлуге болады.

Тахометрлерді құру кезінде негізінен үш қағидат қолданылады: механикалық — түйіспелі; оптикалық (фото) — түйіспесіз; стробоскоптық — түйіспесіз.

Бірінші тәсіл (Mechanical RPM Method) — классикалық, тахометрдің қабылдау бөлігі — тахометрлі түрлендіргішпен айналымды біліктің механикалық өзара іс-қимылына негізделген. Осы топтың құралдары, әдетте, сандық технологиялар 10 000...20 000 мин/айн дейін диапазонда айналу жиілігін өлшеуді қамтамасыз етеді.

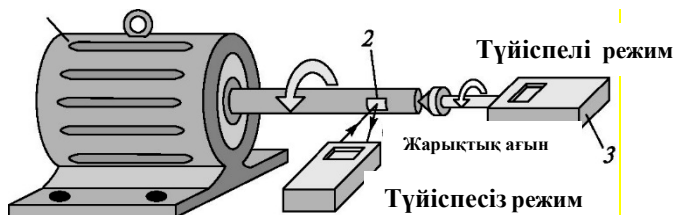
Екінші тәсіл (Optical/Photo RPM Method) қозғалатын объектімен

шағылған жарықтық ағын импульстер мөлшерін есептеуге негізделген. Осы топтың аспаптары өте үлкен диапазонда (1 000 000 мин/айн дейін) айналу жиілігінің мәнін өлшеуге мүмкіндік береді. Бұдан басқа, түйіспеге карағанда қолдануда олар өте қолайлы болып келеді.

Үшінші тәсілде (Stroboscopic RPM Principle) мынадан тұратын стробоскоптық әсер қолданылған. Осындай аспап ауық-ауық қысқа жарық жарқылын шығарады, олардың жиілігі жеткілікті үлкен шектерде реттелуі мүмкін. Пайдаланушы жиілікті реттеумен айналатын зерттелетін объектіден оларды тойтарумен жарқылдардың үйлесімділігіне қол жеткізеді. Егер жарқылдақ жиілігі объектінің айналу жиілігімен сәйкес келсе (тең немесе еселенген болса), онда бақылаушыға объекті қозғалмай тұрған болып көрінеді. Барлық осындай жиіліктердің ең жоғарғысы айналу жиігін сипаттайтын болады. Стробоскоптар 100 ден 20 000 мин/айн дейін диапазонда айналу жиілігін өлшеуді қамтамасыз етеді. Осы тәсіл қазіргі уақытта перспективалы деп есептелмейді.

Үлгілі заманауи аспаптың — сандық түйіспелі/түйіспесіз тахометрдің әрекет ету қағидатын қарастырайық. Бүгінгі күні қозғалатын объектілердің айналу жиілігі мен сызықтық жылдамдығының ең көп қолданылатын тәсілі осы шамалардың импульстердің қолдану жиілігіне трансформациялануы болып табылады, ол содан кейін сандық баламаға (кодқа) оңай түрленеді. Негізіне танымал сандық жиілік өлшегіш қағидаты салынған. Кірістік тахометрлік түрлендіргіштен импульстік сипаттағы электр сигналы электрондық кілт кірісіне түседі, оны үздіксіз тұрақты уақыт интервалымен мерзімді түйісетін оны таймер басқарады (мысалы, $T_0 = 1$ с). Осылайша құрылған импульстер сериясы есептегіш кірісіне түседі, оның ішіндегісі T_0 есептеу интервалының соңында түсетін импульстердің санына тең. Осы сан кірістік импульстердің жиілігіне тура пропорционалды. Есептегіш көрсеткіші сақтау құрылғысының буферінде жазылады және сол жерде сақталады. Сонымен бірге, бір мезгілде осы код сандық есептеу құрылғысына (индикатор) түседі. Мысалы, егер $T_0 = 1$ с интервал ішінде электр қозғалтқыш білігінің айналу жиілігін өлшеу кезінде есептегішге 40 импульс түсіп, «бір минуттағы айналым» өлшемділігі бар мән талап етілсе, онда аспап автоматты түрде масштабтауды жүргізеді және индикатордағы нәтиже мынадай түрде жазылады: «2400 мин/айн».

Заманауи тахометрлер, әдетте, екі өлшеу режимін жүзеге асырады: түйіспелі және түйіспесіз. Біріншісі қозғалатын объекті мен аспап жатчигінің механикалық өзара әрекетіне (байланысына), екіншісі — оптикалық әсерге (жарықтың түзу сызықты таралуы, әр түрлі үстінгі беттермен шағылуы және сіңіруі) негізделген.



8.34-сурет. Айналу жиілігінің түйіспелі және түйіспесіз өлшеу режимдері:

1 — қозғалтқыш; 2 — жарық шағылыстырғыш белгі; 3 — тахометр

Аспаптың жарық сәуле шығарғышы және фотоқабылдағышы зерттелетін объектінің өзгермелі күйі арқылы бір-бірімен өзара әрекеттеседі. Түйіспесіз әдістер мен құралдар, әрине, қолайлы, себебі зерттелетін объектінің жұмысына араласпауды қамтамасыз етеді және операторға эксперимент үрдісінде барынша еркіндік береді.

8.34-суретте осы режимдердің (түйіспелі және түйіспесіз) мүмкіндіктері біліктің айналу жиілігін өлшеу үлгісінде көрсетілген.

Түйіспелі режимде күрделі емес, қарапайым механикалық қондырма қолданылады, ол айналу өсінің бойымен білік бүйіржағына берік қысып жапсырылады. Бұл ретте өлшенетін шама (біліктің айналу жиілігі) сандық өлшеу аспабының ішкі тахометрлік түрлендіргішіне беріледі, ол сандық есептеу құрылғысында ондық код түрінде түпкілікті нәтижені көрсетеді.

Түйіспесіз режим мынадай түрде жүзеге асырылады: Аспаптың корпусында үздіксіз тар бағытталған жарық ағынының сәуле шығарғышы (немесе лазерлік сәуле шығару) және фотоқабылдағыш орналасқан, ол объектіден шағылысқан жарықтық (немесе лазерлік) ағынды қабылдайды. Егер шағылған ағын ауық-ауық үзілетін болса, онда жарық ағынының импульстер санын есептеу импульстердің жүру жиілігін бағалауды береді. Егер жарықтық импульстер айналатын білікке желімдеп жабыстырылған орын ауыстыратын жарық шағылыстырғыш (кереғарлы немесе жалтылдаған) белгіден ағынның шағылуы арқасында құрылса, онда уақыт бірлігіндегі осындай импульстердің саны біліктің айналу жиілігі туралы тура сөз қозғайды. Бұл ретте аспаптан білікке дейінгі арақашықтық елеулі шектерде өзгеруі мүмкін (мысалы, 1 м дейін).

Заманауи тахометрлердің көмегімен, әдетте, кейбір объектілер қозғалысының сызықтық жылдамдығын да өлшеуге болады. Бұл ретте өлшеудің түйіспелі режимі іске асырылады. Қондырғының ұштығы қозғалатын үстіңгі бетке тығыз бекітіледі (мысалы, тасымалдаушы таспасына) және кіріс сызықтық жылдамдық қондырғы ұштығының айналу жиілігіне пропорционалды түрленеді, кейін ол (қондырғы ұштығының танымал диаметр мәнін пайдаланып) автоматты түрде объекті қозғалысының талап етілетін сызықтық жылдамдығының мәніне қайта есептеледі.

Түйіспесіз режимде тахометрді кейбір басқаша қолдануға болады, мысалы, біртекті мөлдір емес заттарды (қораптар, пакеттер) есептеу; уақыт интервалын өлшеу; желдеткіш қалағының айналу жиілігін бағалау; жарық жарқыл санын есептеу және т.б.

Айналу жиілігі және сызықтық жылдамдықты түйіспелі және түйіспесіз заманауи аспаптардың үлгілі өкілдерінің негізгі сипаттамалары

Айналу жиілігі, мин/айн.....	1... 99 999
Сызықтық жылдамдығы, м/мин	1.19 999
Уақыттық интервал, с	0,01.99 999
Оқиғалар саны (есептегіш режимінде)	1.9 9999
Жұмыс температурасының диапазоны, °С	0. + 50
Аспаптың қуат көзі	9 В батарейка немесе аккумулятор

Осындай аспаптардың негізгі артықшылығы шағын көлемді және жеңіл салмағының (Hand Held) болуы, өлшеуді орындауда қарапайымдылық пен ыңғайлылығы, нәтижелерді сандық есептеудің болуы (төрт-, бес разрядтық дисплей), әр түрлі жұмыс режимдерінің болуы, өлшеудің соңғы нәтижесін сақтау мүмкіндігі, автономды қуат алуы.

Өлшеудің ультра дыбыстық әдістері мен құралдары. Қазіргі уақытта сұйықтық жылдамдығын және шығынын өлшеу үшін ультра дыбыстық әдістер мен құралдары кең қолданылады. Стационарлы, сол сияқты тасымалды ультра дыбыстық шығын өлшегіштердің (Ultrasonic Flowmeter) шығын өлшегіштердің жалпы массасындағы үлесі шамамен 10 %-ды құрайды. Өлшеудің ультра дыбыстық (УД) әдістері мен құралдары шұғыл зерттеуге тән талаптарға жауап береді, себебі олар құбыр желісінде «ойымды», технологиялық үрдісті тоқтатуды, шұраларды жабуды, жүктемені алып тастауды және т.б. талап етпейді. Сондықтан осы әдістер мен құралдар инвазиялық әдістер емес болып табылады. Автономды тасымалды аспаптардың датчиктері – алып-салмалы. Олар құбыр желісінің сыртқы бетіне оңай орнатылады және алынады, сондықтан экспериментке ыарлық дайындалу уақыты бар болғаны бірнеше минутты алады.

Жылдамдық пен шығынның УД-өлшегіштерін пайдалану мынадай бірқатар маңызды артықшылықтарды береді:

- құбыр желісінде қысымның төмендеуі туындамайды және аспаптың ағынға қандайда да бір әсері болмайды;
- аспаптың бөлшектерінде ықтимал тот басу болмайды;
- қозғалатын бөліктері жоқ (және соның салдарында тозатын бөлшектер болмайды, жоғары сенімділік пен аспаптардың анағұрлым көп уақыт қызмет ету мерзімі қамтамасыз етіледі);
- автономды аспаптармен жұмыстың қарапайымдылығы (орнату, тасымалдау, ауыстыру).

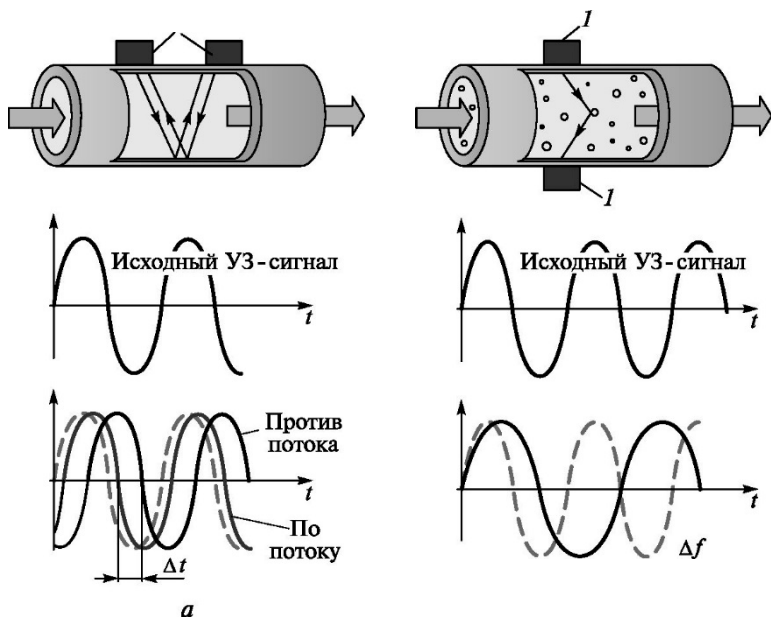
Бұдан басқа, УД-аспаптарының маңызды басымдықтары жылдамдық пен шығынды өлшеудің үлкен диапазоны болып табылады, құбыр желісінің ықтимал үлкен диапазоны, жеткілікті жоғары дәлдік, жақсы пайдалану сипаттамасы болып табылады. УД-өлшегіштердің ең басты кемшілігі – салыстырмалы жоғары құны (олардың құрылымының күрделі болуының салдары ретінде).

Заманауи УД-өлшегіштерінде ағынның жылдамдығын өлшеудің екі түрлі қағидатына негізделген екі әдіс қолданылады (8.35-сурет):

- қозғалатын ортадағы УД-сигнал (Transit Time Technology) таралуының кідіру уақытының айырмасын өлшеу;
- Допплер (Doppler Effect Technology) әсеріне негізделген қозғалатын бөлшектерден шағылған УД-сигнал жиілігінің өзгерісін өлшеу.

Бірінші әдісте қозғалатын ортадағы УД-сигнал таралуының кідіру уақытының интервалы өлшенеді. Осы кідіру ортаның (ағынның) қозғалу бағыты мен жылдамдығына байланысты. 8.35-суреттің a – нұсқасында осы әдістің нұсқасы келтірілген.

Құбыр желісінде (сәуле шығарғыш және сигналды қабылдағыш ролінде кезектесіп әрекет ететін) екі қабылдағыш-датчик орнатылады.



8.35-сурет. Ағын жылдамдығын УД-өлшеу қағидаттары:
 а — уақыттық; б — жиілікті; 1 — датчик

Сол датчик сәуле шығаратын және орта арқылы ағынның қозғалу бағытына қарай өтетін ультра дыбыстық сигнал (әдетте, оның жиілігі 0,1... 1 МГц) қабылдағышқа дейін кідірудің ұзақ уақыты ішінде жететін он датчиктен ағынның алдынан (ағынға қарсы) жүретін сигналға қарағанда аз кідіру уақыты ішінде қабылдағыш (оң) датчикке жетеді. Осы сигналдардың өту уақытының кідіру интервалдарының айырмасын, яғни Δt өлшеп, ортаның қозғалыс жылдамдығын бағлауға және содан кейін құбыр желісінің ішкі қимасын біле отырып, шығынды есептеуге болады.

Осы әдістегі аппаратураның электронды салмасы, әрине, жеткілікті түрде жылдам әрекет етуші болуы тиіс, себебі Δt өте аз уақыт интервалдарын – наносекунд бірліктерін ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$) өлшеу кезінде жоғары шешуші қабілет қажет. Шығын датчиктерді орнату орнында құбыр желісінің ішкі қимасына жылдамдық өрнегі ретінде есептелінеді. Кідіру уақытын өлшеу әдісі қоспасыз, яғни гомогенді (біртекті) таза сұйықтықтар үшін жақсы.

Екінші әдіс (8.35, б-суретті қараңыз) физикада өте танымал Доплер әсеріне – қозғалатын объектіден шағылысатын сигнал жиілігі өзгерісінің әсеріне негізделген. Қазіргі уақытта сандық доплерлік УД шығын өлшегіштер (Digital Doppler Ultrasonic Flowmeter) кең қолданылады. Белгілі жиіліктің сигналы сұйық ортада таралады, ағында қозғалатын

қатты бөлшектерден, ауа көпіршіктерінен, орта тығыздығында жергілікті айырмашылықтардан шағылады және т.с.с. Қозғалатын бөлшектерден шағылған УД-сигнал Фурье (Fourier Transform) түрлендіруі арқылы уақыттық аумақтан жиілікке трансформацияланады. Себебі шағылған сигналдың спектрі жеткілікті үлкен болса, онда орташаландырылған жиілік болады. Одан әрі бастапқы сигнал (таратқыш сигналы) мен шағылған сигналдардан алынған орташаландырылған жиіліктің айырмасы есептелінеді. Осы айырма одан әрі ағын қозғалысының жылдамдығын анықтау үшін және содан кейін шығынды есептеу үшін қолданылады.

Жылдамдық пен шығынның үлгілі заманауи микропроцессорлы УД-өлшегіші портативті аспап болып табылады. Ол біраз уақыт кезеңі ішінде сұйықтықтың лездік (ағымдық), сол сияқты жиынтық шығынын өлшеуге мүмкіндік береді. Аспаптың алмалы-салмалы датчиктері құбыр желісінің үстіңгі бетіне оңай орнатылады. Өлшеуге дайындық 3.5 минутты алады.

Үлгілі УД-өлшегіштердің негізгі сипаттамалары

Құбыр желісінің ішкі диаметрі, м	.....	2000 дейін
Құбыр қабырғасының материалы	.....	Болат, тот баспайтын болат, шойын, мыс, пластмасса, бетон
Ағын жылдамдығы, м/с	.....	10 дейін (құбырдың көлеміне байланысты)
Дәлсіздігі, %	.....	3...5
Жұмыс температурасының диапазоны °С:	.....	-30... +200
датчиктердің.....	.....	0 ...+50
аспаптардың		
Қуат көзі	.....	Сыйымдылығы 1,0 Ач аккумулятор (10 с тұрақты жұмыс істейтін) және/немесе 220 В қуат желісінен адаптер
Салмағы	.....	2...3
Деректерді көрсетуі	.....	Сұйық кристалды сандық индикатор; аналогты сигналдың шығысы 4.20 мА немесе сандық шығыс – бірізді интерфейс RS-232 л/мин, л/с, м ³ /с және басқа л, м ³

Ультра дыбыстық қалыңдық өлшегіш. Шығынды өлшеу бойынша эксперименттерде құбырдың нақты ішкі диаметрі (ІД) жеткілікті дәрежеде жақсы белгілі (немесе мүмкіндігінше, анық анықталған) болуы тиіс, себебі шығынды адам немесе автоматты түрде жылдамдықты өлшеу және оператор енгізген ІД мәннің негізінде аспаптың микропроцессоры есептейді. Сондықтан ІД анықтауда қателік шығынды анықтау кезінде

едәуір дәлсіздіктің көзі болуы мүмкін. Сонымен бірге шығынның жиынтықты салыстырмалы дәлсіздігіне ІД тапсырмасының еселенген салыстырмалы дәлсіздігі кіреді (6-қосымшаны қараңыз).

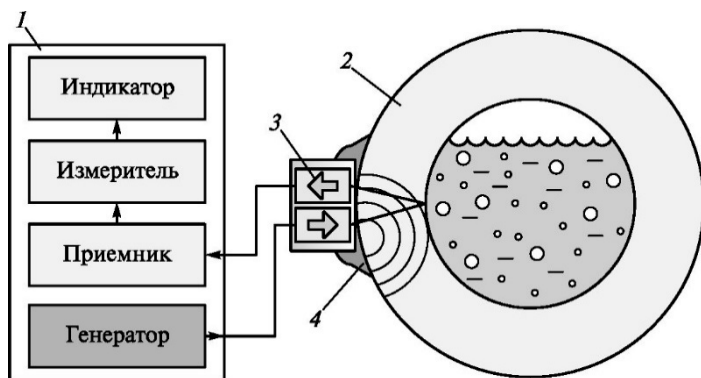
Оған қолжетімдік бір жағынан ғана мүмкін объектінің (құбыр желісінің, резервуардың, қазандық қабырғасының және т.с.с.) немесе қысымы бар сыйымдылық қабырғаларының немесе қауіпті ортадағы (агрессивті) сыйымдылық қабырғаларының қалыңдығын өлшеу ультра дыбыстық қалыңдық өлшегішінің көмегімен жүзеге асыруға болады.

L қалыңдықты өлшеу қағидаты зерттелетін объектідегі At ультра дыбыстың өту уақытын өлшеу және кейін осы уақыт интервалын аталған материалда ультра дыбыстың өту жылдамдығына v көбейту болып табылады (8.36-сурет):

$$L = A \cdot t \cdot v.$$

Аталған қағидат бұзбай бақылау әдістері мен аспаптарында кен қолданылады.

УД қалыңдық өлшегіштерді құру кезінде, әдетте, пьезоэлектрлі датчиктер қолданылады, оларға қысқы электр импульстарын беру кезінде адамның құлағымен қабылданатын диапазонның жоғары шекарасынан анағұрлым асып түсетін жиілікпен дыбыстық толқындар (яғни УД) шығарады. Датчик шығаратын сигналдың жиілігі 1.20 МГц құрауы мүмкін.



8.36-сурет. УД – қалыңдық өлшегіштің әрекет ету қағидаты:

- 1 — ультра дыбыстық қалыңдық өлшегіш; 2 — құбыр желісі; 3 — датчик;
4 — гель (паста)

Генератор құратын ультра дыбыстық сигналдар пьезоэлектрлі сәуле шығарғышқа түседі, одан әрі объектінің сыртқы үстіңгі беті арқылы өтеді, объектінің денесімен таралады және оның ішкі үстіңгі бетінен шағылысады. Қабылдағыш датчигі шағылған УД-сигналын қабылдайды, оны электр сигналына түрлендіреді және оны өлшегішке береді, онда At уақыт интервалының L қалыңдықты өлшеу нәтижесіне түрлендіру жүреді.

Үлгілі ультра дыбыстық қалыңдық өлшегіштің негізгі техникалық сипаттамасы

Өлшенетін қалыңдықтың диапазоны, мм	.....	0,5...200 (0,02 мм қадаммен)
Жұмыс температурасының диапазоны °C:	.....	+10,+50
аспаптардың.....	.....	+200 дейін
датчиктердің.....		
Қуат көзі	.....	9В батарея (50 сағат үздіксіз жұмыс істейтін)
Аспаптың салмағы, г	.....	500
Деректерді көрсетуі	.....	Сұйық кристалды сандық индикатор

Бақылау сұрақтары

1. Термоэлектрлі түрлендіргіштің (термोजұптың) сипаттамасы (шамамен) қанай? Мыс термометр кедергісінің (касиеттік) сипаттамасы қандай?

2. Сандық термометрдің дәлдік класы $A = \pm(0,2 \% X \pm 1 ^\circ\text{C})$, мұнда X — өлшеу нәтижесі. Өлшеу диапазоны: -100. +500 °C. Аспаптың көрсеткіші $X = +200 ^\circ\text{C}$. Өлшеу нәтижесінің шекті негізгі құралдық салыстырмалы дәлсіздігін бағалаңыз.

3. Кедергінің жартылай өткізгіш термометрлердің (термисторлардың) негізгі кемшіліктерін көрсетіңіз?

4. +1400 °C дейінгі диапазонда температураны түйіспелі өлшеу үшін қандай типті термोजұпты таңдау қажет?

5. Түйіспелі алдындағы инфрақызыл термометрлердің басымдықтарын атаңыз. Инфрақызыл термометрлерді қолдану мысалдарын келтіріңіз.

6. Цельсия градусымен өлшенген температура +150 °C тең. Кельвинмен өлшенген температураның мәнін анықтаңыз.

7. Қалыпты жағдайда судың қайнау температурасы +100 °C тең. Осы температураның Фаренгейт (°F) градустағы мәнін анықтаңыз.

8. Инфрақызыл термометр көмегімен 0,3 x 0,1 м өлшемі бар тікбұрышты қалыптың жазық үстіңгі бетінің температурасын өлшеу қажет. Егер қашықтық/диаметр 8:1 тең болса, температураны дұрыс өлшеу үшін ИҚ-термометрдің осы объектіге дейінгі ең ұзақ ықтимал қашықтығын анықтаңыз.

9. Сіздің пікіріңізше, кедергінің платиналы термометрдің кедергінің мыс термометрлері алдында қандай негізгі артықшылықтары бар?

10. Қысымды өлшеу бірілігі – паскаль қалай анықталады? Паскаль және бар бірліктері өзара қалай байланысқан?

11. Судың астындағы біраз деңгейдегі қысым 10 барға тең. Метрмен есептегенде (шамамен) қандай тереңдікте ол оған сәйкес келеді?

12. Әдеттегі жағдайда біздің жер шарымыздың үстіңгі бетінде g еркін құлауының үдеу мәні неге тең?

13. Қалыпты жағдайдағы 1 м³ судың салмағы қанша (шамамен)?

14. Қысымның тензометрлік түрлендіргіштің әрекет ету қағидатын түсіндіріңіз.

15. Ультра дыбыстық шығын өлшегіштердің негізгі артықшылықтары мен кемшіліктерін атаңыз.

16. Түйіспесіз режимдегі тахометрдің әрекет ету қағидатын түсіндіріңіз.

17. Сумен қамсыздандыру жүйесінің құбыр желісінің ішкі диаметрі $D = 100$ мм, ағынның қозғалу жылдамдығы тұрақты және $v = 0,2$ м/с құрайды. Ағымдық көлемдік шығынды анықтаңыз.

ҚОСЫМШАЛАР

1-қосымша

ГРЕК ӘЛПБИИ

Α	α	альфа
Β	β	бэта
Γ	Υ	гамма
Δ	δ	дельта
Ε	ε	эпсилон
Ζ	ζ	дзэта
Η	η	эта
Θ	θ	тета
Ι	ι	йота
Κ	κ	каппа
Λ	λ	лямбда
Μ	μ	мю

Ν	ν	ню
Ξ	ξ	кси
Ο	ο	омикрон
Π	π	пи
Ρ	ρ	ро
Σ	σ	сигма
Τ	τ	тау
Υ	υ	ипсилон
Φ	φ	фи
Χ	χ	хи
Ψ	ψ	пси
Ω	ω	омега

ТЕМПЕРАТУРАЛАР ШКАЛАСЫ

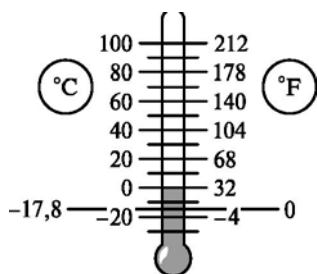
Әлемде бүгінгі күнге дейін физикалық шама - температураның бірнеше бірліктері қолданылады. SI (System International) халықаралық жүйесімен заңдастырылған және абсолютті температураны көрсететін кельвинмен (K), сондай-ақ біз үшін дағдылы Цельсия (°C) градусымен қатар Фаренгейт (°F) градус бірлігі (әсіресе, Еуропа мен Солтүстік Америкада) кең қолданылады,

П2.1-суретте Цельсия мен Фаренгейт градус шкалаларының байланысы көрсетілген.

Бір бірлікте көрсетілген температураны төменде келтірілген өрнектің көмегімен басқа бірлікке ауыстыруға болады:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1,8;$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32.$$



П2.1-сурет. Цельсия мен Фаренгейт шкалаларының арақатынасы

Мысалы, егер Фаренгейт бойынша температура $0_{\text{F}} = +257^{\circ}\text{F}$ тең болса, онда оның Цельсия градусындағы мәні $0_{\text{C}} = +125^{\circ}\text{C}$ құрайды.

Цельсия (°C) градусы өлшемі бойынша кельвинге (K) тең. Температуралардың әр түрлілігі, әр түрлі температуралық коэффициенттердің мәндері және т.с.с. сол немесе өзге жүйелерде сандық бойынша бірдей көрсетіледі.

Цельсия градусында (°C) және кельвинмен (K) көрсетілген температурала мәндерінің арақатынасы:

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15;$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15,$$

$$\text{мұнда } 0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K} = 273 \text{ K}.$$

ФИЗИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫҢ ӘР ТҮРЛІ БІРЛІКТЕРІ АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫС

ПЗ.1-КЕСТЕ

Кейбір ұлттық және метрикалық бірліктердің арақатынасы

Физикалық шама	Ұлттық бірлік	Коэффициент $\rightarrow X / \leftarrow$	Метрикалық жүйенің бірліктері
Ұзындық	Дюйм	25,4	мм
	Фут	0,305	м
	Ярд	0,914	м
	Миль	1609	м
Аудан	Шаршы дюйм	6,452	см ²
	Шаршы фут	0,093	м ²
	Шаршы миль	2,590	км ²
	Акр	4047	м ²
Көлем	Галлон	3,785	л (дм ³)
	Кварта	0,946	л (дм ³)
	Пинта	0,473	л (дм ³)
	Сұйық унция	29,573	мл (см ³)
	Текше дюйм	16,387	мл (см ³)
Салмағы	Тонна (АҚШ)	0,907	т (метрикалық)
	Фунт	0,454	кг
	Унция	28,35	г

Ұлттық бірліктермен берілген шамалардың мәндерін метрикалық жүйенің мәніне түрлендіру үшін бірінші тиісті коэффициентке көбейту қажет. Керісінше – метрикалық жүйеден ұлттық бірлікке түрлендіру үшін метрикалық бірліктермен берілген шамалардың мәндерін тиісті коэффициентке бөлу қажет. Мысалы, 2,5 пинт (АҚШ) көлемі мәнінің метрикалық жүйедегі баламасы $2,5 \cdot 0,473 = 1,1825$ л тең.

Ұлттық бірліктер арасындағы арақатынас

Физикалық шама	Бірліктер
Ұзындық	1 миль = 1760 ярд
	1 ярд = 3 фут = 36 дюйм
	1 фут = 12 дюйм
Көлем	1 галлон = 4 кварт = 231 дюйм ³
	1 кварт = 2 пинт = 32 унция
	1 сұйық унция = 1,804 дюйм ³
Салмақ	1 т (АҚШ) = 2000 фунт
	1 фунт = 16 унция
	1 унция = 0,9115 үш еселенген унция

Кейбір кең таралған бірліктерді ауыстыру*(аббревиаторалардың ашып жазылған мәнін 4-қосымшадан қараңыз)*

Физикалық шама	Өлшем бірілігі	Коэффициент → X ←	Өлшем бірілігі
Жылдамдық	с/см	0,03281	с/фут
	сағ/миль (МРН)	88	мин/фут
	с/фут	0,3048	с/м
Шығын	мин/галлон	0,0631	с/л
Қуат	ат күші (НР)	0,746	кВт
Қысым	атмосфера	1,013	бар
	бар	14,504	фунт/дюйм ²
	фунт/дюйм ²	703,07	кг/м ²
Тығыздық	г/см ³	1000	кг/м ³
	фунт/фут ³	1728	фунт/дюйм ³
	фунт/дюйм ³	27,68	г/см ³

Күшті өлшеудің әр түрлі бірліктерінің арасындағы арақатынасы

Бірліктер	1 кгс	1 дина	1 Н
$\text{г} \cdot \text{м}/\text{с}^2$	9810	1	1000
Н	9,81	10^{-5}	1

Физикалық бірліктердің халықаралық жүйесіне сәйкес қысым бірлігі ретінде паскаль (Па) қабылданған, бірақ іс жүзінде техникалық өлшеу кезінде қысымның басқа да бірліктері қолданылады, атап айтқанда метрикалық жүйенің мынадай: кгс/м², мм с. б., бар. Бұдан басқа, импорттық аспаптар кейде жүйелік емес, ұлттық бірліктермен көрсетіледі, мысалы шаршы дюймға фунттармен (PSI — Pound/Square Inch) немесе шаршы футта фунттармен (PSF — Pound/Square Feet).

Қысымды өлшеу кезінде пайдаланылатын паскаль мен басқа да бірліктер арасындағы арақатынас ПЗ.5-кестесінде келтірілген.

ПЗ.5-кесте

Қысымды өлшеудің әр түрлі бірліктері арасындағы арақатынас

Бірлікте	1 кгс/см ²	1 кгс/м ²	1 мм с. б.	1 бар	1 PSI	1 PSF
Па	98 066,5 ≈ 0,1	9,8065	133,322	10 ⁵	6896,38	47,837

1 Па қысымның біршама аз мәнін көрсететінін атап өткен жөн. Орташа және жоғары қысымды өлшеу үшін еселік бірліктер: килопаскаль — кПа (10³ Па) және мегапаскаль — МПа (10⁶ Па).

SI жүйесінің және метрикалық жүйенің бірліктері арасындағы байланыс айтарлықтай қарапайым:

$$1 \text{ бар} = 10^6 \text{ дин/см}^2 = 10^6 (\text{г} \cdot \text{см/с}^2)/\text{см}^2 = 10^5 \text{ кг/с}^2 \cdot \text{м} = 10^5 \text{ Па};$$

$$1 \text{ мбар} = 10^2 \text{ Па}.$$

ПЗ.6-кесте

Қысымды өлшеудің әр түрлі бірліктері арасындағы арақатынас

Бірліктер	PSI	кПа	мбар	мм су. б. (H ₂ O)	мм с. б. (Hg)
PSI	1,000	6,895	68,95	703,1	51,72
кПа	0,1450	1,000	10,00	101,97	7,501
мбар	0,0145	0,1000	1,000	10,197	0,7501
мм H ₂ O	0,1422	0,009806	0,09806	1,000	0,07355
мм Hg	0,01934	0,1333	1,333	13,595	1,000

Мысалы: 1 кПа = 7,501 мм с. б. немесе 1 мм с. б. = 0,1333 кПа.

ПЗ.7-кесте

Жылдамдықты өлшеудің әр түрлі бірліктері арасындағы арақатынас

Бірліктер	FPM	км/ч	FPS	MPH	м/с
FPM	1,000	0,018	0,0167	0,01136	0,00508
км/ч	54,7	1,000	0,911	0,621	0,277
FPS	60,0	1,097	1,000	0,68	0,3
MPH	88,0	1,61	1,46	1,000	0,447
Мысалы: 1 км/ч = 0,621 м/с	196,85	MPH (миль/с) немесе 1 MPH = 1,61 км/с	3,28	2,236	1,000

Шығынды өлшеудің әр түрлі бірліктері арасындағы арақатынас

Бірліктер	фут ³ /ч	л/мин	м ³ /ч	фут ³ /мин	л/с	м ³ /с
фут ³ /ч	1,000	0,472	0,028	0,017	0,00787	7,87·10 ⁻⁶
л/мин	2,119	1,000	0,06	0,035	0,0167	1,67·10 ⁻⁵
м ³ /ч	35,31	16,67	1,000	0,589	0,277	2,78·10 ⁻⁴
фут ³ /мин	60,0	28,32	1,699	1,000	0,472	4,72 ·10 ⁻⁴
л/с	127,13	60,0	3,6	2,119	1,000	0,001
м ³ /с	127 133	6 000	3 600	2 119	1 000	1,000

Мысалы: 1 л/с = 0 001 м³/с немесе 1 м³/с = 1000 л/с

**КЕЙБІР ӨЛШЕУ БІРЛІКТЕРІНІҢ
АҒЫЛШЫН ТІЛІНДЕГІ ҚЫСҚАРТУЛАРЫ**

SI — si — Square Inch — шаршы дюйм;
SF — sf — Square Feet — шаршы фут;
CI — ci — Cubic Inch — текше дюйм;
CF — cf — Cubic Feet — текше фут;
FPM — fpm — Feet per Minute — минуттағы фут;
FPS — fps — Feet per Second — секундтағы фут;
LPM — lpm — Liter per Minute — минуттағы литр;
LPS — lps — Liter per Second — секундтағы литр;
GPM — gpm — Gallon per Minute — минуттағы галлон;
GPS — gps — Gallon per Second — секундтағы галлон;
HP — hp — Horse Power — ат күші;
RPM — rpm — Rotation per Minute — минутына айналым;
PSI — psi — Pound / Square Inch — шаршы дюймдағы фунт;
PSF — psf — Pound / Square Feet — шаршы футтағы фунт;
MPH — mph — Mile per Hour — сағатына миль;
In. WC — Inch of Water Column — су бағаны дюймі;
cm WC — Centimeter of Water Column — су бағаны сантиметр;
mm WC — Millimeter of Water Column — су бағаны миллиметр;
ppm — Part-per-Million — миллионның бір бөлігі.

ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРДЫ ПАЙДАЛАНУ СИПАТТАМАЛАРЫ

Өлшеу құралдарынан тек қана белгілі бір метрикалық сипаттамаларды талап ету жеткіліксіз. Эксперименттер орындау кезінде аппаратура жұмыс қабілетін сақтайтынына және қанағаттандыратын сипаттамаларды қамтамасыз ететініне сенімді болу қажет. Себебі кейбір тапсырмаларда эксперименттерді жүргізу жағдайлары сан алуан түрлі (кейде тіпті далалық жағдайды еске түсіретін) болса, онда қолданатын өлшегіштердің пайдалану сипаттамалары кейде метрологиялықтан маңызды болуы мүмкін. Нақты өлшеуді жоспарлау кезінде эксперименттерді жүргізудің ықтимал жағдайларын анық білу және оның төлқұжаттық пайдалану сипаттамаларын ескеріп барып жабдықты таңдау қажет.

Кез келген электр техникалық немесе электронды (атап айтқанда, өлшеу) құрылғылары қалыпты пайдалану бойынша қисынды талаптарға жауап беруі тиіс. Олардың негізгілері талаптардың екі тобына жинауға болады. *Бірінші топ* – ортаның құрылғыға әсер ету сипаттамалары (оның температура әсерінен, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы, атмосфералық қысым, шаң-тозаңнан, электр магниттік сәулеленуден және т.б. әсерінен қорғануы). *Екінші топ* — құрылғының қоршаған ортаға әсері және онымен адамның қауіпсіз жұмыс істеуі (персоналдың электр қауіпсіздігі, өрт қауіпсіздігі, жарылуға қарсы қауіпсіздік, электр магниттік сәулелену деңгейі және т.б.).

Өлшеу құралдарының қоршаған ортаның әсерінен қорғалуы құрылғының жұмыс қабілетіне эксперименттердің нәтижесіне әр түрлі параметрлердің әсер ету деңгейімен сипатталуы мүмкін. Көптеген әсер етуші факторлардың ішінен ең көбінесе мыналар ескеріледі:

- қоршаған ортаның температурасы;
- ауаның салыстырмалы ылғалдылығы;
- шаң, ылғал (су), судың астында белгілі бір тереңдікте жабдықтың жұмыс істеу мүмкіндігі;
- атмосфералық қысым (аспаптың теңіз деңгейінен белгілі бір биіктікте жұмыс істеу мүмкіндігі);
- діріл, соққы;
- магниттік және электр өрістері;
- радиациялық сәуле;
- қуат беретін электр желісінің сапасы.

Кейде, сондай-ақ жалпы және қалыпты түрдің кедергісінен, агрессивті ортадан қорғалу деңгейлері, ұшқынға қарсы қауіпсіздік деңгейі (құрылғының жарылу қаупі бар орталарда жұмыс істеу мүмкіндігі) ескеріледі.

Өлшеу аппаратураларының кейбір негізгі пайдалану сипаттамаларын қарастырайық. Көптеген он жылдықтар бойында электр және электронды құрылғылардың кейбір негізгі пайдалану сипаттамаларын айқындайтын халықаралық нормативтер бар: International Protection (IP) Rating — құрылғының қоршаған ортаның шаңынан және ылғалынан қорғану индексі, сондай-ақ персоналдың құрылғымен жұмыс істеу кезінде электр қауіпсіздігі. Норматив әлем бойынша танылған және сәтті қолданылады.

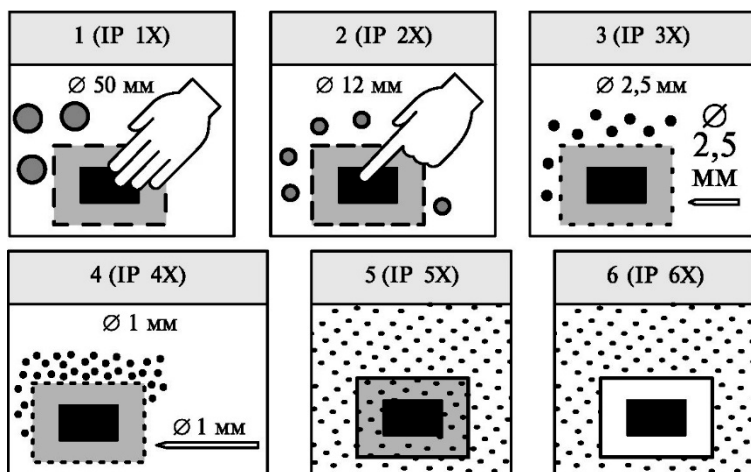
Құрылғының қатты бөлшектерден қорғалғандығы
персоналдың электр қауіпсіздігі

және

Сандар	Қорғану деңгейлері	Қорғану сипаттамалары
0	Қорғану жоқ	Құрылғының шаңнан ешбір қорғау жоқ. Персоналдың қауіпті тоқ жүретін өткізгіштермен жанасу мүмкіндігінен қорғау жоқ.
1	Ірі бөлшектерден (заттардан) қорғану	Құрылғыға диаметрі 50 мм үлкен заттардың енуінен қорғау. Алақанмен тоқ жүретін өткізгіштеріне жанасудан қорғау
2	Орта өлшемді бөлшектерден (заттардан) қорғану	Персоналдың тоқ өткізгіш бөлшектерге жанасудан қорғау. Құрылғыға диаметрі 12 мм үлкен заттардың енуінен қорғау (мысалы, саусақтар)
3	Ұсақ бөлшектерден (заттардан) қорғану	Персоналдың тоқ өткізгіш бөлшектерге құралдармен немесе саусақтарымен жанасудан қорғау. Құрылғыға диаметрі 2,5 мм үлкен заттардың енуінен қорғау (мысалы, бұрауыштар).
4	Құмнан қорғану	Персоналдың тоқ өткізгіш бөлшектерге құралдармен немесе саусақтарымен жанасудан қорғау. Құрылғыға диаметрі 1,0 мм үлкен заттар ене алмайды
5	Шаңнан қорғану	Шаң құрылғының ішіне кіре алады, бірақ құрылғының жұмыс қабілетін бұзбайтын көлемде кіруі мүмкін
6	Шаңнан толық қорғану	Құрылғының ішіне ешқандай шаң кіре алмайды

Оның талаптары бірқатар дамыған елдердің стандарттарына және халықаралық стандарттарына сәйкес келеді, мысалы DIN 400 50, BS 5490, NF C 20—010, IEC 529, NEMA, және құрылғыға 1000 В дейінгі ауыспалы тоқ және 1500 В дейін тұрақты тоқ кернеуімен таралады. Сондай-ақ, біздің елде осы нормативтің аналогы МСТ 14 254 — 80 қолданылады. IP нормативі агрессивті орталардан, қысымнан, дірілден, электр магниттік өрістерден, радиациядан және т.с.с. қорғау ескертілмеген, онда тек құрылғының шаң-тозаң мен ылғалдан қорғалуы және онымен электр қауіпсіз жұмыс істеу сипатталған. Қорғалудың нақты санаты екі санмен — IP XX белгіленеді. Белгілеудегі бірінші сан IP XX — қатты бөлшектерден қорғау (П5.1-кесте).

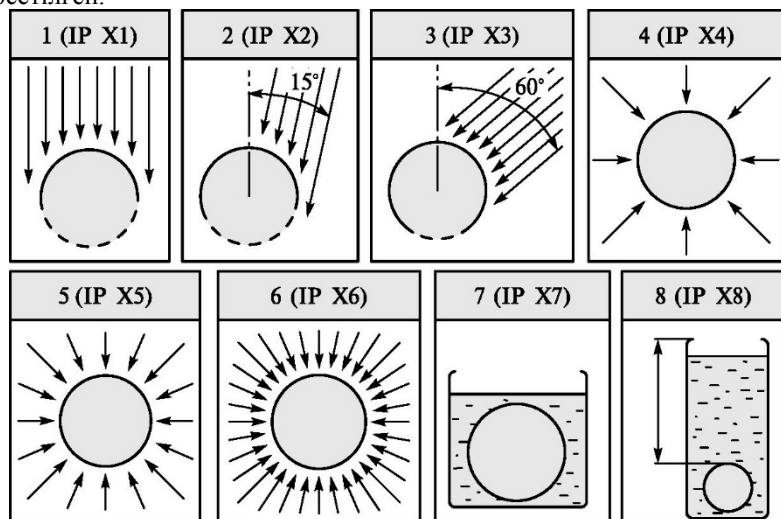
П5.1-суретте қатты бөлшектерден қорғаудың әр түрлі деңгейлері және персоналдың аспаппен жұмыс істеу кезінде электр қауіпсіздігі көрсетілген.



П5.1Сурет. Қатты бөлшектерден қорғау деңгейлері және электр қауіпсіздік көрінісі

Белгілеудегі екінші сан IP XX— ылғалдың әсерінен қорғау (П5.2-кесте)

П5.2-суретте ылғалдан (судан) қорғаудың әр түрлі деңгейлері көрсетілген.



П5.2Сурет. Ылғалдан (судан) қорғаудың әр түрлі деңгейлерінің көрінісі

Температураны өлшеудің/тіркеудің кейбір заманауи құралдары ең жоғары қорғау деңгейімен әзірленген. Мысалы, температураны ұзақ уақыт бойында тіркеуге арналған шағын сандық температура өлшеу тіркеуіштері

(Data Logger) бар, олардың қорғалу деңгейі IP 67 индекспен сипатталады. Сондай-ақ, IP 68 - шекті деңгейі бар құрылғылардың моделдері бар. Бұл олар шаңнан мүлдем қорықпайтынын және судың астында терең тереңдікте де жұмыс істей алатынын білдіреді. Мысалы, кейбіреуі 20 бар қысымды көтере алады, бұл шамамен 200 метр тереңдікке сәйкес келеді.

П5.2-кесте

Құрылғының ылғалдан (судан) қорғалғандығы

Сандар	Қорғану деңгейі	Қорғану сипаттамалары
0	Қорғау жоқ	Құрылғының ылғал шашыранды тамшыларынан ешқандай қорғау жоқ
1	Тура таматын тамшыдан қорғау	Тура таматын тамшылар құрылғының жұмыс қабілетін бұзбайды
2	Бұрыштап тиетін тамшыдан қорғау	15°дейін бұрыштап тиетін су тамшылары құрылғының жұмыс қабілетін бұзбайды
3	Бұрыштап тиетін тамшыдан қорғау	60° дейін бұрыштап тиетін су тамшыларынан құрылғы қорғалған
4	Кез келген бағытта таматын судың шашыранды тамшысынан қорғау	Кез келген жақтан бағытталуы мүмкін судың шашыранды тамшыларынан құрылғы қорғалған
5	Су ағынынан қорғау	Су ағыны (мысалы, шлангтан аққан) құрылғының жұмыс қабілетін бұзбайды
6	Судың құйылуынан қорғау	Құрылғыға судың құйылуы (мысалы, кеме палубасында) құрылғының жұмыс қабілетін бұзбайды
7	Суға батудан қорғау	Құрылғы суға толық батырылуы мүмкін, бұл ретте жұмыс қабілетін сақтайды
8	Белгілі бір тереңдікке суға батудан қорғау	Белгілі бір тереңдікте суға батырылған кезде құрылғы жұмыс қабілетін сақтайды (қысымға шыдайтын мәні жеке көрсетіледі)

ШЫҒЫНДЫ ЖАНАМА ӨЛШЕУ НӘТИЖЕЛЕРІНІҢ ДӘЛСІЗДІГІН ЕСЕПТЕУ ҮЛГІСІ

Сұйықтықтың ағымдық шығының жанама өлшеу нәтижелерінің дәлсіздігін есептеу үлгісін қарастырайық (анықталған әдіс). Осы тапсырма үшін кейбір тән болжамдарды тұжырымдайық.

А. Белгілі бір жағдайларды орындаған кезде (құбыр желісі жеткілікті ұзындықтықта түзу және толығымен сұйықтықпен толтырылған, оның қозғалысы бірқалыпты, құбыр желісінің ішкі қимасы жеткілікті ұзындықта тұрақты және т.с.с.) ағымдық шығынның мәні Q мына формула бойынша есептеледі:

$$Q = p v S = p v \frac{\pi d^2}{4},$$

мұнда p — сұйықтық тығыздығының мәні; v — ағын қозғалысының жылдамдығы; S — құбыр желісінің ішкі қимасының ауданы; d — құбыр желісінің ішкі диаметрі.

Б. Бақылау интервалы соншалықты үлкен емес, барлық шамаларды тұрақты деп есептеуге болады: $p = \text{const}$; $v = \text{const}$; $d = \text{const}$, яғни статикалық өлшеу моделін пайдаланылады. Себебі өрнекке барлық кіретін шамалар тұрақты болса, онда Q шығын мәні де тұрақты.

В. Жалпы жағдайды p , v , d шамалардың мәндері олардың дәлдік класстарымен анықталатын нақты дәлсіздіктері бар әр түрлі аспаптармен өлшенеді. Осы аралық нәтижелердің дәлсіздіктері төлқұжаттық деректер және қолданылатын аспаптардың көрсеткіштері негізінде табылуы мүмкін.

Белгілі болғандай, осындай жағдай үшін функционалдық тәуелділік (функционал түрі «өрнек») жиынтық шекті салыстырмалы дәлсіздік әрбір құраушы бастапқы шамалардың мәндерін шекті салыстырмалы дәлсіздікті анықтау сомасы ретінде табылуы мүмкін (n саны мәнінің анықтау дәлсіздігін ескермейміз):

$$\delta G = \delta p + \delta v + 2 \delta d.$$

Бастапқы өлшеу нәтижелері және аспаптардың төлқұжаттық деректері бойынша табылған бастапқы шамаларды анықтаудың шекті салыстырмалы дәлсіздігі тең деп болжамдасақ, тиісінше, $\delta_p = \pm 1\%$, $\delta_v = \pm 2\%$, $\delta_d = \pm 1,5\%$. Онда Q шығынды өлшеу нәтижелерінің S Q жиынтықты дәлсіздігі:

$$\delta_Q = \pm (1 + 2 + 2 - 1,5) = \pm 6\%.$$

Егер салыстырмалы дәлсіздік белгісіз, абсолютті дәлсіздік шектері Δx белгілі, бастапқы шамаларды өлшеу және осы өлшеудің нәтижелері X болса, салыстырмалы дәлсіздіктің шекті мәні δX , %, мына өрнектен оңай табылады:

$$\delta X_i = \frac{\Delta X_i}{X_i} 100$$

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Блинов О. М., Бельский А. М., Бердышев В. Ф. Жылу техникалық өлшеу және аспаптар: ЖОО арналған оқулық. — М.: Металлургия, 1993.
2. Веселовский О. Н., Штейнберг Я. А. Электр техника тарихы бойынша очерктер. — М.: МЭИ баспасы, 1993.
3. Электроникадағы өлшемдер: Анықтамалық/ В. А. Кузнецов, В.А.Долгов, В.М.Коневский және басқалар; В.А.Кузнецова ред. Басқ. — М.: Энергоатом баспасы, 1987.
4. Электр эне электрлік емес шамаларды өлшеу: ЖОО арналған оқу құралы / Н. Н.Евтихийев, В.Н.Скугоров, В. Ф. Папуловский және басқалар; Н.Н.Евтихьева ред.басқ. — М.: Энергоатом баспасы, 1990.
5. Котур В. И., Скомская М. А., Храмова Н. Н. Электрлік өлшеу және электрлік өлшеу техникасы: Техникумдарға арналған оқулық. — М.: Энергоатом баспасы, 1986.
6. Мейзда Ф. Электронды өлшеу аспаптары және өлшеу әдістері: Ағылшын тілінен аударылған — М.: Мир, 1990.
7. Электрлік өлшеу әдістері: ЖОО арналған оқу құралы / Л. Г. Журавин, М.А. Мариненко, Е.И. Семенов және басқалар; Э.И. Цветкова ред басқ. — Л.: Энергоатом баспасы, 1990.
8. Метрология электр өлшеу техникасы: ЖОО арналған оқу құралы/ В. И.Диденко, И.Н.Желбаков, В.Ю. Кончаловский және басқалар; В.Н.Малиновский ред. басқ. — М.: Изд-во МЭИ, 1991.
9. Метрология саласындағы негіз қалайтын стандарттар. — М.: Стандарттар баспасы, 1986.
10. Метрология негізі және электрлік өлшеу : Техникумдарға арналған оқулық/ Б.П.Авдеев, Е.М.Душин, Е.М. Антонюк және басқалар; Е.М.Душина ред басқ. — М.: Энергоатом баспасы, 1987.
11. Преображенский В. П. Жылу техникалық өлшеу және аспаптар: ЖОО арналған оқулық. — 3-басылым, қайта өңделген. — М.: Энергия, 1978.
12. Тюрин Н. И. Метрологияға кіріспе. — М.: Стандарттар баспасы, 1973.
13. Чистяков В. С. Жылу техникалық өлшемдер бойынша қысқаша анықтамалық. — М.: Энергоатом баспасы, 1990.
14. Электрлік өлшеу: Техникумдарға арналған оқулық / Р.М.Демидова-Панферова, В. Н. Малиновский, В. С. Попов және басқалар. В. Н. Малиновский ред. басқ. — М.: Энергоатом баспасы, 1982.

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз	3
Кіріспе	6
1-тарау. Метрологияның және өлшеу техникасының негіздері	14
1.1. Өлшеу	14
1.1.1. Физикалық шама	15
1.1.2. Өлшеу құралдарының түрлері	15
1.1.3. Өлшеу түрлері мен әдістері	16
1.2. Өлшеулердің біртұтастығы	18
1.2.1. Физикалық шамалардың бірліктері	18
1.2.2. Стандарттау	23
1.2.3. Эталондар	25
1.3. Өлшеу дәлдігі	27
1.3.1. Өлшеу нәтижесінің қателігі	27
1.3.2. Өлшеу құралдарының қателіктері	29
1.3.3. Өлшеу құралдарының дәлдік кластары	30
1.3.4. Негізгі және қосымша қателіктер	33
1.3.5. Әдістемелік қателік	37
1.3.6. Өзара әрекеттесу қателігі	39
1.3.7. Динамикалық қателік	41
1.3.8. Субъективтік қателік	43
1.4. Өлшеу нәтижелерін өңдеу	44
1.4.1. Тікелей өлшеулерді өңдеу	45
1.4.2. Көпреттік тікелей өлшеулер	47
1.4.3. Жанама өлшеулерді өңдеу	48
Жанама өлшеу нәтижесінің қателігін есептеу	50
2-тарау. Электр сигналдары мен тізбектерінің негізгі сипаттамалары	
Периодтық сигналдардың параметрлік көрсетілімі	53
2.1.1. Кернеулер мен токтар	55
2.1.2. Амплитуда мен пішін коэффициенттері	56
2.1.3. Қуат K_M және ток ϕ коэффициенті	57
2.1.4. Қуат пен энергия	58
2.1. Периодты сигналдардың функционалдық көрсетілімі	59
2.2.1. Кернеулер мен токтар	59
2.2.2. Қуат пен энергия	60
2.2.3.	
Қуат коэффициенті K_M мен $\cos \phi$	62
2.2. Үшфазалы электр тізбектері	62
2.3.1. Үшфазалы тізбектердегі кернеулер мен токтар	62
2.3.2. Үшфазалы тізбектердегі қуат пен энергия	64
2.4. Кешенді кедергілер	64
2.4.1. Фазалық жылжу	65

2.4.2. Мықтылық пен жоғалту бұрышының тангенсіі	67
2.5. Сигнал формасының бейсинусоидтығы	67
2.5.1. Параметрлік көрсетілім	67
2.5.2. Функционалдық көрсетілім	68
2.6. Электрэнергияның сапасы	71
3-тарау. Аналогтық электрөлшеуіш аспаптар	74
3.1. Жалпы мәліметтер	74
3.2. Электрмеханикалық өлшеу аспаптары	74
3.2.1. Магнитэлектрлік жүйенің аспаптары	75
3.2.2. Түзетуші жүйенің аспаптары	78
3.2.3. Термозлектрлік жүйенің аспаптары	80
3.2.4. Электрмагнит жүйесінің аспаптары	82
3.2.5. Электрдинамикалық жүйе аспаптары	84
3.2.6. Электростатикалық вольтметрлер	87
3.2.7. Индукциялық жүйе аспаптары	89
3.3. Электрондық өлшеу аспаптары	94
3.3.1. Айнымалы кернеудің электрондық вольтметрлері	94
3.3.2. Түзеткіштер (детекторы)	95
3.3.3. Электрондық өлшеу аспаптарының ерекшеліктері	102
3.4. Сигнал түрлерінің аспап көрсеткіштеріне әсеру	102
3.4.1. Тұрақты құрамдасы жоқ сигнал	103
3.4.2. Сигнал — айнымалы және тұрақты құрамдастарының қосындысы	105
4-тарау. Электронды-сәулелік осциллограф	110
4.1. Электронды-сәулелік осциллограф құрылғысы	110
4.1.1. Тік және көлденең ауытқу арналары	111
4.1.2. Электронды-сәулелік түтік	112
4.1.3. Екіарналы электронды-сәулелік осциллографтар	114
4.2. Электронды-сәулелік түтік экранында кескіннің қалыптасуы	114
4.2.1.	114
Сызықтық жайма режимі ($Y-t$ режимі)	114
4.2.2. Y — Х режимі	118
4.2.3. Растрлы режим ($Y-X-Z$ режимі)	122
4.3. Осциллографиялық өлшемдер метрологиясы	123
4.3.1. Инструменталдық қателік	123
4.3.2. Әсерлесудің қателігі	126
4.3.3. Субъективті қателік	131
4.4. Өлшеу нәтижелерінің қателіктерін бағалау	132
4.4.1. Сызықтық жаймалау режимі ($Y-t$ режимі)	132
4.4.2. $Y-X$ режимі	136
4.5. Электронды-сәулелік осциллограф мысалы	138
5-тарау. Аналогты әдістер мен тіркеу қызметтері	141

5.1.	Жалпы ақпарат.....	141
5.2.	Өздігінен жазатын аспаптар	142
5.3.	Жарықсәулелік осциллографтар	148
5.4.	Өлшеуіш магнитографтар	151
5.5.	Аналогтық жаттаушы осциллографтар	154
5.6.	Аналогты тіркеуіштердің мүмкіндіктерін салыстыру	156
6-тарау.	Цифрлық өлшеуіш аспаптар.....	158
6.1.	Цифрлық әдістер мен өлшеу құралдары	158
6.1.1.	Аналогты-цифрлық түрлендіргіштің сипаттамалары.....	159
6.1.2.	Аналогты-цифрлық түрлендіру әдістері	163
6.2.	Цифрлық жиілік өлшегіштер	166
6.2.1.	Жиілік өлшеу режимі.....	167
6.2.2.	Период өлшеу режимі.....	171
6.2.3.	Жұмыс режимін таңдау	174
6.2.4.	Цифрлық жиілік өлшегіш мысалы.....	176
6.3.	Цифрлық вольтметрлер мен мультиметрлер	177
6.3.1.	Цифрлық вольтметр құрылымы.....	177
6.3.2.	Цифрлық мультиметр құрылымы	179
6.4.	Аспаптарды таңдау ерекшеліктері.....	181
6.4.1.	Метрологиялық сипаттамалары бойынша аспаптарды таңдау.....	181
6.4.2.	Өлшеу диапазонын таңдау	185
7-тарау.	Цифрлық тіркеу мен сигналдарды талдау.....	189
7.1.	Жалпы мәлімет	189
7.2.	Цифрлық өлшеуіш тіркеу	190
7.2.1.	Цифрлық өлшеуіш тіркеушінің құрылғысы	190
7.2.2.	Сигналды дискреттеу, кванттау және қалпынқа келтіру	191
7.2.3.	Тіркеу интервалының тапсырмасы.....	195
7.3.	Сигналдарды цифрлық талдау	200
7.3.1.	Талдау саласы	201
7.3.2.	Уақытша салада талдау.....	202
7.3.3.	Жиілік саласындағы (спектральді) талдау	208
7.3.4.	Электр тұтыну параметрлерін есептеу	209
7.4.	Типтік тіркеуіш/талдағыштардың сипаттамасы	212
7.4.1.	Электр тұтыну параметрлерінің тіркеуіштері/талдағыштары	212
7.4.2.	Мини-логгерлер.....	215
7.4.3.	Компьютерлік тіркеу және талдау құрылғылары.....	216
7.5.	Тіркеу және талдау нәтижелерінің мысалдары	217
8-тарау.	Бейэлектрикалық шамаларды электрлік өлшеу.....	222

8.1. Температураны өлшеу	222
8.1.1. Өлшеудің байланысты әдістері мен құралдары.....	224
8.1.2. Өлшеудің байланыссыз әдістері мен құралдары	239
8.2. Қысымды өлшеу	249
8.2.1. Негізгі ұғымдар	249
8.2.2. Қысымды өлшеу құралдары.....	251
8.3. Заттек ағыны қозғалысының жылдамдығын және оның шығынын өлшеу.....	256
8.3.1. Негізгі ұғымдар	256
8.3.2. Өлшеу әдістері мен құралдары	257
Қосымшалар.....	269
1-қосымша. Грек алфавиті	269
2-қосымша. Температуралар шкаласы.....	270
3-қосымша. Физикалық шамалардың әр түрлі бірліктері арасындағы байланыс.....	271
4-қосымша. Кейбір өлшеу бірліктерінің ағылшын тіліндегі қысқартулары.....	275
5-қосымша. Өлшеу құралдарды пайдалану сипаттамалары.	276
6-қосымша. Шығынды жанама өлшеу нәтижелерінің дәлсіздігін есептеу үлгісі.....	280
Пайдаланылған әдебиеттер.....	281

Оқу құралы

Панфилов Владимир Александрович

Электрлік өлшеу

Оқулық

10-басылым, стереотиптік

Редактор *Л. Л. Жданова*

Техникалық редактор *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерлік беттеуа: *Н.Н.Лопашова*

Корректорлар *В.В. Борисова, М.В. Дьяконова*

Басл. № 110105797. Басып шығаруға 07.07.2015 қол қойылған. Формат 60 х 90/16.

Гарнитура «Таймс». Қағаз офс. № 1. Офсеттік баспа. Усл. печ. л. 18,0.

Тираж 1 000 дана. Тапсырыс №

« «Академия» баспа орталығы» ЖШҚ. www.academia-moscow.ru 129085, Мәскеу, Мира даңғылы, 101В, 1-б.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлық-эпидемиологиялық қорытынды 2015 жылғы 25 мамырдағы № РОСС RU. АЕ51. Н 16679

Баспамен ұсынылған электронды тасығыштардан басылған, «Саратов полиграфкомбинат» ААҚ. www.sarpk.ru 410004, Саратов қаласы, Чернышевск көшесі, 59.