

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық
техникалық университеті

Т. Түсеев, К.Қ. Макешева

БАҚЫЛАУ-ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫ

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2013

ЖОК 681.2 (075.8)

ББК 34.9 я 73

Т 90

Т 90 Түсеев Т., Макешева К.Қ. Бақылау-өлшеу құралдары: Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТУ, 2013. – 170 б.

Сурет – 85. Кесте – 3. Библиогр. – 9 атау.

ISBN 978-601-228-492-8

Оқу құралында өлшеу жүйесінің негізгі ұғымдары, құралдары, тәсілдері, сондай-ақ түрлі электрлік емес шамалардың ерекшеліктері қарастырылған. Құрылғы жөнінде, олардың қолданылуы, қосылу сұлбалары және өлшеу құралдары мен өлшеу түрлендіргіштерінің қателіктері туралы мәліметтер берілген. Сонымен қатар, микропроцессорлық құралдардың негізгі элементтері келтірілген.

Оқу құралы 050716 – «Аспапжасау» мамандығы бойынша оқитын бакалаврлар және ақпараттық-өлшеу техникасы мен технологиясы саласына мамандандырылатын жоғары оқу орындары студенттеріне арналған.

ЖОК 681.2 (075.8)

ББК 34.9 я 73

Пікір жазғандар:

Нұрманов М.К., ф-м.ғыл.канд, профессор, ҚазҰТУ;

Бейсембаев А.А., техн.ғыл.канд., доцент, ҚазҰТУ.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің
2013 жылғы жоспары бойынша басылды.

ISBN 978-601-228-492-8

© Түсеев Т.,

Макешева К.Қ. 2013

© ҚазҰТУ, 2013

КІРІСПЕ

Қазіргі кәсіпорындардың бақылау – өлшеу жабдықтарымен жарақтанғандығы, оның қолданылу тиімділігі әртүрлі өнеркәсіп салаларының даму деңгейлерін анықтайды. Радиотехника, электротехника, электроника сияқты экономика салаларында өлшеу – барлық еңбек шығынының 50%-ын құрайды.

Технологиялық циклдердің күрделенуі, үлкен өлшемді параметрлер мен физикалық шамаларды бір мезгілде анықтау қажеттігін тудырды. Өйткені, өлшеу құралдары мен жүйесінің дәлдік және тез әрекеттілігінің ұлғаюы, динамикалық өлшеудің рөлі өсті. Кәсіпорындарда автоматты бақылау жүйесінің негізі нормативтік метрологиялық сипаттағы техникалық құралдар – өлшеу түрлендіргіштері (датчиктер) болып саналады.

Оқу құралында кәсіпорындар мен зерттеулер нәтижесінде жиі кездесетін физикалық шамаларды өлшеуге арналған өлшеу жүйесі мен құралдардың түрлері қарастырылған.

Бірінші бөлімде – өлшеу құралдары мен өлшеу қателіктерінің жіктелуі және өлшеу құралдарының негізгі метрологиялық сипаттамалары көрсетілген. Өлшеу жүйесінің негізгі құраушылары, өлшеу нәтижелерін бағалау мәселелері келтірілген.

Екінші бөлімде – өлшеу түрлендіргіштерінің түрлері мен қателіктері, қосу сұлбаларының, негізгі сипаттамалары берілген.

Үшінші және төртінші бөлімдерде – параметрлік және генераторлық датчиктердің физикалық негіздері, құрылғысы мен жұмыс принциптері, негізгі метрологиялық сипаттамалары түсіндірілген.

Бесінші бөлімде – микропроцессорлық техника негізіндегі қызмет атқарушы өлшеу жүйелерінің құрылу мысалдары келтірілген.

1. ФИЗИКАЛЫҚ ШАМАЛАРДЫ ӨЛШЕУДІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

1.1. Өлшеу құралдарының жіктелуі

Өлшеу құралдары (ӨҚ) – белгілі уақыт аралығында өлшемі тұрақты физикалық шама бірлігін беретін немесе сақтайтын, қалыптастырылған сипаттамасы бар өлшеулер жүргізуге арналған техникалық құрал. Бұл анықтамадан мынаны көруге болады: біріншіден, физикалық шама бірлігін сақтай алады; екіншіден, сақталған бірлік өлшемінің тұрақтылығы. Осы маңызды факторлар – өлшеудің орындалуын негіздейді, яғни техникалық құралды өлшеу құралына айналдырады. Өлшеу процесі кезінде бірлік өлшемі қалыптыдан өзгерсе, онда мұндай құралмен қажетті дәлдіктегі өлшеу нәтижесін алу мүмкін емес. Яғни, осы мақсатқа арналған техникалық құрал өлшемі, уақытқа байланысты өзгермейтін бірлікті сақтай алатын жағдайда ғана өлшей алады. Өлшеу құралдары – қолданылуына және метрологиялық қызметтеріне қарай жіктеледі. ӨҚ қолданылуы бойынша – *өлшеуіштер, өлшеу түрлендіргіштері, өлшеу құралдары, өлшеу қондырғылары және өлшеу жүйелері* болып жіктеледі.

Өлшеуіш – мәндері белгіленген бірлік пен қажетті дәлдікте өрнектелетін бір немесе бірнеше берілген өлшемдердің физикалық шамасын беретін не сақтайтын өлшеу құралы.

Өлшеуіш түрлері.

Өлшеу түрлендіргіштері – өлшенетін шаманы басқа шамаға немесе өңдеуге ыңғайлы өлшеу сигналына түрлендіретін, қалыптандырылған сипаттамасы бар техникалық құрал. Бұл түрлену – берілген дәлдікпен орындалып, түрлендіргіштің кіріс пен шығыс шамалары арасындағы қажетті функционалдық тәуелсіздікті қаматамасыз етуі қажет. Өлшеу түрлендіргіші қандайда бір өлшеу құралының құрамына кіруі

немесе олармен бірге қолданылуы мүмкін. Өлшеу түрлендіргіштері әртүрлі белгілері бойынша жіктелуі мүмкін.

Мысалы, түрлену сипатына қарай:

- электрлік шаманы – электрлікке (кернеу бөлгіштер, өлшеу трансформаторлары, т.б.);

- магниттік шамаларды – электрлікке (өлшеу катушкалары, феррозондтар, Холл, Гаусс эффектiлерiне негiзделген түрлендіргіштер, асқын түрлендіргіштер, т.б.);

- электрлік емес шамаларды электрлікке (термо және тензотүрлендіргіштер, реостаттық, индуктивтік, сыйымдылықтық, басқа да түрлендіргіштер);

- өлшеу тізбегіндегі орны мен қызметтері бойынша: біріншілік, аралық, масштабтық және беруші түрлендіргіштер.

Өлшеу құралы – белгіленген диапозонда өлшенетін физикалық шама мәнін алуға арналған құрылғы.

Өлшеу құралдары төмендегіше жіктеледі:

- өлшенетін шаманың тіркелу түріне қарай – аналогтық және сандық;

- қолданылуы бойынша – амперметр, вольтметр, жиілік өлшегіш, фазометр, осциллограф, т.б.;

- арналуына қарай – электрлік және электрлік емес (магниттік, жылулық, химиялық, т.б.) физикалық шамаларды өлшейтін;

- әрекеті бойынша – интегралдаушы, дифференциалдаушы;

- өлшенетін шама мәнін индикациялау тәсілі бойынша – көрсетуші, ескертуші және тіркеуші;

- өлшенетін шаманың түрлену тәсілі бойынша – тікелей бағалау және салыстыру үшін;

- құрастырмасы және қолданылуы бойынша – сызықтық, тасымалдаушы, тұрақты;

- сыртқы әсерлерден қорғалғандығына байланысты – қарапайым, ылғал, газ, шаңнан қорғалған, герметикалық, жарылысқа қауіпсіз, т.б.

Өлшеу қондырғылары (ӨҚ) – бір жерде орналасқан бір немесе бірнеше физикалық шамаларды өлшеуге арналған функционалды біріккен өлшеуіштердің, өлшеу құралдарының, өлшеу түрлендіргіштерінің жиынтығы. Тексеруге қолданылатын өлшеу қондырғысы – *тексеруші қондырғы*, ал эталон құрамына кіруші – *эталондық қондырғы* деп аталады. Кейбір үлкен өлшеу қондырғыларын – *өлшеу машиналары* деп атайды. Мысалы, олар электротехникалық материалдардың меншікті кедергісін өлшейтін, магниттік материалдарды сынақтан өткізетіндер.

Өлшеу жүйесі (ӨЖ) – бақыланатын объекттің бір немесе бірнеше физикалық шамаларын өлшеу мақсатында, объекттің әр нүктесінде орналасқан және түрлі мақсаттағы сигналдарды өңдейтін өлшеу құралдарының, ЭЕМ, т.б. техникалық құралдардың жиынтығы. Белгіленуі бойынша ӨЖ – ақпараттық, бақылаушы, басқарушы, т.б. болып бөлінеді. Мысалы, радионавигациялық жүйе – бір-бірінен қашық орналасқан кеңістікке келтірілген өлшеу-есептеуіш жиынтықтан тұратын түрлі объектілердің орналасқан жерін анықтау үшін қолданылады.

Өлшеу-есептеуіш құралы (ӨЕК) – өлшеу жүйесінің құрамында нақты жұмыс атқаратын қосымша құралдар мен ЭЕМ-ның функционалды жиынтығы.

Метрологиялық қызметтері бойынша ӨЖ – эталондар және жұмысшы өлшеу құралдары болып бөлінеді.

Физикалық шаманың эталондық бірлігі – бірлікті тудыратын немесе сақтап, тексеру сұлбасы бойынша төмен тұрған өлшеу құралдарына беретін, әрі эталонда орнатылған өлшеу құралы. Эталон құрастырмасы – оның қасиеттері және бірліктің туындау тәсілі берілген физикалық шама табиғаты мен берілген өлшеу аясында өлшеу техникасының даму деңгейімен анықталады. Эталон – кем дегенде, бір-бірімен тығыз байланысты маңызды белгілерге – өзгеріссіздікке, қайта өндірілгіштік пен салыстырмалылыққа ие болуы керек.

Өзгеріссіздік – ұзақ уақыт бойы физикалық шама бірлігін, оның туындатқан өлшемінен өзгертпей ұстап тұратын эталон қасиеті. Мұндай жағдайда сыртқы әсерге тәуелді барлық өзгерістер, нақты өлшенетіндей шамалардың белгілі функцияларымен қатаң анықталуы қажет. Бұл талаптардың іске асуы – физикалық жағынан тұрақты, негізделген табиғи эталондарды жасау идеясын тудырды.

Қайта өндірілгіштік – өлшеу техникасы дамуының қазіргі деңгейі үшін ең аз қателігі бар физикалық шама бірлігінің көшірмесінің мүмкіндігі.

Салыстырмалылық – өлшеу техникасы дамуының қазіргі деңгейі үшін ең жоғары дәлдіктегі екінші эталондар, ең алдымен дәлдеу сұлбасы бойынша, төменде тұрған басқа өлшеу құралдарының эталонымен салыстыруды қамтамасыз ететін мүмкіндік.

Эталондар, бағыну қатары бойынша – *халықаралық, алғашқы, екінші эталондарға* бөлшектенеді.

Халықаралық эталон – халықаралық келісім бойынша жаңадан ендірілетін және сақталатын ұлттық эталондармен үйлесу үшін, халықаралық негізде қабылданған эталон. Халықаралық эталондар Парижге жақын маңдағы Севр қаласында орналасқан Халықаралық өлшемдер және салмақтар бюросында сақталынады. Бұл әртүрлі елдердің ең ірі метрологиялық лабораторияларының алғашқы эталондарымен салыстыру үшін қызмет көрсетеді.

Алғашқы (ұлттық) эталондар – ел үшін бастапқы қызмет көрсететін ресми шешіммен танылған эталондар. Олар әртүрлі елдердің ұлттық лабораторияларында сақталынады, әрі осы лабораторияларда екінші эталондарды калибрлеуге арналған. Негізінде бұл анықтама «мемлекеттік эталон» ұғымымен дәл келеді. Бұл, мемлекеттік эталон мен ұлттық эталон терминдерінің бір ұғымды қамтып көрсететіні туралы куәландырады. Сол себепті, «Ұлттық эталон» термині жеке мемлекеттерге тәуелді эталондармен салыстыру кезінде

халықаралық эталонмен немесе бірнеше елдердің «айналма» деп аталатын эталондарымен салыстыру кезінде қолданылады.

Екінші эталондар – бірлік өлшемдерін тікелей алғашқы эталоннан алатын эталондар. Олар әртүрлі салалық сынау зертханаларында сақталып, бақылау және жұмыс эталондарын калибрлеу үшін қолданылады.

Жұмыстық өлшеу құралдары – бұл, өлшемдер тәжірибесінде қолданылатын басқа да өлшеу құралдарына физикалық шамалар өлшемін берумен байланысы жоқ өлшеу құралы. Жұмыстық өлшеу құралдары өз кезегінде – *негізгі* және *қосалқы* болып бөлінеді.

Негізгі өлшеу құралдары – мәні өлшеу мақсатына сәйкес алынуы керек физикалық шамаларды өлшеу құралы.

Қосалқы өлшемдер құралдары – қажетті дәлдікте өлшеу нәтижесін алу үшін, өлшеу объектісіне физикалық шаманың тигізетін әсері ескерілетін өлшеу құралы (мысалы, газдың көлемдік шығынын өлшеу кезінде газ температурасын өлшейтін термометр).

1.2. Өлшеу құралдарының метрологиялық сипаттамалары

Барлық өлшеу құралдарының өзара салыстыруға мүмкіндік беретін ортақ қасиеттері бар: метрологиялық, қолдану кезіндегі, ақпараттық, т.б. ӨҚ – жеке түрлері тиісті нормативтік-техникалық құжаттарда көрсетілетін ерекше қасиеттерге ие. Сондықтан, метрологиялық сипаттамалары бойынша қолданылатын өлшеу құралдарына енгізілетін қателік құраушылары, тиянақты ерекшеленіп бағалануы қажет.

Өлшеу құралының метрологиялық сипаттамасы – өлшеу құралының нәтижесі мен қателіктеріне әсер ететін қасиеттерінің бірі. ӨҚ әрбір түрінің өз метрологиялық сипаттамалары белгіленеді. Нормативтік-техникалық құжаттармен белгіленген

метрологиялық сипаттамалар – мөлшерленетін, ал экспериментальды анықталатыны – нақты метрологиялық сипаттамалар деп аталады.

Метрологиялық сипаттамаларға – өзгеру функциялары, өлшеу құралының қателігі, сезгіштік, шкаланың бөліну бағасы, сезгіштік табалдырығы, өлшеу аралығы, көрсеткіш вариациясы, т.б. жатады. Олардың дайындау кезінде қаншалықты шыдамды және пайдалануда тұрақты болуына, ӨҚ көмегімен алынған нәтижелер дәлдігі тәуелді.

Түрлену функциясы (өрнектеудің статикалық сипаттамасы) – өлшеу құралының шығыс және кіріс сигналдарының ақпараттық параметрлерінің арасындағы функциялық тәуелділігі. Өлшеу құралына қолданылатын түрлендіру функциясы мен осы құралға бекітілген ғылыми-техникалық құжаттамасы – құралдың *номиналды түрлену функциясы* деп аталады. Өрнектеудің номиналды статикалық сипаттамасы кіріс шаманың мәнін, шығыс мәні бойынша есептеуге мүмкіндік береді. Ол аналитикалық, кестелік немесе график түрінде беріледі.

ӨҚ қателігі – өлшеу құралының көрсеткіші мен өлшенетін шаманың (нақты) шын мәні аралығындағы айырымды анықтайтын ең маңызды метрологиялық сипаттама. Өлшеу көрсеткіші ретінде, оның номинал мәні алынады.

ӨҚ сезгіштігі – шығыс сигналы өзгерісінің, өлшенетін шаманың өзгерісіне әкелетін кіріс сигналының өзгерісіне қатынасын анықтайтын өлшеу құралының қасиеті. Ол – абсолютті және салыстырмалы сезгіштік болып бөлінеді. Абсолютті сезгіштік, мына формула бойынша анықталады:

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (1.1)$$

Салыстырмалы сезгіштік мына формула бойынша анықталады:

$$S_{\text{сал}} = \frac{\Delta Y}{(\Delta X / X)},$$

мұндағы ΔY – шығыс сигналының өзгерісі, ΔX – өлшенетін шама өзгерісі, X – өлшенетін шама.

Сезгіштікті сызықты емес статикалық өрнектеулерде X -ке тәуелді, ал сызықтыда – тұрақты болып келеді.

Тұрақты сезгіштікте шкала өлшегіш аспаптарында бірқалыпты, яғни көрші межелік бөліністерінің арасындағы қашықтық бірдей.

Шкала бөлігінің құны (құрал тұрақтысы) – ӨҚ-ның екі көрші межелік белгілеріне сәйкес шама мәнінің айырымы. Бірдей өлшемді межелікті құралдардың бөлу бағасы тұрақты болады. Бірқалыпты емес межелігі бар құралда бөлу құны – шкаланың әртүрлі бөлімшелерінде әрқалай, осы жағдайда бөлудің ең төменгі құны мөлшерленеді. Шкала бөлігінің құны құралдың бір межелік бөлінісіне келетін өлшенетін шама бірлігінің санына тең, сонымен бірге ол абсолютті сезгіштік арқылы анықталады:

$$C = \frac{1}{S}. \quad (1.2)$$

Сезгіштік табалдырығы – берілген құрал мен оның өлшемінің өзгерісі іске асатын мәннен бастап, физикалық шаманың өзгерісінің ең кіші мәні. Сезгіштік табалдырығы, кіріс шама бірліктерімен өрнектеледі.

Өлшем ауқымы – ӨҚ қателігінің, жіберілетін қателіктері аралықтарындағы шама аймағы. Астыңғы және үстіңгі жақтарынан (сол және оң жақтарынан) шектейтін шама мәндері сәйкесінше өлшеу ауқымының, төменгі және жоғарғы шектері деп аталады. Өлшеу дәлдігін жоғарылату үшін ӨҚ-ның өлшеу ауқымын, бірнеше төменгі диапазондарға бөлшектеуге болады. Бір диапазоннан екіншісіне өткенде, негізгі қателіктің кейбір құраушылары азаяды, бұл – өлшеу дәлдігін арттырады. Қателіктер қалыптастырылғанда, әр диапазондардың өз қателік шектері жіберіледі. Бастапқы және соңғы шкала мәндерімен

шектелетін аспаптың шкала мәндерінің аймағы – *көрсеткіш диапазоны* деп аталады.

Өлшеу нәтижелерін сандық код түрінде беретін өлшеу құралдары үшін кіші разрядты бірлік құны, шығыс код түрі (екілік, екілік-ондық) мен код разрядтарының саны көрсетіледі.

Өлшеу құралының зерттеу объектісінің жұмыс тәртібіне әсерін бағалау үшін толық кіріс кедергі ($Z_{вх}$) көрсетіледі. Бұл кедергі, зерттеу объектісінің пайдаланатын қуатына ықпал етеді.

Өлшеу құралына жіберілетін жүктеме – толық шығыс кедергіге ($Z_{вых}$) тәуелді. Шығыс кедергі аз болған сайын, өлшеу құралының жүктемесі үлкен болады.

Көрсеткіштер вариациясы – өзгеріссіз сыртқы шарттарда құралдың шығыс белгісінің ең үлкен вариациясы. Ол құралдардың түйіндеріндегі, механикалық және магнитті гистерезистік элементтерде, т.б. үйкеліс пен люфт әсері болып саналады.

Шығу белгісінің вариациясы – кіріс шаманың тиісті оңы мен сол жағынан кіретін мәні кезінде, нақты мәніне сәйкес келетін шығыс белгі мәндері арасындағы айырым.

Динамикалық сипаттама, яғни ӨҚ-ның шығыс сигналының уақыт бойынша өзгерісі: кіріс сигнал параметрлері, сыртқы әсерлер, жүктемеге тәуелділігін анықтайтын өлшеу құрылғыларының инерциялық қасиеттерінің сипаттамасы. Оларға – өлшеу құралының жұмысын көрсететін дифференциалды теңдеулер; айнымалы және импульсті айнымалы функция, амплитудалық және фазалық сипаттамалар, беріліс функциясы жатады.

Өлшеу құралдарының динамикалық сипаттамасы, динамикалық қателікті анықтайды. Өлшеу құралдарының динамикалық сипаттамасы – өзгермелі физикалық шаманың өлшеу кезінде пайда болатын қателігі.

Мөлшерленетін метрологиялық сипаттама – нормативтік құжатпен белгіленетін өлшеу құралдарының метрологиялық сипаттамаларының жиынтығы. Осы жиынтықты құрайтын мөлшерленетін метрологиялық сипаттамалар ӨҚ-ның нақты

қасиеттерін қамтып көрсетуі және олардың номенклатурасы, қойылған өлшеу міндетін орындауға қажетті ӨҚ-ның жұмыс шарттарында өлшеу қателігінің құраушысын бағалау үшін жеткілікті болуы қажет. ӨҚ-ның мөлшерленетін метрологиялық сипаттамаларының ортақ тізімі, олардың ұсынысының формасы және мөлшерлеу әдістерінің ГОСТтарымен бекітіледі. Оған мыналар кіреді:

- өлшеу шектері, шкала шектері;
 - аналогтық құралдың бірдей өлшемді межелігін бөлу немесе көпмәнді өлшемді бөлуді бағалау, бірқалыпты емес межелік кезінде – ең төменгі бөлу бағасы;
 - шығыс коды, код разрядтарының саны, ең кіші разрядты сандық ӨҚ-ың нақтылы бағасы;
 - бір мәнді өлшемнің номинал мәні, өлшеу түрлендіргіштері өрнектеуінің номиналды статикалық сипаттамалары;
 - ӨҚ қателігі;
 - аспаптың не түрлендіргіштің шығыс сигналының көрсеткіш вариациясы;
 - өлшеу құралының толық кіріс кедергісі, өлшеу түрлендіргіштің толық шығыс кедергісі;
 - өлшеу түрлендіргішінің немесе өлшеуіштің шығыс сигналының информативтік емес параметрлері;
 - ӨҚ-ның динамикалық сипаттамасы әсер ету функциясы.
- Өлшеу құралдарын пайдалану кезінде метрологиялық сипаттамалардан басқа, метрологиялық емес сипаттамалар да маңызды: Олар – сенімділік көрсеткіштері, электртөзімділік, оқшаулау кедергісі, климаттық және механикалық әсерлерге орнықтылық, жұмыс тәртібін орнату уақыты, т.б.

Өлшеу құралының сенімділігі – бұл берілген уақыт мерзімінде белгілі жұмыс жағдайларында ӨҚ-ның мөлшерленген сипаттамаларын сақтау қабілеті. Құрал сенімділігінің негізгі белгілері – ықтималдық және орташа тоқтаусыз жұмыс істеу ұзақтығы болып есептеледі.

Бұзылусыз жұмыстың ықтималдығы – белгілі уақыт ағымында құралдың ақауларының болмау ықтималдығымен анықталады.

Орташа ұзақтық – құралдың жұмыс уақытының осы уақыттағы ақаулар санына қатынасы.

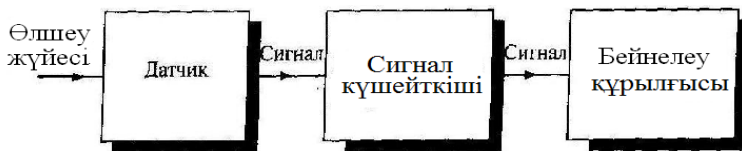
1.3. Өлшеу жүйелері. Өлшеу жүйесінің (ӨЖ) негізгі бөліктері

Негізінен ӨЖ – 3 негізгі бөліктен тұрады.

Сезгіш элемент немесе *датчик* – өлшенетін шамамен сандық сабақтас сигнал беретін элемент. Мұндай элементтер өлшелетін объект туралы мәліметтерді алып, оның түрін – өлшенетін шаманың қалған бөліктеріне өлшеу жүйесінің сандық мәнін алу мақсатымен оны түсінікті етіп өзгертеді.

Сигнал түрлендіргіші. Сезгіш элементтен сигнал алатын және өлшеу жүйесінің мәліметін бейнелеу блогының талабына сай түрге өзгертеді. Сигнал түрлендіргіші өз кезегінде үш элементтен тұрады: сигналды сезгіш элементінен бейнелеуге ыңғайлы физикалық түрге өзгертетін – *сигнал құрастырғыш*; сигналдың сапасын жақсартатын, мысалы оны күшейтетін – *сигналдық процессор*; бейнелеу құрылғысына дейінгі белгілі бір қашықтыққа сигнал беретін – *сигнал хабарлағышы*.

Бейнелеу құрылымы – өлшеу жүйесінің шығыс мәліметі көрсетілетін элемент. Бұл элемент сигнал түрлендіргішінен мәліметті алып, оны адамға түсінікті түрге айналдырып, мысалы шкала бойында жылжитын жебе түрінде ұсынады. Сайып келгенде, өлшеу жүйесі өз кезегінде бейнелеу құрылымымен тұйықталған сигнал түрлендіргішімен қосылған датчиктен тұрады. Бұл 1.1-суретте көрсетілген блок-сұлба түрінде болады.



1.1-сурет. Өлшеу жүйесінің жалпы түрі

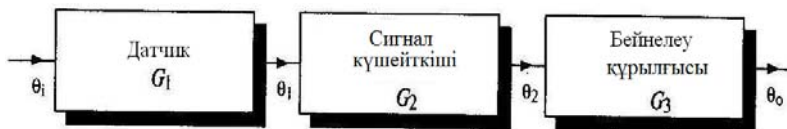
Жүйенің беріліс функциясы

Тұрақты шарттарда жүйенің беріліс функциясы – шығыс сигналдың, кіріс сигналға қатынасы:

Беріліс функциясы:

$$G = \frac{\theta_0}{\theta_i}.$$

Өлшеу жүйесі – датчиктен, сигнал түрлендіргіш және бейнелеу құрылымынан болады (1,2-сурет). Бұл элементтердің әрбірінің өз беріліс функциясы болады.



1.2-сурет. Өлшеу жүйесінің беріліс функциясы

Сонымен, датчик үшін, кіріс (θ_i) және шығыс сигналы (θ_1) беріліс функциясы (G_1) сигнал түрлендіргіші үшін кіріс болып есептеледі:

$$G_1 = \frac{\theta_1}{\theta_i},$$

Сигнал құраушысы үшін – (G_2) беріліс функциясының кіріс сигналы (θ_1) және шығыс сигналы (θ_2):

$$G_2 = \frac{\theta_2}{\theta_1},$$

Ал бейнелеу құрылымы үшін – кіріс (θ_2) және шығыс сигналының (θ_0) (G_3) беріліс функциясы

$$G_3 = \frac{\theta_0}{\theta_2}.$$

Сонда, барлық өлшеу жүйесі үшін беріліс функциясы мына түрде жазылады:

$$G = \frac{\theta_0}{\theta_i} = \frac{\theta_1}{\theta_i} \times \frac{\theta_2}{\theta_1} \times \frac{\theta_0}{\theta_2},$$

$$G = G_1 \times G_2 \times G_3.$$

Бағдарламаланатын құралдар

Өлшеу жүйелерінде қолданылатын «бағдарламаланатын» термині – жүйеге микропроцессор не компьютер қосылған дегенді білдіреді. «Жай» (бағдарламаланбайтын) термині жүйеде ешқандай микропроцессор жоқ кезде қолданылады. Жай аспаптарда жүйе – тек шамаларды өлшейді, ал адам – алынған деректерді өңдеуі қажет. Бағдарламаланатын аспаптарда тек өлшеу ғана емес, сондай-ақ өңдеу жұмыстары да жүреді.

Калибрлеу.

Калибрлеу – бұл бейнелеу құрылғысының шкаласына белгі қою немесе датчик белгілі бір жағдайда тұрғанда, бұрын калибрленген (стандарт) жүйеге сәйкес, өлшеу жүйесін тексеру процесі.

Барлық басқа стандарттар туындайтын негізгі стандарттар, біріншілік эталондар болып саналады. Біріншілік эталондар – халықаралық келісіммен анықталған және ұлттық, мемлекеттік

мекемелерде сақталады. 7 біріншілік және 2 қосымша эталондар бар. 7 біріншілік эталондар:

1. *Масса*. Килограмм. Биіктігі мен диаметрі бірдей (39.17 мм) платина (90%) және иридий (10%) балқымасынан жасалған цилиндр массасы ретінде анықталады. Севрде (Франция) Халықаралық Өлшем және Салмақ Бюросында сақталады.

2. *Ұзындық*. Метр. $1/299792458$ секундқа тең уақытта вакуумде жарықтың жүріп өткен жолының ұзындығы ретінде анықталады.

3. *Уақыт*. Секунд. Белгілі резонанс кезінде Цезий – 133 атомының шығаратын сәулелену периодының 9192631 есе ұзақтығы ретінде нықталады.

4. *Ток*. Ампер. Вакуумде бір-бірінен 1 метр қашықтықта орналасқан дөңгелек қимасы өте аз, ұзындығы шексіз 2 параллель өткізгіштерден өтетін электрлік ток туғызатын күш ретінде анықталады, ол өткізгіштер арасында әр 1 м сайын $2 \cdot 10^{-7}$ Н-ға тең күш туғызады.

5. *Температура*. Кельвин (K) 273.16 К-ге тең үштік су нүктесінің температурасымен анықталады (барлық судың 3 фазасы – сұйық, бу және қатты тепе-теңдікте болғанда).

6. *Жарық күші*. Кандела (свеча) 1 стерadianға $540 \cdot 10^{12}$ Гц жиілік және $1/683$ Вт қуатпен монохроматты сәулелену жіберетін бағыттағы жарық күшімен анықталады.

7. *Зат мөлшері*. Зат мөлшерінің өлшемі – моль. 1 мольде C-12-көміртегінің 0.012 кг изотобында бар элементар бөлшектер бар.

«Элементар компоненттер» термині – атом, молекула, ион, электрон, т.б. бөлшектерге қатысты айтылады.

2 – қосымша эталондар:

1. *Жазық бұрыш*. Радиан – бұл доға ұзындығы радиуске тең шеңберлердің 2 радиусы арасындағы жазық бұрыш.

2. *Денелік бұрыш*. Стерadian – сфера бетінде қабырғалары сфера радиусына тең квадрат ауданына тең ауданды киятын, ұшы сфера ортасында орналасқан конустың денелік бұрышы.

Бұл біріншілік эталондар – ұлттық эталондарды тек эталондық өлшеу бірліктерінде ғана емес, олардың туындаған бірліктерінде де қолданылады. Мысалы, манганиннен жасалған сым орамының кедергі эталоны ұзындық, масса, уақыт және токты өлшеу, эталондық бірліктеріне негізделген. Әдетте, бұл ұлттық эталондар өз кезегінде метрологиялық орталықтарда сақталып, өндірісте калибрлік жұмыстарға қолданылатын үлгілік өлшемдерді анықтауға пайдаланылады. Мұндай калибрлік эталондар, аспаптарды үзбей калибрлеу үшін тікелей өндірісте сақталады.

1-кестеде жиі қолданылатын өлшем бірліктердің тізімі мен олардың негізгі өлшем бірліктермен қатынасы көрсетілген.

1-кесте

Туынды бірліктер

Параметр	Бірлік аты	Өлшем бірліктері
Үдеу	Метрдің, секундтың квадраттарына қатынасы	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Бұрыштық үдеу	Радиянның, секундтың квадратына	$\text{Рад} \cdot \text{с}^{-2}$
Бұрыштық жылдамдық	Радиянның, секундқа қатынасы	$\text{Рад} \cdot \text{с}^{-1}$
Аудан	Квадрат метр	м^2
Сыйымдылық	Фарада	$\text{С}^4 \cdot \text{А}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$
Тығыздық	Килограммның кубметрге қатынасы	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Электрлік заряд	Кулон	$\text{А} \cdot \text{с}$
Электр өрісінің кернеуі	Вольттың метрге қатынасы	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-3}$
Электрлік потенциал	Вольт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Энергия	Джоуль	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$

1-кестенің жалғасы

Күш	Ньютон	$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Жиілік	Герц	с^{-1}
Индуктивтілік	Генри	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Магниттік өріс күші	Ампердің метрге қатынасы	$\text{А} \cdot \text{м}^{-1}$
Магниттік ағым	Вебер	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Магниттік индукция	Тесла	$\text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Қуат	Ватт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Қысым	Паскаль	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Кедергі	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{А}^{-2} \cdot \text{с}^{-3}$
Меншікті жылусыйымдылық	Джоульдың килограмм мен Кельвинге қатынасы	$\text{м}^2 \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Жылдамдық	Метр секундка	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Жылуөткізгіштік	Ваттың метр – Кельвинге қатынасы	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{с}^{-3}$
Көлем	Кубметр	м^3

Өлшеу жүйесін немесе осы жүйе элементтерін сипаттайтын терминдер:

Бит (разряд). Бұл 0 және 1 екілік сандар үшін аббревиатура.

Өзара кедергілер. Бұл коммутатор немесе параллель кірістері бар құрылғыға қосылған көрші каналдар арасында пайда болатын интерференция.

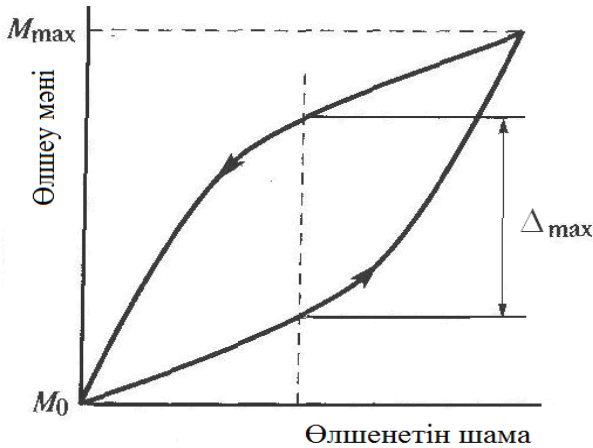
Қайта өндірінгіштік. Құрал көрсеткішінің қайта өндірілгіштігі – өлшенетін шаманың бір мәнінде бірдей көрсеткіш көрсете алу қабілеті.

Реакция уақыты. Өлшеу жүйесінде өлшенетін шама өзгергенде, осы өзгеріске толығымен жауап беретін реакция уақыты деп аталатын белгілі бір уақыт керек.

Гистерезис. Құралдар түрлі көрсеткіш беруі мүмкін, соған байланысты шама мәнінің өсуіне немесе азаюына байланысты өлшенетін шама үшін қателіктер көрсеткіші де әртүрлі болады (1.3-сурет). *Гистерезис* деп аталатын бұл эффект, құралдардың механикалық бөліктеріндегі үйкеліс немесе люфтену нәтиже-

сінде жүзеге асады. *Қателік гистерезисі* – өлшенетін шаманың өсу және кему кезіндегі мәндерінің айырымы. Гистерезис көбінесе максимал, бұл гистерезистің барлық құрал шкаласының ауытқуына, пайыздық қатынасы ретінде өрнектеледі.

$$\text{Гистерезис} = \frac{\Delta_{\max}}{M_{\max} - M_0} \cdot 100\%.$$



1.3-сурет. Гистерезис

1.4. Қателіктердің жіктелуі

Өлшеу процедурасы келесі кезендерден тұрады: өлшеу объектісінің үлгісін таңдау, өлшеу тәсілін таңдау, ӨҚ таңдау, және нәтиже алу үшін тәжірибе жүргізу. Бұл өлшеу нәтижесі, өлшенетін шаманың нақты мәні – *өлшеу қателігі* деп аталатын қандай да бір шамаға өзгертінгіне әкеп соғады. Өлшенетін шама анықталып, оның нақты мәннен ауытқуының мүмкін дәрежесі анықталған болса, онда өлшеу аяқталды деп есептеуге болады.

Қателіктің пайда болу себептері өте көп, сондықтан олардың жіктелуі шартты сипатта болады.

ӨҚ қателігі мен осы ӨҚ-мен өлшеу нәтижесінің қателігін ажырата білу керек. Өлшеу қателігі – қолданылатын ӨҚ-нің метрологиялық сипатына, алынған өлшеу тәсіліне, сыртқы жағдайларға, сондай-ақ өлшенетін шама мен объект қасиеттеріне тәуелді. Өлшеу қателігі, әдетте қолданылатын ӨҚ қателігінен жоғары болады, бірақ қателіктерді болдырмау тәсілдерін және көпреттік бақылау деректерін статистикалық өңдеу арқылы кейбір жағдайларда өлшеу қателігін, қолданылатын ӨҚ қателігінен азайтып алуға болады.

Өрнектелу тәсілі бойынша қателіктер – *абсолюттік, салыстырмалы және келтірілген* болып жіктеледі.

Абсолюттік қателік – өлшенетін физикалық шама бірлігімен өрнектелетін ӨҚ қателігі:

$$\Delta = X_{\text{өл.}} - X_{\text{ш.}} \quad (1.3)$$

Салыстырмалы қателік – өлшеу құралының абсолюттік қателігінің өлшеу нәтижесіне немесе өлшенген физикалық шаманың нақты мәніне қатынасымен өрнектелетін ӨҚ қателігі:

$$\gamma_{\text{сал.}} = (\Delta X / X_{\text{ш.}}) 100. \quad (1.4)$$

Өлшеу құралы үшін $\gamma_{\text{сал.}}$ шкаланың берілген нүктесіндегі қателікті сипаттайды. Ол өлшенетін шама мәніне тәуелді, әрі құрал шкаласының ең кіші мәні болып саналады. Сондықтан, көбіне өлшеу құралдарының сипаттамасы үшін келтірілген қателік қолданылады.

Келтірілген қателік – бұл, ӨҚ абсолюттік қателігінің барлық өлшеу диапазонында тұрақты шамасының шартты алынған мәніне қатынасымен өрнектелетін салыстырмалы қателік:

$$\gamma_{\text{кел.}} = (\Delta / X_{\text{норм}}) 100, \quad (1.5)$$

мұндағы $X_{\text{норм}}$ – мөлшерлейтін мән, яғни қателік есептелетін қатынас бойынша анықталатын, белгіленген мән.

Мөлшерленетін мәнді таңдау, мемлекеттік стандартқа сәйкес жүргізіледі. Бұларға – ӨҚ жоғарғы өлшеу шегі, өлшеу диапазоны, шкала ұзындығы, т.б. жатады. Келтірілген қателік бойынша көптеген өлшеу құралдарына дәлдік класы белгіленеді.

Өлшеу құралының қателігінің пайда болу себебі мен шарттарына байланысты: негізгі және қосымша болып бөлінеді.

Негізгі қателік – қалыпты жұмыс шарттарындағы ӨҚ қателігі. Ол ӨҚ қасиеттерінің нашарлығынан пайда болады және ӨҚ-ның нақты функциясының номиналынан, қалыпты жағдайлардағы айырмасын көрсетеді.

Нақты түрдегі ӨҚ-не нормативтік құжаттармен *қалыпты өлшеу шарттары* қойылады – бұл аздық салдарынан өлшеу нәтижелері өзгергенде, ықпал етуші шамалар мәнінің жиынтығымен сипатталатын өлшеу шарттары. Мұндай ықпал етуші шамалардың арасында жиі тарағаны – қоршаған орта температурасы мен ылғалдылығы, кернеу, жиілік пен қорек көзі қисығының пішіні, сыртқы электр және магнит өрістерінің болуы, т.б. қалыпты жағдайлар үшін нормативтік құжаттамамен ӨҚ қолдану қарастырылады:

Ықпал етуші шаманың қалыпты мәндер аймағы (мәндер диапазоны): қоршаған орта диапазоны – $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$; құралдың орналасуы $\pm 2^\circ$ көлденеңінен ауытқыған көлденең; салыстырмалы ылғалдылық – $(65 \pm 15) \%$; электр және магнит өрістерінің болмауы, кернеу көзі – $(220 \pm 4,4) \text{ В}$, қорек көзінің жиілігі – $(50 \pm 1) \text{ Гц}$, т.б.

Ықпал етуші шаманың жұмыс мәндер аймағы – өлшеу құралының көрсеткіші өзгертін немесе қосымша қателік қалыптандырылатын ықпал етуші шама мәндерінің аймағы;

Өлшеудің жұмыс шарттары – ықпал етуші шаманың мәндері, жұмыс аймағында орналасатын өлшеу шарты. Мысалы, өлшеу конденсаторы үшін қоршаған орта температурасының қалыптыдан ауытқуы, қосымша қателікті мөлшерлейді;

амперметр үшін – айнымалы токтың 50Гц-тен ауытқуынан болған көрсеткіш өзгерісі (50 Гц жиілік мәні – бұл жағдайда қалыпты жиілік мәні болып есептеледі).

Қосымша қателік – қандай да бір ықпал етуші шамалардың немесе олардың қалыпты мәндер аймағынан ауытқуы салдарынан, негізгі қателікке қосымша пайда болатын ӨҚ қателігінің құраушысы. Берілген өлшеу құралы үшін ең үлкен мән болып, қарастырылатын негізгі және қосымша мәндер мөлшерленеді.

Жіберілетін негізгі қателік шегі – ӨҚ жарамды деп есептеліп, техникалық жағдайларда қолдануға жіберілетін ең үлкен негізгі қателік.

Жіберілетін қосымша қателік шегі – өлшеу құралы, қолдануға жіберілетін ең үлкен қосымша қателік. Мысалы, 1,0 дәлдік класындағы құрал үшін температура 10⁰С-ге өзгергенде келтірілген қосымша қателік ± 1 %-дан аспауы қажет. Яғни, орта температурасы әр 10⁰С-ге өзгерген сайын, қосымша қателік 1 %-ға арта түседі. Жіберілетін негізгі және қосымша қателіктер шегі – абсолют, салыстырмалы және келтірілген қателіктер түрінде өрнектеледі.

Жіберілетін негізгі және қосымша қателіктер шегімен анықталатын, дәлдік дәрежесін бейнелейтін және дәлдікке әсер ететін сипаттамалармен де анықталатын өлшеу құралдарының жалпыланған сипаты – ӨЖ *дәлдік класы* деп аталады. Дәлдік класы бір типті ӨЖ-нің қателігі қандай шекте жатқанын, бірақ осы құралдардың әрбірінің көмегімен орындалатын өлшеу дәлдігінің тікелей көрсеткіші болмайтынын көрсетеді. Өйткені, қателік – өлшеу тәсіліне де, өлшеу шарттарына да тәуелді. Бұл берілген өлшеу дәлдігіне байланысты ӨЖ таңдауда ескеріледі. Нақты ӨЖ дәлдік класы стандартты техникалық талаптарда немесе басқа нормативтік құжаттамаларда белгіленеді. Мысалы, 0,5 класты құрал 0,5 %-дан аспайтын негізгі қателікке ие. Сонымен бірге, құрал жіберілетін қосымша қателікке қатысты сәйкес талаптарды да қанағаттандыруы қажет. Мысалы,

мемлекттік стандарт аналогтық электромеханикалық құралдар үшін: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0 сияқты тоғыз дәлдік класын бекітеді.

ӨҚ дәлдік класын біле отырып, (1.5)-тен барлық диапазон нүктелері үшін ең үлкен жіберілетін абсолют қателік мәнін табуға болады:

$$\Delta_{\max \text{ қос.}} = \gamma_{\text{кел}} \cdot X_{\text{норм}} / 100. \quad (1.6)$$

Қателіктің өзгеру сипатына қарай: жүйелік, кездейсоқ және дөрекі (мүлт кетулер) болып бөлінеді.

Жүйелі қателік – өлшеу құралының тұрақты немесе заңды өзгермелі деп алынатын қателік құраушысы. Берілген ӨҚ жүйелік қателігі, осы типтегі басқа ӨҚ-ның жүйелік қателігінен айырмашылығы болады. Нәтижесінде біртепті ӨҚ топтары үшін жүйелік қателік кейде кездейсоқ қателік ретінде қарастырылуы мүмкін.

Жүйелік қателіктерге – әдістемелік, құралдық, субъективтік және өлшеу кезінде міндетті түрде ескерілетін және болдырмауды қажет ететін басқа да қателіктер жатады.

Кездейсоқ қателік – кездейсоқ өзгеретін қателік құраушысы. Ол көрсеткіштердің бірімсіздігіне әкеп соғады және алдынала болжанбайтын, ескерілмейтін себептермен шартталған. Алайда, бірнеше рет қайта тәжірибе жүргізгенде ықтималдық теориясы мен математикалық статистика өлшеу нәтижесін анықтауға мүмкіндік береді. Яғни, бұл бір реттік өлшемге қарағанда нақты мәнге жақын мәнді табуға мүмкіндік береді.

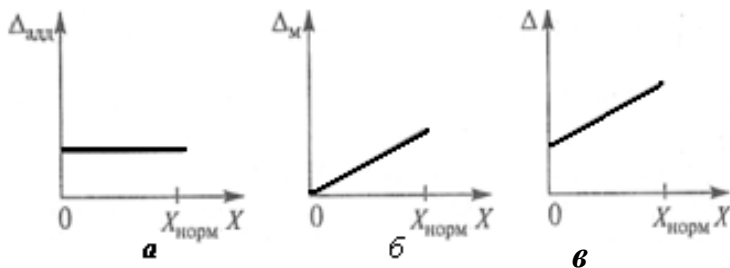
Мүлт кетулер – оператор қателігіне немесе ескерілмеген сыртқы әсерлермен байланысты дөрекі қателіктер. Оларды әдетте, өлшеу нәтижелерінен шығарып тастайды.

Өлшенетін шама мәніне байланысты қателіктер – аддитивтік, кіріс шама X мәніне тәуелсіз және мультипликативті – X -ке пропорционалды болып бөлінеді.

Аддитивтік қателік $\Delta_{\text{адд}}$ – құрал сезгіштігіне тәуелді емес және барлық өлшеу диапазонында X кіріс шаманың барлық мәндерінде тұрақты (1.4а-сурет). Бұл қателік көздері: тіреулердегі үйкеліс, шулар, сілтеулер, вибрация. Құралдың аддитивтік қателігіне мысал ретінде сандық құралдардағы нөл қателігін, дискреттік қателікті келтіруге болады. Осы қателік мәнінен, кіріс шаманың ең кіші мәні тәуелді. Егер құралға аддитивтік қателік тән немесе ол басқа құраушылардан әлдеқайда көп болса, онда жіберілетін негізгі қателіктің шегі келтірілген қателік түрінде мөлшерленеді (1.5).

Мультипликативтік қателік – құрал сезгіштігіне тәуелді және кіріс шаманың ағымдағы мәніне пропорционал өзгереді (1.4б-сурет). Бұл қателік көзі: ӨҚ-ның жеке элементтерінің реттеу қателіктері (мысалы, шунттың не қосымша резистордың), элементтердің ескіруі, олардың сипаттамаларының өзгеруі немесе сыртқы факторлардың әсері.

Егер құралға тек мультипликативтік қателік тән болып, ол өте үлкен болса, онда жіберілетін салыстырмалы қателік мәні салыстырмалы қателік түрінде өрнектеледі (1.4). Мұндай ӨҚ дәлдік класы дөңгелекке орналасқан және жіберілетін салыстырмалы қателік шегіне тең бір санмен белгіленеді.



1.4-сурет. Өлшеу құралдары мен түрлендіргіштер қателігінің графигі:

а – аддитивтік; б – мультипликативтік; в – қосынды

Қосынды абсолюттік қателік (1.4, в-сурет) мына формуламен анықталады:

$$\Delta = \Delta_{\text{адд}} + \Delta_{\text{м}} = \gamma_{\text{адд}} X_{\text{норм}} + \gamma_{\text{м}} X,$$

мұндағы $\gamma_{\text{адд}} = \Delta_{\text{адд}}/X_{\text{норм}}$ – аддитивтік қателіктің келтірілген мәні; $\gamma_{\text{м}} = \Delta_{\text{м}}/X$ – мультипликативтік қателіктің салыстырмалы мәні.

Сонда қосынды салыстырмалы қателік былай анықталады:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{отн}} &= \frac{\Delta}{X} = \gamma_{\text{адд}} \frac{X_{\text{норм}}}{X} + \gamma_{\text{м}} = \gamma_{\text{м}} + \gamma_{\text{адд}} + \gamma_{\text{адд}} \frac{X_{\text{норм}}}{X} - \gamma_{\text{адд}} = \\ &\pm \left[c + d \left| \left| \frac{X_{\text{норм}}}{X} - 1 \right| \right|, \end{aligned} \quad (1.8)$$

мұндағы $d = \gamma_{\text{адд}}$; $c = \gamma_{\text{адд}} + \gamma_{\text{м}}$.

Аддитивтік және мультипликативтік құраушылары мөлшерлес өлшеу құралдары үшін жіберілетін салыстырмалы қателік шегі, екімүшелік формуламен (1.8) өрнектеледі. Олар үшін дәлдік класы пайыздық (с), (d) және қисық сызықпен бөлінген (с/d) түрде өрнектелген екі санмен белгіленеді, мысалы 0,02/0,01 класы. Мұндай белгілеу ыңғайлы, себебі $X = X_{\text{норм}}$ кезінде оның бірінші мүшесі с салыстырмалы қателікке тең. (1.8) формуласының екінші мүшесі X-тің мәні, яғни аддитивтік қателік құраушысы азайғанда, салыстырмалы қателіктің ұлғайғанын көрсетеді. Бұл топқа – сандық көпірлер, қолмен жүргізілетін және автоматты теңдестіруі бар компенсаторлар жатады.

Аддитивтік және мультипликативтік қателіктердің жүйелік және кездейсоқ құраушылары болады.

ӨҚ қателігі сондай-ақ, шкала ұзындығына да байланысты. Бұл жағдайда дәлдік класы (1.5) бұрышта орналасқан екі сызық арасындағы пайыздық бір санмен белгіленеді. Оларға бірқалып-сыз шкаалы құралдар (гиперболалық, не логарифмдік) жатады.

Нақты дәлдік кластар қатары ӨЖ-нің әр түріне стандартпен бекітіледі.

Өлшенетін шаманың өзгеру сипатына қарай қателіктер – *статикалық және динамикалық* болып бөлінеді.

Статикалық қателік – өзгермейтін есебінде алынған физикалық шаманы өлшеуге қажет қателік.

Динамикалық қателік – ӨЖ-нің инерциялық қасиеттерінің нәтижесінен болатын өзгермелі физикалық шаманы өлшеу қателігі.

1.5. Жүйелік қателіктер

Жүйелік қателіктердің пайда болуы, белгілі әдістеме кемшіліктерінің, тәжірибе қателіктерінің, өлшенетін шаманың барлық ерекшеліктерінің толық ескерілмегендігінің салдары болып есептеледі. Сондықтан жүйелік қателіктерді табу, көбінесе тәжірибешінің өлшеу жүргізуінің нақты шарттары мен әдістерін қаншалықты терең меңгергеніне байланысты.

Өзгеру сипаты бойынша жүйелік қателіктер: *тұрақты* (шамасы мен белгісін сақтайтын) және *айнымалы* (белгілі заң бойынша өзгертін) болып бөлінеді.

Тұрақты жүйелік қателіктер – бұл аналогтық құралдар шкаласының градуирлеу қателіктері, шунттардың мерзімді қиыстыруының дәл еместігі және қосымша кедергілермен, элемент параметрлерінің температуралық өзгерістерімен, т.б . байланысты қателіктер.

Айнымалы жүйелік қателіктер – бұл сыртқы магнит өрісі мен басқа сыртқы шамалардың әсерінен, кернеу көзінің тұрақсыздығымен байданысты қателіктер.

Пайда болу себептеріне қарай олар – әдістемелік, аспаптық және субъективтік болып бөлінеді.

Әдістемелік қателіктер – таңдап алынған өлшеу тәсілдерінің теориялық негіздерінің толық еместігі, қарапайым

болжамдарды қолданудың, өлшенетін шаманы дұрыс таңдамау нәтижесінде болады. Мысалы, температураны термोजұп көмегімен өлшеу кезінде, зерттелетін объектінің температуралық режимінің бұзылуынан болатын қателік кездеседі.

Әдістемелік қателіктер көзін анықтау мен оларды болдырмау – тәжірибе техникасында ең бастысы мәселе болып саналады. Осы мәселені шешу деңгейі тәжірибе жүргізушінің метрологиялық дайындығына және шеберлігіне байланысты. Көп жағдайларда әдістемелік қателіктер – жүйелік, кей жағдайларда кездейсоқ сипатта болады, мысалы жұмысшы теңдеу коэффициенттері, кездейсоқ өзгеретін өлшеу шартына тәуелді болған кезде.

Аспаптық қателіктер (өлшеу қателігінің құраушылары) қолданылатын ӨҚ қасиеттерімен (сыртқы әсерлерге тұрақтылық, сезімталдық), олардың өлшеу объектісіне әсерімен, дайындау технологиясы және оның сапасымен (мысалы, бөліктеу дәлсіздігі, жұмыс кезінде құралдың сипаттамаларының өзгеруі, т.б.) анықталынады. Бұл қателік, өз кезегінде *негізгі және қосымша* болып бөлінеді.

Субъективтік қателіктер – өлшеу жүргізетін оператордың күйімен, оның жұмыс уақыты кезіндегі жағдайымен, сезім мүшелерінің күйімен, өлшеу құралдарының эргономикалық қасиеттерімен байланысты, мұның барлығы белгі соғу дәлдігінен білінеді. Субъективтік қателіктер кей жағдайларда кездейсоқтар разрядына өтуі мүмкін. Сандық құралдар мен автоматты өлшеу әдістерін қолдану, мұндай қателіктерді болдырмауға мүмкіндік береді.

Жүйелік қателіктерді тауып, оларды болдырмау үшін жүйелік қателіктердің пайда болу себептерін алдын ала болдырмау (түзетілген және сенімді өлшеу құралдарын қолдану, тәжірибе шарттарын сақтау, өлшеу тәсілін таңдау негіздері), сондай-ақ, белгісі бойынша қателікті орынбасу және компенсациялау әдістері жүзеге асырылады.

- орынбасу тәсілі, өлшенетін шаманың реттелетін өлшем көмегімен алынған белгілі шамамен ауыстырылуына негізделген. Егер мұндай орынбасу жұмыс құралында еш өзгеріссіз орындалып, орынбасқаннан кейін дәл сол көрсеткіштер байқалса, онда өлшенетін шама реттелетін өлшеммен есептелген белгілі шамамен ауыстырылады. Бұл тәсіл тұрақты жүйелік қателіктерді болдырмайды. Орынбасу тәсілін қолданғанда өлшеу қателігі өлшем қателігімен және белгісізді ауыстыратын шама мәнін есептегенде пайда болатын қателікпен анықталады.

- компенсациялау тәсілі – өлшеу шартына байланысты жүйеліктердің бір белгімен өлшеу нәтижесіне кіре алатын жүйелік қателігін болдырмайды (термоЭҚК-нен қателік, тұрақты электр және магнит өрісі кернеулігі әсерінен қателік). Бұл жағдайда тәжірибе екі рет жүргізіледі, бір рет қателік нәтижеге бір таңбамен, екіншісінде – кері таңбамен енгізілуі қажет. Алынған екі нәтиженің орташа мәні, жоғарыда көрсетілген жүйелік қателіктерден бөлек, өлшеулердің соңғы нәтижесі болып саналады.

Функционалдық тәуелділік себебі мен түрін анықтау, өлшеу нәтижесіне сәйкес түзетулер енгізу арқылы жүйелік қателікті өтеуге болады. Жүйелік қателікті болдырмау мақсатында, өлшеу кезінде алынған шамаға қосылуы қажет өлшенетінмен аттас шама мәнін – *түзету* деп атайды. Кейбір жағдайда осы мақсатпен, өлшеу нәтижесі көбейтілетін сан түзетуші көбейткіш қолданылады.

Түзету немесе түзетуші көбейткіш ӨҚ тексеру, сәйкес кестелер мен графиктерді қолдану көмегімен анықталады. Сондай-ақ, түзетуші мәндерді табудың есептік тәсілдері де қолданылады.

Автоматтық өлшеулер жүргізгенде жүйелік қателіктерді сұлбалық түзету әдістері қолданылады. Мысалы, түрлендіргіштердің компенсациялық қосылуы, түрлі температуралық және жиіліктік түзету тізбектері, т.б.

Өлшеу техникасына микропроцессорлық жүйесі бар құралдарды ендіру нәтижесінде жаңа мүмкіндіктер пайда болды. Олардың көмегімен жүйелік қателіктердің көптеген түрін, әсіресе аспаптық қателіктерді түзетуге немесе істен шығарып тастауға болады. Бөліктеудің дәлсіздігімен байланысты автоматты түзету енгізу, қосымша қателіктерді есептеу және істен шығару, нөлді ығыстыруға байланысты қателіктерді болдырмау – басқа да түзетулердің өлшеу дәлдігін арттырады.

1.6. Кездейсоқ қателіктер

Кездейсоқ және жүйелік қателік құраушыларының табиғаты мен физикалық мәні әртүрлі. Алайда барлық жағдайларда жүйелік және кездейсоқ қателіктерді бағалау кезінде де, белгілі статистикалық ережелер негізінде өлшеу нәтижелерінің жиынтығы түріндегі статистикалық материал өңделеді. Жалпы жағдайда, осы қателіктерді кездейсоқ шама ретінде қарастырамыз. Оларда «кездейсоқтық» табиғаты әртүрлі. Өлшеу нәтижесіндегі кездейсоқ қателіктер көптеген себептерге, мысалы жұмыс істеп тұрған құралдағы физикалық процестер (үйкеліс, шу) немесе өлшеу шарттарының кездейсоқ өзгеруінен болады. Жүйелік қателіктер бағасының «кездейсоқтығы» – білместік немесе олардың шынайы мәндерін нақты анықтамағандықтың нәтижесі. Алайда, кездейсоқ қателіктердің соңғы өлшеу нәтижесіне әсерін, өлшеу санын көбейту арқылы азайтуға болады. Төменде келтірілген кездейсоқ шамалардың ықтимал-статистикалық үлгілері кездейсоқтықпен бірге, қосынды қателіктер үшін де жарайды.

Ықтималдық теориясының математикалық аппаратын қолданатын қателіктер теориясы, бірнеше қайталанған өлшеулер нәтижесі мен кездейсоқ жағдайлар арасындағы ұқсастыққа негізделген. Ықтималдық теориясынан белгілі,

кездейсоқ шамаларды суреттеу үшін оның таралу заңдары қолданылады.

Кездейсоқ шаманың таралу заңы – кездейсоқ шаманың мүмкін мәндері (X) мен оларға сәйкес ықтималдықтар арасындағы қатынасты белгілейді. Таралу заңы кесте, формула, график түрінде берілуі мүмкін. Ол кездейсоқ шаманың қасиеттері туралы ақпарат береді, оның мәнін бағалауға және берілген шектерде оның мәндерін табу ықтималдығын анықтауға мүмкіндік береді.

Дискретті және үзіліссіз (1.5а-сурет) кездейсоқ шамалар үшін тәжірибеде көбінесе интегралдық таралу функциясы $F(x)$ түріндегі таралу заңы қолданылады. Бұл функция X_i кездейсоқ шамасының i -ші тәжірибеде x шамасынан кіші мәнге ие болатын ықтималдықпен анықталады:

$$F(x) = P(X_i \leq x) = P(-\infty < X_i \leq x).$$

Интегралдық таралу функциясының мына қасиеттері бар, ол теріс емес, яғни $F(x) > 0$; төмендемейді, яғни $F(x_2) > F(x_1)$, егер $x_2 > x_1$; 0-ден 1-ге дейін өзгереді, яғни $F(-\infty) = 0$, $F(+\infty) = 1$. Таралу заңының әмбебаптығы мен тәжірибелік қолданысын түсіндіретін маңызды қасиетіне x_1 -ден x_2 -ге дейінгі аралықта кездейсоқ шаманы табу ықтималдығы, яғни таралу функциясының айырымына тең болуы жатады:

$$P(x_1 \leq X < x_2) = F(x_2) - F(x_1). \quad (1.9)$$

Үздіксіз кездейсоқ шамалардың таралуын суреттеу үшін таралу тығыздығы деп аталатын $f^1(x)$ таралу функциясының бірінші туындысы қолданылады. Бұл $p(x) = f'(x) = dF(x)/dx$ тарату функциясының бірінші туындысының таралу функциясының өзін анықтағанға қарағанда, өте оңайлылығына байланысты.

$P(x)$ ықтималдық тығыздығы (дифференциал таралу функциясы) x – тан $x + dx$ шексіз аз аралықта X кездейсоқ

шамасы $dx \rightarrow 0$ болғанда, dx аралығындағы шама мәнін алу ықтималдығының қатынас шегі ретінде анықталады:

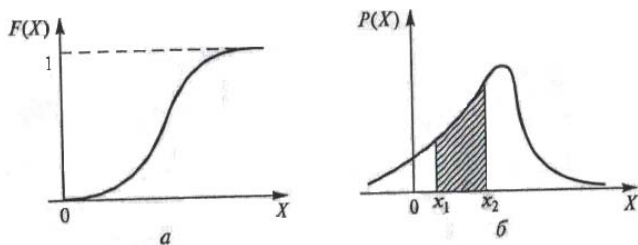
$$P(x) = \lim_{dx \rightarrow 0} \frac{P(x \leq X < x + dx)}{dx}. \quad (1.10)$$

Таралу функциясы, ықтималдық тығыздығымен өрнектеледі:

$$F(x) = P(X < x) = \int_{-\infty}^x P(X) dx.$$

Кездейсоқ шаманың берілген аралыққа (X_1, X_2) түсу ықтималдығы төмендегідей:

$$P(X_1 < X < X_2) = F(X_2) - F(X_1) = \int_{X_1}^{X_2} P(X) dX.$$



1.5-сурет. Үздіксіз кездейсоқ шаманың таралу заңы:
А – интегралдық; б – дифференциалдық

Графиктік түрде бұл ықтималдық таралу қисығымен шектелген қисық сызықты трапецияның ауданына тең, абсцисса өсі және түзулермен $X = x_1$ және $X = x_2$ шектелген (1.5б-сурет).

Кездейсоқ шаманы таралу заңымен статистикалық суреттеу өте қиын. Тәжірибеде бұл таралу заңының белгілі қасиеттерін сипаттайтын кездейсоқ шаманың сандық таралу заңымен шектеледі. Сандық сипаттамаларының арасында математикалық күту, мода, медиана – кездейсоқ шаманың сандық өстегі сипаттамасы болып саналады.

Кездейсоқ шаманың *математикалық күтуі* (оның орташа мәні) дискреттік кездейсоқ X шаманың барлық мүмкін мәндерінің, осы мәндердің P ықтималдығына көбейтіндісінің қосындысы ретінде анықталады:

$$M[X] = \sum_{i=1}^{i=n} X_i P_i. \quad (1.11)$$

Үздіксіз кездейсоқ шама үшін математикалық күту:

$$M[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} X P(X) dX, \quad (1.12)$$

мұндағы $P(X)$ – X кездейсоқ шама ықтималдығының таралу тығыздығы.

Мода $M_0[X]$ – дискреттік шамада ең үлкен ықтималдыққа, ал үздіксіз шамада – ең үлкен ықтималдық тығыздығына ие болатын X кездейсоқ шаманың мәні. Бір максимумы бар таралу қисығы бірмодальдық (1.56-сурет), екі максимумы бары – екімодальдық, бірнеше бірдей максимумы барлар – көпмодальдық деп аталады.

X кездейсоқ шаманың *медианасы* $M_e[X]$ кездейсоқ шаманың $M_e[X]$ -тан кіші не үлкен болатын ықтималдығы бірдей мәнін сипаттайды. Симметриялық модальдық таралу жағдайында медиана математикалық күту және модамен сәйкес келеді.

Кездейсоқ шаманың таралу сипаттамасына – дисперсия және орташа квадраттық ауытқу жатады.

X кездейсоқ шаманың *дисперсиясы* – кездейсоқ шаманың математикалық күтуінен ауытқу квадратының математикалық күтуі. Дискреттік кездейсоқ шама үшін дисперсия

$$D[X] = M[\{X - M(X)\}^2] = \sum_{i=1}^n \{X_i - M(X)\}^2 P_i, \quad (1.13)$$

Үздіксіз кездейсоқ шама үшін:

$$D[X] = M[\{X - M(X)\}^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} \{X_i - M(X)\}^2 P(X) dX. \quad (1.14)$$

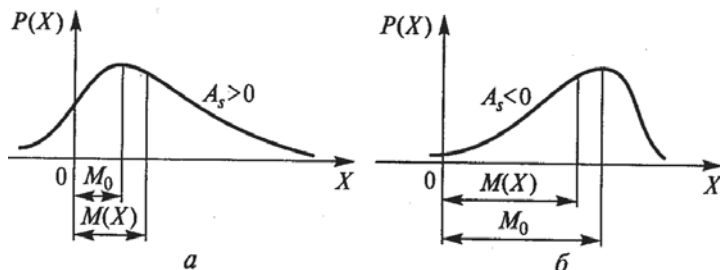
Кездейсоқ шаманың орташа квадраттық ауытқуы – дисперсиядан квадраттық түбір:

$$\sigma[X] = \sqrt{D(X)}. \quad (1.15)$$

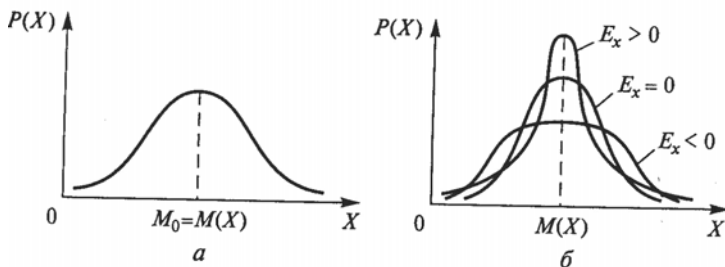
Кездейсоқ шамалардың қарастырылған күй мен таралу сипаттарынан басқа, таралудың белгілі бір қасиетін сипаттайтын ықтималдық сипаттары да қолданылады. Мұндай сипаттамаларға бастапқы және орталық моменттер жатады. X кездейсоқ шаманың математикалық күтуі бастапқы момент $M[X] = \mu_1$, ал дисперсия – екінші орталық момент $D[X] = \mu_2$. Үшінші орталық момент μ_3 математикалық күтуге қатысты таралу қисығының ассиметриялық дәрежесін сипаттайды. Ыңғайлы болу үшін ассиметрия сипаты ретінде *ассиметрия коэффициенті* деп аталатын өлшемсіз шама алынады

$$A_s = M[(X - M(X))^3] / (\sigma(X))^3.$$

Бірмодальық таралуда ассиметрия оң ($A_s > 0$), егер $M_0[X]$ модасы $M[X]$ орташа мәннің сол жағында болса және ол теріс ($A_s < 0$), егер $M_0[X]$ модасы $M[X]$ орташа мәннің оң жағында болса (1.6-сурет). Симметриялық таралуда $A_s = 0$ (1.7а-сурет).



1.6-сурет. Оң (а)және теріс (б) ассиметрия коэффициенттері бар ықтималдық тығыздығының қисығы



1.7-сурет. Түрлі эксцесс коэффициенттері бар ықтималдық тығыздығының қисықтары

Төртінші орталық момент μ_4 таралу қисығының үшкір төбелігін немесе жазық төбелігін сандық сипаттайды және ол эксцес деп аталатын өлшемсіз шамамен E_x анықталады:

$$E_x = M[(X - M(X))^4] / (\sigma(X))^4 - 3.$$

Симметриялық бірмодальдық таралуда эксцесс оң ($E_x > 0$), егер таралу қисығы үшкір төбелі болса, ол теріс ($E_x < 0$), егер таралу қисығы жазық төбелі болса. Қалыпты таралуда эксцесс нөлге тең ($E_x = 0$) (1.7б-сурет).

Осы үш моментті қолданып, таралу заңының теориялық үлгісін құруға болады.

Метрологиялық тәжірибеде жиі қолданылатын теориялық заңдардың бірі – симметриялық және ықтималдық тығыздықтың монотондық кему қасиеттері бар өлшеу қателігінің теориялық таралу заңы:

- абсолюттік мәні бойынша тең, бірақ белгісі бойынша қарама-қарсы;
- қателіктер жиілігі бірдей кездеседі (симметрия аксиомасы);
- кіші қателіктер үлкенге қарағанда жиі кездеседі; ал өте үлкен қателіктер кездеспейді.

$M(\Delta) = 0$ кезінде орталықтанған кездейсоқ шаманың қалыпты таралуы бірмодальдық болып, ол төмендегідей өрнектеледі:

$$P\Delta = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\Delta^2/2\sigma^2} \quad (1.16)$$

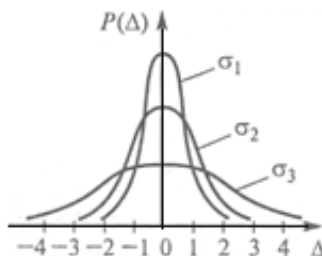
Қалыпты таралу заңы үшін X_1 және X_2 мәндерінің арасындағы қателіктерді табу ықтималдығы, таралу функциясының сәйкес мәндерінің айырымымен анықталады

$$P[X_1 < \Delta < X_2] = F(X_2) - F(X_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(\Delta)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (1.17)$$

Бұл ықтималдық, графиктік түрде X_1 және X_2 абсциссаларына сәйкес ординаталар арасындағы ықтималдық тығыздығын бейнелейтін қисық ауданы түрінде көрсетілген.

σ -нің түрлі мәндеріндегі қалыпты қателік таралуының тығыздық графигі (1.16) 1.8-суретте көрсетілген. 1.8-суреттен көрініп тұрғандай, σ кіші болған сайын қисық Δ өсіне қаттырақ еніп үшкір төбелене түседі ($\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$).

Қалыпты заң өлшеу қателігі әрқайсысы ортақ қателікке басқаларымен бірдей үлесін косатын, үлкен көлемді кездейсоқ факторлармен шартталғанда жүзеге асады. Осы кезде қателік құраушысының таралу заңы әртүрлі болады (бірқалыпты, үшбұрышты, трапециялық, экспоненциал, т.б.)



1.8-сурет. σ -нің түрлі мәндеріндегі қателіктің қалыпты таралу тығыздығының графигі

Егер $x_1 = -\infty$, а $x_2 = +\infty$ болса, онда (1.17)-мен анықталатын ықтималдық қисық астындағы ауданға сәйкес келетін бірлікке ұмтылады (1.5-сурет). Тәжірибеде есептеулер жүргізу үшін қалыптандырылған Лаплас функциясы қолданылады, оны басқаша – *ықтималдық интегралы* деп те атайды.

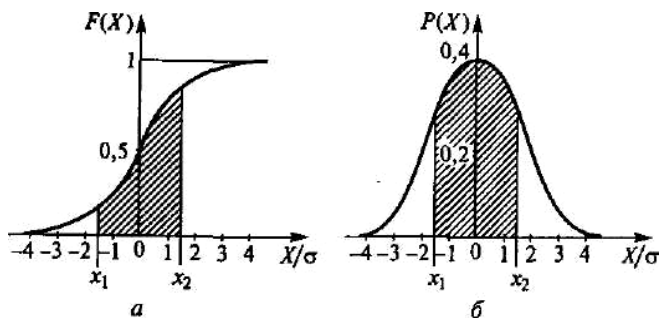
$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2/2} dt = \int_0^t \varphi(t) dt, \quad (1.18)$$

мұнда $t=x/\sigma$. Сонда (X_1, X_2) берілген шектерде қателікті табудың есептік ықтималдығы, Лаплас функциясы аргументтерінің кестелік мәндері арқылы табылады:

$$P(x_1 < \Delta < x_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1), \quad (1.19)$$

мұндағы $t_1 = x_1/\sigma$; $t_2 = x_2/\sigma$.

(1.19) формуласы өлшеу нәтижесі белгілі ықтималдық пен жататын интервал шегін (сенімді интервал) есептеуге мүмкіндік береді (1.9-сурет).



1.9-сурет. Қалыптандырылған таралу функциясы:
а – интегралдық; б – дифференциалдық

Өлшеу құралдары мен қолданылатын әдістер сипатын есептеу жолымен немесе өлшеу нәтижелері бойынша бағаланатын негізгі нүктелік сипаттамаларға – математикалық күту, дисперсия және орташа квадраттық ауытқу жатады. Кездейсоқ шаманың математикалық күтуін (МК) бағалау, өлшенетін шаманың орташа арифметикалық мәні (ОАМ) арқылы есептеледі:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (1.20)$$

Нүктелік дисперсия құны:

$$D[X] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2. \quad (1.21)$$

Орташа арифметикалық мәндердің нәтижесін абсолюттік бірлікте таралу сипатын алу үшін, орташа квадраттық ауытқу қолданылады:

$$\sigma[X] = \sqrt{D(X)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}. \quad (1.22)$$

Алынған бағалар – математикалық күту мен орташа квадраттық ауытқу, кездейсоқ шама болып саналады. Сондықтан орташа квадраттық ауытқу, шашырауды бағалау үшін қолданылады:

$$S_{\bar{X}} = \frac{S_{\bar{X}}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}, \quad (1.23)$$

ал $\sigma[X]$ ОКА – $\sigma[X]$ шашырауын бағалау үшін:

$$S_{\sigma} = S_x \frac{\sqrt{E_x - 1}}{2\sqrt{n}}, \quad (1.24)$$

мұндағы E_x – эксцестің сандық мәні.

Әдетте сандық түрде таралу параметрлерін сипаттайтын нүктелік бағалар үлкен көлемде қолданылады. Нақты көлемдер кішірейген сайын, олардың ақиқаттығының дәрежесі азаяды. Сондықтан, берілген ықтималдықпен бағаланатын параметрдің шынайы мәні, орналасатын аралықты анықтауға мүмкіндік беретін, интервалдық бағалауға көшеді.

X өлшенетін шаманың нақты мәні осы сенімді интервалда ($\bar{X} - x_2, \bar{X} + x_1$) болу ықтималдығы, *берілген дәлдіктегі сенімділік* (β) деп аталады.

Өлшеу практикасында сенімді ықтималдықтың түрлі мәндері бар, мысалы: 0,90; 0,95; 0,98; 0,99; 0,9973 и 0,999. сенімді аралық пен сенімді ықтималдық, нақты өлшеу шарттарына байланысты таңдалады. Сонымен, мысалы σ орташа квадраттық ауытқуы бар кездейсоқ қателіктің қалыпты таралу заңы кезінде көбінесе $+3\sigma$ -тен -3σ -ке дейінгі сенімді аралық қолданылады, ал мұнда сенімді ықтималдық 0,9973-ке тең. Мұндай сенімді ықтималдық орташа алғанда 370 кездейсоқ қателіктердің тек біреуі ғана, абсолюттік мәні бойынша 3σ -тен үлкен болатынын көрсетеді. Жеке өлшемдер саны тәжірибеде, әдетте бірнеше ондаған өлшемдерден асатындықтан, 3σ -тен үлкен кездейсоқ қателіктің біреуінің болуы сирек кездесетін жағдай. Бұл қалыпты заңмен таралған барлық мүмкін кездейсоқ қателіктердің абсолюттік мәні бойынша 3σ -тен аспайтынын нақты айтуға болатынын көрсетеді («үш сигма» ережесі). Қателік 3σ мәнінен шығып кеткен жағдайда, оны «мүлт кету» деп есептеуге болады. «Мүлт кетуді» анықтау үшін «үш сигма» – Смирнов, Райт, Романовский, Шовенэ т.б. критерийлері қолданылады.

1.7. Өлшеу нәтижелерін жазу түрлері

Өлшеу нәтижесі, физикалық шаманың өлшенген мәнінен бөлек, қателік мәні де әрі қарай көрсетілетін жағдайда қажет. Өндірістік өлшеулер әдетте бір-ақ рет жүргізіледі, ал алынған нәтиже дәлдігі – қолданылған өлшеу құралдарының мөлшерленген метрологиялық сипаттамалары бойынша бағаланады.

Өлшеу нәтижелерінің абсолюттік, салыстырмалы қателіктері де есептелуі қажет. Себебі, олардың біріншісі нәтижені дөңгелектеп, оны дұрыс жазуға, ал екіншісі – оның дәлдігінің біркәндік салыстыру сипаты үшін қажет.

Жалпы жағдайда, қосынды қателік жүйелік пен кездейсоқ құраушылардан тұрады:

$$\Delta = \Delta_c + \overset{\circ}{\Delta}. \quad (1.25)$$

Қателіктер жүйелік және кездейсоқ деп бөлінбегенде, өлшеу нәтижесі («өлшеу нәтижелерінің дәлдік және түр көрсеткіші» стандартына сәйкес) Δ x түрде жазылады, $\Delta_{\text{төм}}$ -ден $\Delta_{\text{жоғ}}$ -ға дейін, P , мұндағы x – өлшенетін шама бірлігіндегі өлшеу нәтижесі, $\Delta_{\text{төм}} = \Delta_{\text{г.төм}}$, $\Delta_{\text{жоғ}} = \Delta_{\text{г.жоғ}}$ – төменгі және жоғарғы шектері бар өлшеу қателігі; P – ықтималдық.

Физикалық шаманы тікелей өлшеуден алынған көп реттік бақылау нәтижелері – *тең нүктелі* деп аталады. Ал кездейсоқ шамалармен бірдей таралған болса, олар тәуелсіз. Өлшеу – бұл жағдайда бірдей, сыртқы жағдайда бір байқаушы және бір өлшеу құралымен бір-ақ рет жүргізіледі.

Тең нүктелі өлшеулерде өлшенетін шаманың нақты мәнін дәл бағалау – өлшеу нәтижелерінің тобын статистикалық өңдеу жолымен алуға болады.

Мемлекеттік стандартқа сәйкес соңғы өлшеу нәтижесі төрт форманың бірімен көрсетіледі:

1) қосынды өлшеу қателігі орналасқан белгіленген ықтималдығы бар интервалмен;

2) кездейсоқ құрам функциясы аппроксимациясына стандартты жүйелік қателік құраушысы орналасқан ықтималдықтағы интервалмен;

3) жүйелік және кездейсоқ қателіктер мен олардың орташа квадраттық ауытқуларының таралу функциясының стандартты аппроксимацияларымен;

4) өлшеу қателіктерінің жүйелік, кездейсоқ қателіктерінің таралу функциясымен.

Өлшеу нәтижесін көрсету формасын таңдау, өлшеу түрі мен олардың нәтижесін пайдалану сипатымен анықталады.

Өлшеу мен қателік нәтижелерін жазу кезінде өлшеу нәтижесі мен қателік мәндерінің кіші сандық разрядтары бірдей болуы керек.

Бақылау сұрақтары.

1. Өлшеудің негізгі түрлері мен әдістерін атаңыз.
2. «Өлшеу» операциясының «бақылаудан» негізгі айырмашылығын көрсетіңіз.
3. Өлшемнің эталоннан қандай айырмашылығы бар?
4. Қандай физикалық шама эталондарын білесіз?
5. Өлшеу кезінде қандай негізгі операциялар орындалады?
6. Өлшеу әдісіне анықтама беріңіз.
7. Өлшеу қателіктерінің жіктелуі.
8. Өлшеу құралдарының жіктелуі.
9. Құрал шкаласының бөліну бағасын қалай анықтайды?
10. Түрлі өлшеу құралдары үшін дәлдік класы қалай белгіленеді?
11. Құралдың дәлдік класын не сипаттайды?
12. Жүйелік қателіктердің пайда болу себептері?
13. Таралу заңының сандық сипаттамалары.
14. Өлшеу құралдарының метрологиялық сипаттамалары бойынша өлшеу нәтижесі қалай бағаланады?

2. ЭЛЕКТРЛІК ЕМЕС ШАМАЛАРДЫ ӨЛШЕУ

2.1. Өлшеу түрлендіргіштерінің негізгі сипаттамалары

Өндіріске мехнаизациялау мен кешендік автоматтандыруды енізу, физикалық шамалардың түрлі параметрлерін өлшеу және бақылаумен байланысты технологиялық процестерді тез, әрі дәл бақылауды қажет етеді. Әсіресе металлургиялық, химиялық және тігін салаларында электрлік емес шамалардың аса үлкен көлемін өлшеп, бақылауды талап етеді. Өлшеу техникасының дамуы, электрлік емес шамаларды өлшеу әдістерінің ішінде электрлік әдістердің жақсы ерекшеліктері бар, себебі ол төмендегілерді қамтамасыз етеді:

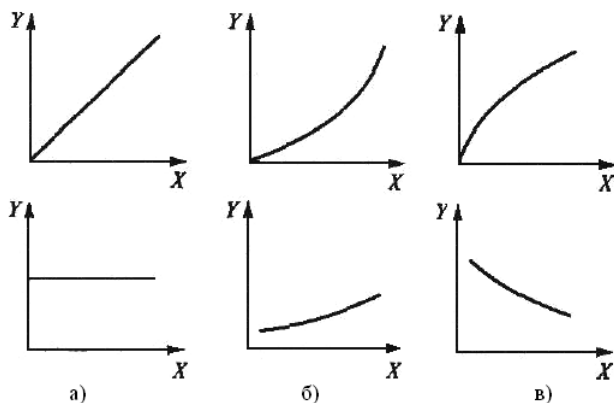
- өте аз шама сигналдарын өлшеу мүмкіндігі – электрондық күшейткіштерді қолдану, басқа тәсілдермен өлшеуге мүмкін емес сигналдарды да өлшеуге мүмкіндік береді;
- өлшенген шаманы қашықтыққа беру және соған байланысты түрлі процестерді дистанциялық басқару мүмкіндігі;
- жоғары дәлдікпен өлшеу жылдамдығы;
- электроөлшеу құралдарымен унифицирленген автоматтық құрылғыларды өлшеу және басқаруды жинақтау мүмкіндігі.

Кез келген X электрлік емес шаманы өлшеу үшін (температура, қысым, сұйық шығыны, жылдамдық, орын ауыстыру, үдеу, деформация, діріл, т.б.) оны біріншілік өлшеу түрлендіргішінің немесе датчик көмегімен (Y) шығыс электрлік шамаға түрлендіреді. Әрі қарай Y сигналы деңгейі және спектрі бойынша өзгеріске ұшырайтын өлшеу түрлендіргіші тізбегінде бір энергия түрінен, екінші түрге түрленеді. Осылайша, электрлік емес шамаларды өлшеу құралының өлшенетін шамасын X басқа шамаларға түрлендіретін және ақырында өлшенетін шама мәнін белгілі өлшеу бірлігінде анықтайтын санға (кодқа) түрлендіретін, өлшеу түрлендіргішінің тізбегі түрінде елестетуге болады.

Өлшеу түрлендіргіші – бұл өлшенетін шаманы басқа шамаға өңдеуге немесе сақтауға, индикациялауға не беруге ыңғайлы сигналға түрлендіретін нормативтік метрологиялық сипаттары бар техникалық құрал. Өлшеу объектісі әртүрлі параметрлерді сипаттайтын күрделі процесс екенін ескере келе, шығыс сигналдың *информациялық параметрі* ретінде – тікелей өлшенетін шаманы немесе өлшенетін шамамен функционалды баланысты шаманы аламыз. *Информациялық емес параметр* өлшенетін шамамен функционалды байланысты емес, бірақ түрлендіргіштің метрологиялық сипаттамаларына әсерін тигізеді.

Түрлендіргіштің жұмыс жағдайларын сипаттайтын және оның қызметіне әсер ететін параметрлер – ықпал етуші шама деп аталады. Түрлендіргіштің метрологиялық сипатының өзгеруіне ықпал етуші шаманың немесе ақпараттық емес параметрдің жұмыс жағдайларында өзгеруіне – ықпал ету функциясы деп аталады. Ықпал ету функциясы – формула, график немесе кесте түрінде қалыптастырылады.

Түрлену функциясы. Статикалық түрлену сипаттамасы (функциясы) – бұл ақпараттық шығыс сигнал параметрінің уақыт бойынша тұрақты ақпараттық кіріс сигнал параметрінен тәуелділігін өрнектейтін байланыс. Оны аналитикалық өрнекпен не график түрінде бейнелеуге болады. Аналитикалық түрде түрлену сипаты сызықты (2.1а-сурет) немесе сызықты емес (2.1бв-сурет) болатын $Y=f(X)$ тәуелділігі түрінде берілуі мүмкін. Мемлекеттік стандартқа, техникалық шарттарға, басқада, нормативтік құжаттарға сәйкес, өлшеу түрлендіргішіне жазылатын номинал, түрлену функциясы $Y_{ном} = f_{НОМ}(X)$ мен оның шын мәнінде ие болатын шынайы (жұмыс) функциясы $Y_P = f_P(X)$ деп ажыратуға болады.



2.1.-сурет. Түрлендіру функциялары:
а – сызықтық; б, в – сызықтық емес

Түрлендіргіштердің *динамикалық сипаттамасы* – информативтік шығыс сигнал параметрінің уақыт бойынша өзгертін кіріс, сигнал параметрлерінен тәуелділігі. Динамикалық сипаттамаларға: түрлендіргіштің дельта-функцияға $\delta(t)$ реакциясы болатын $g(t)$ импульстік; өтпелі $h(t)$ – бірліктік баспалдақтық сигналға реакция; беріліс функциясы – шығыс шаманың операторлық бейнесінің кіріске қатынасы $K(p)=Y(p)/X(p)$; амплитудалық және фазажиіліктіктер жатады. Түрлендіргіштің динамикалық (инерциялық) қасиеттері түрлену жылдамдығы және түрлену уақыты сияқты түсініктермен сипатталады. *Түрлену (өзгеру) жылдамдығы* – мөлшерленген қателікпен орындалатын уақыт бірлігінде түрлену санымен анықталады. *Түрлену (өзгеру) уақыты* – түрленудің басынан мөлшерленген қателікпен нәтиже алынғанға дейінгі уақыт.

Сезімталдық. Түрлендіргіш сезімталдығы – шығыс шама өзгерісінің (ақпараттық параметр), оның өзгеруін тудыратын кіріс шаманың (ақпараттық кіріс сигнал параметрі) өзгеруіне қатынасын айтады. Сезімталдық түрлену функциясының туындысына тең $S = dY/dX = \Delta Y/\Delta X$ және түрлену функциясы

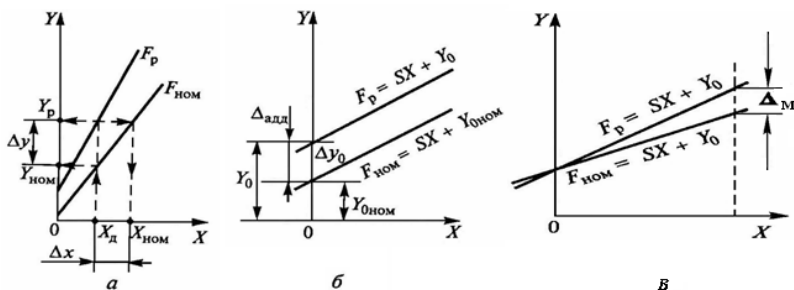
қисығының кез келген нүктесіндегі жанама иілуінің бұрыштық тангенсімен өрнектеледі.

Сызықтық түрлендіргіштер үшін сезімталдық тұрақты және мына формула бойынша анықталады:

$$S = Y/X. \quad (2.1)$$

Ал сызықтық емес үшін ол әрқашан кіріс сигналға тәуелді.

Қателік. Абсолюттік, салыстырмалы және келтірілген қателіктер кіріс және шығыс бойынша анықталады. Себебі, кіріс пен шығыс шамалардың физикалық табиғаты әртүрлі. Кіріс, шығыс бойынша қателіктерді анықтау мәні 2.2а-суретте бейнеленген.



2.2-сурет. Қателіктер графигі: а – кіріс және шығыс бойынша;
б – аддитивтік; в – мультипликативтік

Шығыс бойынша абсолюттік қателік $F_p - X$ кіріс шаманың бір ғана мәнінде шынайы F_p және номинал $F_{ном}$ түрлену функциялары мәнінің айырымы

$$\Delta_y = Y_p - Y_{ном}. \quad (2.2)$$

Қателік түрлендіргіштің өзінен пайда болатындықтан, түрлендіргіш қателігіне сәйкес, кіріс сигнал мәнін білу міндетті. Кіріс бойынша *абсолюттік қателік*:

$$\Delta X = X_{ном} - X_{\partial}$$

Мұндағы X_{∂} – кіріс шаманың нақты мәні; $X_{ном}$ – нақты мәнге X_{∂} сәйкес $Y_{ном}$, шығыс шама мәнінде $Y_{ном} = f_{ном}(X)$ номинал түрлену функциясымен анықталатын кіріс шама мәні.

Шығыс және кіріс бойынша салыстырмалы қателіктер теңдіктермен анықталады:

$$\Gamma_{шығ} = \Delta y / Y_p \quad \text{және} \quad \gamma_{кір} = \Delta X / X_d.$$

Шығыс және кіріс бойынша келтірілген қателіктер:

$$\gamma_{кел.шығ} = \Delta y / (Y_{max} - Y_{min}) \quad \text{және} \quad \gamma_{кел.кір} = \Delta X / (X_{max} - X_{min}),$$

мұндағы X_{max} , Y_{max} , X_{min} , Y_{min} – түрлендіргіштің кіріс және шығыс шамаларының максималь және минималь мәндері.

Қателіктер – түрлендіргіштің өз қасиеттерімен қоса, жұмыс жағдайларына да байланысты (қоршаған орта температурасы мен ылғалдылығы, сыртқы электр және магнит өрістерінің болуы, т.б.). Өлшеу түрлендіргіштерінің дәлдігін мөлшерлегенде «қалыпты жағдайларда» жүзеге асатын жіберілетін қателік мәндерінің аясы және ықпал етуші шамалардың өзгеруінен болатын өзгерістер көрсетіледі.

Тәжірибеде көбінесе координата басы арқылы өтпейтін сызықты түрлену функциясы бар түрлендіргіштер қолданылады (2.26-сурет)

$$Y_p = SX + Y_0, \quad (2.4)$$

мұндағы Y_0 – нөлдік кіріс мәніндегі шығыс шама мәні.

Мұндай шынайы функцияның номиналдыдан (Y_0) ауытқуы мен (S) сезімталдығынан туады. Нөлдік кіріс мәнінде номинал емес шығыс шама мәнімен шартталған қателік – *аддитивтік* деп аталады:

$$\Delta_{адд} = \Delta y_0 = Y_0 - Y_{0ном}, \quad (2.5)$$

мұндағы $Y_{ном}$ – нөлдік кіріс мәндегі шығыс шаманың номинал мәні.

Y_o өзгергенде түрлену функциясының графигі (6.2б-сурет) өзіне-өзі параллель орын ауыстырады, яғни аддитивтік қателік кіріс шамаға тәуелді емес.

S сезімталдықтың номинал емес мәнімен анықталатын қателік – *мультипликативтік* деп аталады. Негізгі қателіктің мультипликативтік құраушысы болатын сезімталдық қателігі – номиналдыңа қатысты түрлендіргіштің шынайы сипатының иілу бұрышының өзгеруіне әкеп соғады (2.2в-сурет). Бұл кезде $\Delta_m = Y_0 - Y_{ном}$ абсолюттік қателік (X) кіріс шамаға тәуелді. Мысалы, түрлендіргіштің температуралық жұмыс жағдайы өзгеріп, оның сезімталдығы ΔS -қа өзгерді және $S = S_{ном} + \Delta S$ болды, мұндағы $S_{ном}$ – түрлендіргіш сезімталдығының номинал мәні. Сезімталдықтың абсолюттік қателігі бұл жағдайда

$$\Delta_m = [(S_{ном} + \Delta S)X + Y_0] - [S_{ном}X + Y_0] = \Delta SX, \quad (2.6)$$

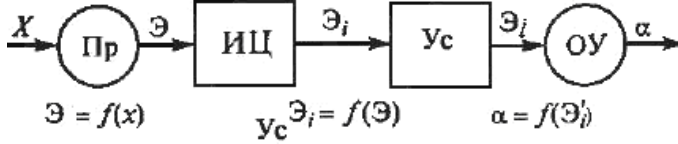
яғни, абсолюттік мультипликативтік қателік X кіріс шамаға пропорционал.

2.2. Өлшеу түрлендіргіштерінің қосылу сұлбалары

Электрлік шамалар алу үшін түрлендіргіштерді қосу сұлбаларын көбінесе электрлік емес шамаларды өлшейтін құралдардың метрологиялық қасиеттері анықтайды. Бұл құралдарды *тура* және *компенсациялық* түрлендіру құралдары деп бөлуге болады.

Тура түрлендіру әдісі. Мұндай құралдарда (2.3-сурет) өлшеу нәтижесі өлшенетін шаманың өлшеуіштің қозғалмалы бөлігіне бірнеше рет түрленуінен соң алынады. Мұндай құралдар өте қарапайым, әрі сенімді, бірақ олардың метрологиялық сипаттамалары жоғары емес.

Өлшеу түрлендіргішінде Пр Х өлшенетін электрлік емес шаманың (Э) электрлікке түрленуі жүзеге асады.



2.3-сурет. Тура түрлендіру құралының құрылымдық сұлбасы

Бұл шаманы жалпы жағдайда, өлшеу тізбегінде ӨТ бірнеше рет түрлендіруге болады. Содан соң $Э_i = f(Э)$ шамасы қажет болғанда күшейткішпен (Ус) күшейтіледі және ол (Х) кіріс шаманың мәнін тіркейтін есептеу құрылғысына түседі.

Түрлендіру функциясы өлшенетін электрлік емес шама түрленуінің әр түйіндерінің түрлену функциясын, соңғы түйіннің $α = f(Э_i')$ түрлену функциясына қоюмен алынады. Ол барлық түрлендіргіштердің жинақталған параметрлерінің түрлену функциясына әсерін есептеуге мүмкіндік береді.

Сызықтық түрлену функциясы бар тізбектей қосылған түрлендіргіштерден тұратын құрал сезімталдығы мына формуламен анықталады;

$$S_{np} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta X} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta X} \frac{\Delta \alpha_i}{\Delta \alpha} \frac{\Delta \alpha_i'}{\Delta \alpha_i} \frac{\Delta \alpha}{\Delta \alpha_i'} = S_{np} S_{иц} S_{ус} S_{оу}.$$

Яғни, ол жеке түрлендіргіштер сезімталдығының туындысына тең.

Құрал сезімталдығын толығымен ұлғайту үшін сұлбаның жеке түйіндерінің сезімталдығын ұлғайту қажет. Мұнымен қоса ол құралдың сыртқы қосымша факторларға (қорек көзінің ауытқуы, қоршаған орта температурасының өзгеруі, т.б.) сезімталдығы да ұлғаяды, бұл құралдың қосымша қателіктерінің

пайда болуына әкеледі. Бұл қателіктер қосымша факторлар мен өлшенетін шамаға сезімталдық арасындағы айырмашылық кішірейген сайын үлкейе түседі. Құралдың толық сезімталдығы тұрақты, әрі оның түрлену функциясы $\alpha=f(X)$ сызықты болуы үшін, өлшеу түрлендіргіштері түрлену функциялары сызықты және тұрақты болуы керек. Ал құрал сұлбасына кіретін жеке өлшеу түрлендіргіштерінің сипатамаларының сызықтығы, диапазон бойынша сәйкестенуі керек. Бұл кезде әр түрлендіргіштің сезімталдығы – сипаттаманың бір жағынан түрлену шегімен, екінші жағынан – сезімталдық табалдырығымен шектелетін белгілі бір бөлігінде ғана тұрақты болатынын ескеру қажет.

Түрлендіргіштің түрлену шегі – түрлендіргіштің бұзылуынсыз қабылданатын максималь кіріс шама мәні.

Түрлендіргіштің сезімталдық табалдырығы – берілген түрлендіргіш көмегімен табылатын кіріс шама мәнінің минималь өзгеруі.

Түрлендіргіштері тізбектей қосылған құрал үшін абсолюттік қателік, оған кірген барлық түрлендіргіш қателіктерінің шығысына есептелген оның алгебралық қосындысына тең:

$$\Delta y = S_{ИЦ} S_{Ус} S_{ОУ} \Delta \mathcal{E}_i + S_{Ус} S_{ОУ} \Delta \mathcal{E}_i + S_{ОУ} \Delta \mathcal{E}_i' + \Delta \alpha.$$

Мұндай құрал үшін келтірілген қателік, құраушылардың келтірілген қателіктерінің қосындысына тең:

$$\Gamma_{\text{кел}} = \gamma_{\text{кел.Пр}} + \gamma_{\text{кел.ИЦ}} + \gamma_{\text{кел.Ус}} + \gamma_{\text{кел.ОУ}}, \quad (2.7)$$

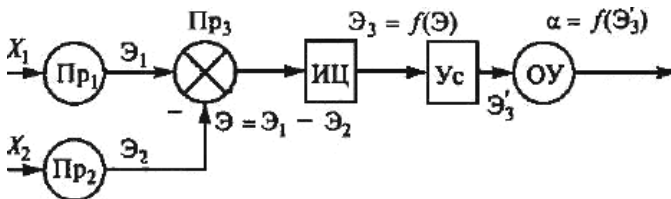
ал құраушылар арасында корреляция болмаған жағдайда, келтірілген орташа квадраттық қателік төменгі формуламен анықталады:

$$\gamma(\sigma)_{np} = \sqrt{\gamma^2(\sigma)_{np.Пр} + \gamma^2(\sigma)_{np.ИЦ} + \gamma^2(\sigma)_{np.Ус} + \gamma^2(\sigma)_{np.ОУ}}. \quad (2.8)$$

Айтылғандардан көрініп тұрғандай, X электрлік емес шама қателігі, барлық тізбектей қосылған түрлендіргіштер қателігіне тәуелді.

Құралдарда дифференциалдық қосу сұлбасын қолдану (2.4-сурет), құралдардың метрологиялық сипаттамаларын жақсартады. Мұндай сұлбалар негізін шегергіш түрлендіргіш құрайды, оның екі кірісі бар, шығыс шамасы екі аттас сигналдар айырымының тақ функциясы болып саналады $\Theta = F(\Theta_1 - \Theta_2)$.

Мұнда тізбектей қосылған бірдей жұмыс жағдайында жұмыс жасайтын екі өзінше канал бар, олардың бірі жұмыс түрлендіргішке ($Пр_1$), екіншісі жұмыс істемейтін түрлендіргішке ($Пр_2$) қосылған. $Пр_1$ және $Пр_2$ түрлендіргіштерінің кірісіне түсетін X_1 және X_2 электрлік емес шамалары Θ_1 және Θ_2 электрлік сигналдарға түрленеді де, шегеруші түрлендіргішке ($Пр_3$) түседі. $\Theta = \Theta_1 - \Theta_2$ сигналы шегеруші түрлендіргіш шығысынан әрі қарай, тура түрлендіру тізбегімен жүреді.



2.4-сурет. Дифференциалдық түрлендіргіші бар құралдың құрылымдық сұлбасы

Дифференциалдық сұлба қасиеттерін жалпы түрде қарастырсақ, $Пр_1$ және $Пр_2$ түрлендіргіштері (2.4) түріндегі түрлену функциясына ие деп аламыз:

$$Y_1 = SX_1 + Y_0; \quad Y_2 = SX_2 + Y_0. \quad (2.9)$$

Сонда дифференциалдық түрлендіргіштің түрлену функциясы мына түрде жазылады;

$$Y = Y_1 - Y_2 = S(X_1 - X_2). \quad (2.10)$$

Түрлендіргіштердің дифференциалдық қосылу сұлбасының жұмысын екі режимде қарастыралық.

1. $X_1 = X$ болсын, ал X_2 – мәні тұрақты аттас физикалық шама. Сонда түрлену функциясы $Y=SX$ тәуелділігі болады, ал оның сезімталдығы бір каналдың сезімталдығына тең: $S_d = dY/dX = S$. Екінші канал бұл жағдайда құралдың жұмысы кезіндегі өзгерістермен байланысты қателікті жөндеуге қолданылады.

2. Алдын ала түрленген өлшенетін шама екі каналға бір уақытта әсер етсін, бірақ қарсы фазада $X_0 = \text{const}$ болғанда:

$$X_1 = X_0 + X; \quad X_2 = X_0 - X.$$

Бұл жағдайда түрлену функциясы:

$$Y = 2S. \quad (2.11)$$

Ал оның сезімталдығы S_d бір каналдың сезімталдығынан екі есе үлкен болады:

$$H_d = 2H \quad (2.12)$$

және бұл қатынастар, өлшенетін шама X аз болған сайын жақсы орындалады.

Енді дифференциалдық түрлендіргіш қателігін қарастырайық. Pr_1 және Pr_2 түрлендіргіштері аддитивтік қателікке ие болсын. Оны былай жазуға болады:

$$Y_1 = SX_1 + \Delta Y; \quad Y_2 = SX_2 + \Delta Y.$$

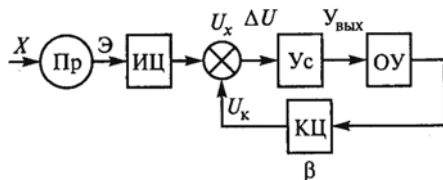
Екі каналдың қателіктері де ΔY -ке тең деп есептеуге болады. Себебі, каналдар бірдей, әрі бірдей жағдайда орналасқан. (2.10) өрнегінен дифференциалдық функция үшін екі каналдың да аддитивтік қателіктері өзара өтелетіні көрінеді.

Кіріс сигнал X деңгейіне тәуелді мультипликативтік қателік – өлшенетін шама кіші болған сайын кішірейді, ал жоғарылаған сайын түрлену функциясының сызықтылығы тұрақтанады.

Екінші режимде дифференциалдық түрлену сұлбасы функциясының сызықтығы өте жоғары және X кіші болғанда, Пр1 және Пр2 түрлендіргіштерінің түрлену функциясының сызықтығы көрінеді.

Компенсациялық түрлену әдісі. Мұндай құралдарда (теріс кері байланысты қолданғанда) аддитивтік те, мультипликативтік те қателіктерді азайтуға болады. Кері байланысты қолдану – шығыс қуаты үлкен, статистикалық және динамикалық қателіктері бар құралдарды қолдануға мүмкіндік береді.

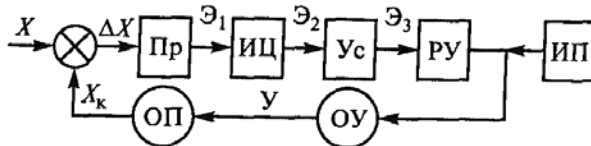
Мұндай құрал сұлбасы 2.5-суретте көрсетілген. Оның түрленуінен кейін кіріс электрлік емес шама X , екінші кірісіне – шығыстан алынатын кернеу U_k түсетін шегеруші түрлендіргіштің бірінші кірісіне, электрлік сигнал (U_x) түрінде түседі.



2.5-сурет. Компенсациялық түрлендіргіші бар құралдың құрылымдық сұлбасы

Компенсациялық тізбек ΔU айырым өте аз болатындай күшейткіштің U_c шығыс кернеуі болып, іске қосылады. Өлшенетін электрлік емес шаманың өлшемі болып, компенсациялық тізбекке әсер ететін шама $y_{\text{вых}}$ алынады. ОУ өлшеуіші бұл жағдайда механикалық құрылғы болады, мысалы көпір тізбегіне немесе компенсаторға қосылған реохорд. Жалпы өлшеу қателігі – тек Пр өлшеу түрлендіргіші қателігінен, өлшеу және компенсациялық тізбектен құралады. Осы түйіндердің

қателігін болдырмау, өлшенетін электрлік емес шамаларды өлшейтін құралдарда жүзеге асырылады (2.6-сурет).



2.6-сурет. Қателіктерді бөлшектеп компенсациялау құрылғысының құрылымдық сұлбасы

Мұнда кері түрлендіргіш КТ шығыс электрлік шаманы $У$, $Х$ өлшенетін шамамен біртектес электрлік емес шамаға ($Х_k$) түрлендіреді. Э электрлік шамаға түрленген және күшейткішпен күшейтілген $Х$ және $Х_k$ (ΔX) арасындағы айырым қорек көзіне (ҚК) байланысты реттеуші құрылғыға (РК) әсер етеді. Нәтижесінде өлшеуіш пен кері түрлендіргішке электрлік емес шамаға түрленген электрлік шама ($У$) беріледі, $Х$ өлшенетін шаманы компенсациялайды. Сонымен, тура түрлендіру тізбегі кері түрлендіргішпен қамтып, $\Delta X \ll X$ кезінде барлық түрленетін түйіндердің қателігі жойылады. Алдыңғы жағдаймен салыстырғанда мұнда тура түрлену қателігінің орнына, кері түрлену қателігі пайда болды. 2.5-суреттегі сұлбадан 2.6-суреттегі сұлбаға өткенде, кері түрлену қателігі тура түрлену қателігінен аз болғанда ғана ұтамыз. Кері байланысты құралдарда кері байланыс түрлендіргіші рөлін жоғары дәлдікті қарапайым құрылғылар атқарады. Бұл кезде құралдың өзі жоғары дәлдікке ие.

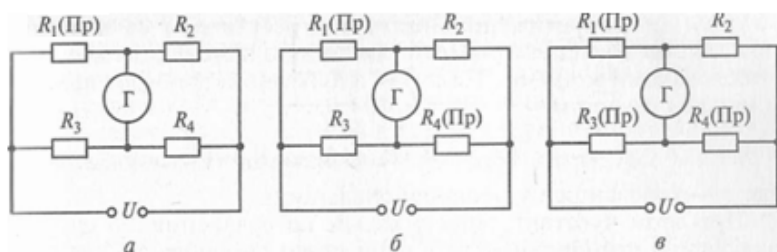
Электрлік емес шамаларды электрлік әдістермен өлшеудің көпшілігі 0,5... 1,0%-тен төмен жіберілетін қателікті қажет етпейді, себебі түрлендіргіштердің өз қателіктері де өте үлкен. Бірақ, өлшеу құрылғысы шкаласы бойынша шаманы тікелей тез өлшейтін жай құралдарды қажет етеді. Электрлік емес

шамаларды өлшеу жұмыстарында көпірлік және компенсациялық сұлбалар қолданылады.

Түрлендіргіштерді көпірлік сұлбаларға қосу. Көпірлік сұлбаның сезімталдығы түрлену функциясының сызықтығына талаптарға байланысты түрлендіргіштерді көпірлік сұлбаларға қосудың үш әдісін айтуға болады (2.7-сурет).

Көпірдің бір иығына қосылған түрлендіргіші бар көпір ($R_{np}=R_1$) (2.7а-сурет). Бұл жағдайда симметрия кезінде $R_1=R_2$, $R_3=R_4$ жағдайлары орындалғанда, гальванометрдегі ток көпірінің жұмыс режимі тиімді болады.

$$I_{\Gamma} = U \frac{\varepsilon}{4R_1 \left(\frac{1+\varepsilon}{2+\varepsilon} + \frac{1}{2} \right)}. \quad (2.13)$$



2.7-сурет. Түрлендіргіштерді көпірлік сұлбаға қосу тәсілдері:
а – көпірдің бір иығына; б – қарама-қарсы иықтарға; в – екі көрші иықтарға

Бұл тендеуден көрініп тұрғандай, түрлендіргіштерді осылай қосу кезінде түрлену функциясының 2...3%-ке жететін бейсызықтығы орын алады ($\varepsilon=\Delta R_1/R_1$ алымы мен бөліміне кіреді).

Қарама-қарсы иықтарға қосылған екі жұмыс түрлендіргіштер көпірі ($R_{np}= R_1 = R_4$), (2.7б-сурет). Бұл қосу, сұлба сезімталдығын арттыру қажет болғанда қолданылады.

Шынында, гальванометр бағдарының ауытқуы $R_1R_4 - R_2R_3$ айырымына пропорционал. Егер R_1 және R_4 кедергілері бір шамаға ұлғайса, онда сұлба сезімталдығы бір жұмысшы түрлендіргіші бар сұлбаға қарағанда екі есе өседі. Мұндай қосу кезінде температуралық қателікті өтеу үшін жұмыс істемейтін түрлендіргіштердің екі иығына қосу қажет болады. Жұмысшы түрлендіргіштерді қосу кемшілігіне, түрлену функциясының бейсызықтығы жатады. $R_1R_4 = R_2R_3$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ және $\Delta R_1 = \Delta R_4$ кезінде гальванометрдегі ток күші мына формуламен анықталады:

$$I_r = U \frac{\varepsilon}{4R_1 \left(1 + \frac{3}{4} \varepsilon\right)}. \quad (2.14)$$

Осы теңдеуден көрініп тұрғандай, бұл жағдайда алдыңғы жағдайға қарағанда бейсызықтық әлдеқайда үлкен. (7.....10 %).

Көпірдің екі көрші иығына қосылған екі жұмысшы түрлендіргіші бар көпір ($R_{\text{кр}} = R_1 = R_4$), (2.7в-сурет). Бұл түрлендіргіштер – дифференциалдық типті болады. Екі кедергі (белсенді, реактивті немесе толық) электрлік емес шама әсерінен қарама-қарсы таңбамен өзгереді. Сонда гальванометрдегі ток айырымға тең:

$$I_r = c[(R_1 + \Delta R_2)R_4 - (R_2 - \Delta R_2)R_3],$$

мұндағы c – пропорционалдық коэффициент.

Бұл жағдайда бір иықты қосу жағдайымен салыстырғанда, сұлба сезімталдығы екі есе ұлғаяды. Бір мезгілде температура да өтеледі.

Тиімді жағдайлар орындалғанда төмендегіні аламыз:

$$I_r = U \frac{\varepsilon}{(2 + \varepsilon^2 / 2)}. \quad (2.15)$$

Бұдан дифференциалдық түрлендіргіші бар құрал шкаласы, алдыңғы екі сұлбаға қарағанда үлкен сызықтыққа ие екені көрініп тұр. Бейсызықтықтың максималь дәрежесі 0,5% шамасында болады. Сонымен, түрлену функциясының бейсықтығы аз болғанда көпірлік сұлбаның үлкен сезімталдығын алу үшін, дифференциалдық түрлендіргіші бар сұлбаны қолдану қажет.

Жоғарыда көрсетілген барлық жағдайлар тұрақты токқа да, айнымалы ток көпірлеріне де қатысты, айырмашылығы – айнымалы ток көпірінде белсенді кедергі орнына кешендік кедергі (Z) енгізіледі. Ал көпірді теңдестіргенде көпір иықтарындағы ток пен кернеу арасындағы фазалық ығысуларды өтеу қажет.

Көпірлік сұлбаның тиімді параметрлерін таңдау. Егер көпірлік тізбек соңғы кедергі нұсқағышына жұмыс істесе, онда жоғары сезімталдықты алу үшін нұсқағыш кедергісін шығыс кедергімен сәйкестендіру қажет екені белгілі.

Симметриялық көпірлік сұлбалар. Электрлік емес шамаларды өлшеу тәжірибесінде симметриялық көпірлік сұлбалар қолданылады (2.7,1-сурет). Симметриялық көпірлік сұлбаның екі түрі бар:

$$1) R_1 = R_2, R_3 = R_4;$$

$$2) R_1 = R_3, R_2 = R_4.$$

Егер симметрияның бірінші түрі алынса, онда көпірдің белсенді элементтері R_1 және R_2 иықтары болып саналады; сонда нұсқағыштағы максималь ток күші $R_3 = R_4 \rightarrow 0$. Егер симметрияның екінші түрі алынса, онда көпірдің белсенді элементтері $R_1=R_3$ деп есептесек, кернеудің максималь өсуі $R_2 = R_4 \rightarrow \infty$.

Көпірлік тізбек кедергілерінің арасындағы тиімді қатынастар әр симметрия үшін әртүрлі болады.

$R_1=R_2$ және $R_3=R_4$ симметрия кезінде нұсқағышпен алынған қуат үшін мынандай өрнек аламыз:

$$P_{\text{ук}} = U^2 \frac{\varepsilon^2}{32(R_1 + R_3)}$$

мұндағы ε – көпір сезімталдығы.

Бұл өрнектің максимумы $R_1 = R_4 \rightarrow 0$, ал өлшеу кедергісі мен көпірдің шығыс кедергісі арасындағы сәйкестену шарты төмендегідей :

$$R_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}, \quad (2.16)$$

алайда осы шарт орындалғанда көпірдің ток күшінің қуаты шексіз. Егер корек қуаты шектелсе, онда ең жақсы ток көзін қолдану тарапынан тең иықты көпір тиімді:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_1.$$

Іс жүзінде нұсқағыштан алынатын қуаттың түрлендіргіш қуатына қатынасы үлкен мәселе болып отыр.

$$P_{\text{ук}}/P_{\text{пр}}$$

$R_1=R_2$ және $R_3 = R_4 \rightarrow 0$ кезінде сілтегіштен алынатын қуат $P_{\text{ук}}=P_{\text{пр}}\varepsilon^2/8$ болады. Сонда тең иықты көпірде, $P_{\text{ук}}=P_{\text{пр}}\varepsilon^2/16$. Сонымен, $R_1=R_2$, $R_3=R_4$ симметриясында R_3 және P_4 кедергі мәндерін, ток көзі қуатымен шектелетін мәнге дейін азайту қажет.

$R_1=R_3$; $R_2=R_1$ симметриясы үшін $P_{\text{ук}}$ максимумы $R_4= R_1/2$ кезінде алынады, соған сәйкес $R_{\text{ук}} = (2/3) R_1$. Мұнда $R_{\text{ук max}}=R_{\text{пр}} \varepsilon^2 /24$, яғни бірінші түрдегі симметриядан кіші, егер ток қуаты шектелмесе, онда $R_1= R_2$, $R_3 = R_4$. симметриясы дұрыс болып есептеледі.

Симметриялық сұлбаларды қолдану, температуралық қателікті болдырмайды, өйткені түрлендіргішпен көрші иық

(R_2 немесе R_3) ұқсас орындалады. Шынында да, көпір теңдігінің теңдеуі $R_1 R_4 = R_2 R_3$ болып өрнектеледі. Егер, бірінші симметрия жағдайында, R_1 және R_2 тең кедергілер өз мәндерін ΔR -ға бір уақытта өзгертсе, онда көпір тепе-теңдігі бұзылмайды. Мұндай қасиеттің өлшеу сұлбасына, жойылған түрлендіргіштерге және кедергі термометрлеріне қатысы жоқ..

Компенсациялық тұрақты және айнымалы ток сұлбалары.

Электрлік емес шамаларды өлшеу үшін көпірлік сұлбалардан бөлек, компенсациялық тұрақты және айнымалы ток сұлбалары кең таралған. Қуаты жоқ және жоғары сезімталдығы бар компенсациялық сұлбалар түрлендіргіштермен, мысалы терможұптармен алынатын аз ЭҚК өлшеу үшін қолданылады. Тәжірибеде қолданылатын теңестіретін компенсаторлардың қолмен басқарылатын компенсаторлардан негізгі айырмашылығы – компенсациялық сұлба баланстан кеткен кезде, айналатын реверсивті электрқозғалқышымен басқарылатын қозғалғышы сырғытын, рехорд түріндегі жұмысшы тізбек бөлігінің болуы.

Электрлік емес шамаларды өлшейтін құралдар индикаторын екі топқа бөлуге болады: нөл және ағымдағы мән сілтегіші. Тепе-тең көпірлер мен тұрақты ток компенсаторлары үшін индикатор ретінде магнитоэлектрлік гальванометрлер қолданылады. Бұл гальванометрлер, сұлбаның шығыс кедергісімен сәйкесу үшін гальванометр кедергісінің шамасы бойынша және гальванометрдің қозғаламалы бөлігінің «қанағаттанарлық» немесе «қанағаттанарлықсыз» режимдерін болдырмау үшін сыртқы критикалық кедергі бойынша таңдалады. Тепе-тең айнымалы ток индикаторлары ретінде – вибрациялық гальванометрлер, электрондық құралдар, телефондар, түзеткіші бар түрлі құралдар алынады.

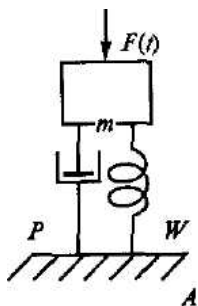
Тепе-тең емес көпірлер үшін индикатор таңдағанда, тепе-тең көпірлерге арналған талаптар қойылады. Сонымен қатар, сілтегіш дәлдігі де ескеріледі, себебі тепе-тең емес көпірлерде оның қателігі – толығымен өлшеу қателігінің құрамына кіреді.

Тепе-тең емес тұрақты және айнымалы ток көпірлері үшін барлық жүйелердің тұрақты және айнымалы токтарына сәйкес көрсеткіш құралдарын қолдануға болады.

Өте тез процестерді (соққы, жарылыс, т.б.) тіркеу кезінде сілтегіш ретінде электрондық осциллографтар қолданылып, оның өлшеу нәтижелері электрондық-сәулелік түтікше экранынан суретке түсіріледі. Мұндай құралдар, жиілігі 100 кГц-ке дейінгі және одан жоғары процестерді тіркейді.

2.3. Өлшеу құралдарының динамикалық қасиеттері

Уақыт бойынша айнымалы шамаларды (қысым, үдеу, т.б.) өлшейтін түрлендіргіштерді таңдағанда түрлендіргіш жұмысының динамикалық режиміне байланысты, олардың инерциялық қасиеттерімен анықталатын қателіктерді ұмытпау қажет. Өлшеу түрлендіргішінің жалпы үлгісі 2.8-суретте көрсетілген.



2.8-сурет. Өлшеу түрлендіргішінің физикалық үлгісі:

$F(t)$ – сыртқы айнымалы күш;
 P – демпфер (тыныштандырушы);
 W – серпінге;
 m – масса;
 A – қозғалмайтын дене

Сыртқы айнымалы күш $F(t)$ серпімді элементпен (мысалы, W серпінге), қозғалмайтын денемен (A) байланысқан массаға (m) әсер етеді. Мұндай түрлендіргіште екі түрлі қателік болады: амплитудалық және фазалық.

Амплитудалық қателік. Егер m массасына $F(t)$ айнымалы күш берілсе, онда ол әсер еткенде m массасы тербелісінің

амплитудасы, күштің бір рет әсер еткендегі амплитудасынан жоғары болады.

$F(t)$ күш өзгеруінің синусоидалық заңы кезінде динамикалық режимде түрлендіргіштердің қозғалмалы бөлігінің қозғалыс теңдеуін зерттеу нәтижесінде $\Delta=f(\lambda)$ тәуелсіздігінің қисықтары алынды (2.9-сурет).

Мәжбүрлі тербелістердің амплитудалық қателігі – динамикалық режимдегі ең үлкен тербеліс амплитудасының (мәжбүрлі тербелістер) бір реттік күш әсерінен, қозғалмалы бөліктің амплитудасына қатынасы:

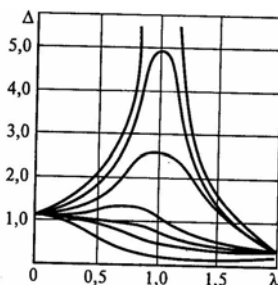
$$\Delta = X_{\max \Delta} / X_{\max \text{ ер.}}$$

Қозғалмалы бөліктің синусоидалық тербелісі кезінде амплитудалық қателік:

$$\Delta = \frac{\lambda^2}{\sqrt{(\lambda^2 - 1)^2 + 4\beta^2 \lambda^2}}$$

мұнда $\lambda=\omega/\omega_0$ – мәжбүрлі тербелістің бұрыштық жиілігінің қозғалмалы бөлігінің өзіндік тербелістері жиілігіне (ω_0) қатынасы; $\beta = P/P_{\text{кр}}$ – қозғалмалы бөліктің тынышталу дәрежесі; $P_{\text{кр}}$ – масса қозғалысының критикалық режимінде тынышталу коэффициенті, яғни ең кіші тынышталу уақытында.

2.9-суреттегі қисықтардан көрініп тұрғандай, β -ның аз мәндерінде $\lambda=1$ кезінде ($\omega=\omega_0$) резонанс максималь амплитудалық қателік орын алады. Сондықтан, динамикалық режимде жұмыс істейтін орын ауыстырулар мен күштер түрлендіргішінде $\lambda= \omega/\omega_0$ бірден барынша кіші болуы керек. Яғни, өз жиілігі (ω_0) өлшенетін процестің (ω) жиілігінен үлкен болуы керек.



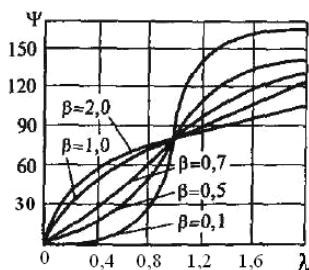
2.9-сурет. Түрлендіргіштердің амплитудалық қателігі

Егер түрлендіргіштің өзіндік жиілігі (ω_0) өлшенетін процесс жиілігінен (ω) кіші болса, онда бөлшек (m массасы) F күшімен жанасуынан шығады да, өлшеулер дұрыс болмайды. 2.9-суреттегі қисықтардан көрініп тұрғандай, Δ амплитудалық қателігі қозғалмалы бөліктің тынышталу дәрежесіне де тәуелді және $\beta = 0,6 \dots 0,7$ кезінде ең кіші мәнге ие.

Фазалық қателік. Түрлендіргіштердің фазалық қателігі қозғалмалы бөліктің мәжбүр тербелістерінің өлшенетін шама тербелістерінен кешігуімен өрнектеледі (2.10-сурет). Суреттен көрініп тұрғандай, $\beta = 0,7$ кезінде фазалық қателік өзгерісі λ -ден сызықты тәуелділікке, ал λ -ның кіші мәнінде кіші тәуелділікке (ψ) ие. Фазалық қателік төмендегідей анықталады:

$$\psi = \arctg \frac{2\beta\lambda}{\lambda^2 - 1}$$

Сонымен, уақыт бойынша айнымалы механикалық шамаларды өлшеу кезінде үлкен амплитудалық және фазалық қателіктерді болдырмау үшін, тербелістің өз жиіліктері мен өлшенетін процесс жиілігі қатынасын қамтамасыз ететін түрлендіргіш параметрлерін таңдап алу қажет. Сондай-ақ, қозғалмалы бөліктің тынышталуы $\beta = 0,6 \dots 0,7$ болу керек.



2.10-сурет. Түрлендіргіштердің фазалық қателігі

Түрлену жүйесінің қателіктері. Өлшеу түрлендіргіш-терінің тізбегінен тұратын құралдың негізгі қателігі екі құраушыдан құралады:

- әр түйінге кіретін (мысалы, кедергі – қиыстыру кедергісі, механизмнің қозғалмалы бөлігіндегі үйкеліс, түйін бөлшегін дайындауда мұқияттылықтың жетіспеушілігі), элементтер қателігімен шартталған аспаптық қателіктер;
- күшейткіш пен индикаторлардың сезімталдығының жеткіліксіздігінен болатын қателіктер.

Тізбек түйіндерінің әрқайсысы құралдың негізгі қорытынды қателігіне өз үлестерін қосады. Ал тура түрлендіру кезінде барлық түйіндер жалпы қателік әсерінің дәрежесі бойынша бірдей болады. Сондықтан, түрлендіру тізбегінде түйіндер санын азайтуға тырысады.

Электрлік емес шамаларды өлшеу дәлдігі, ескерілуге міндетті қосымша факторларға да байланысты. Оларға – кернеу, жиілік пен кернеу көзі қисығы пішінінің өзгеруі, қоршаған ортаның температурасы, ылғалдылығы мен вибрация жатады.

Қосымша факторлардың әсері әр түйіннің сол факторларға сезімталдығымен анықталады. Яғни, берілген түйіннің шығыс шамасының өзгеруі, қосымша фактордың өзгеруіне қатынасымен анықталады.

Қосымша факторлар, қосымша нөл қателігі құраушысы мен құрал сезімталдығы қателігін тудырады. Кернеу көзі өзгергенде

барлық тізбек көпірлерінде сезімталдық қателігі пайда болады да, күшейткіштерде сезімталдық өзгереді. Температура өзгергенде серпімді элементтердің қаттылығы, тұрақты магнит индукциясы, ферромагниттік материалдардың магниттік қасиеттері өзгереді. Сонымен қатар, құралдың сезімталдық және нөлдік қателігі сұлбаның жеке элементтерінің уақыт бойынша өзгеруі, сұлба элементтеріндегі шу, өнеркәсіптік жиіліктің сілтеулері, т.б. салдарынан болуы мүмкін.

Қосымша қателіктерді азайту үшін кернеу мен қорек көзі жиілігін тұрақтандырып, осы қателіктерді түзетудің түрлі әдістерін қолданады. Құрал элементтері параметрлері мен физикалық қасиеттерінің уақыт бойынша тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар, бірнеше өзара түйіндерден тұратын күрделі өлшеу құралдарының қателігін саралау кезінде қателіктерді – жүйелік және кездейсоқ деп шектеу әр кезде бола бермейді. Мысалы, қорек көзі кернеуінің тербелісінен болатын қателік, жүйелік болып табылады. Себебі әр $\pm 10\%$ кернеу көзінде құрал $+1\%$ сезімталдық өзгерісіне ие болуы мүмкін. Алайда, қорек көзінің тез өзгеруі хаустық түрде болады да, соның әсерінен болатын қателік – осы кернеудің бірімдік функциясы болып есептелгенімен, болашақта ол кездейсоқ шама функциясына айналады. Бұл, өлшеу құралдарының қателіктерін қосуды қиындатады. Сондықтан, күрделі өлшеу құралдарының қателіктерін өлшеу мен қосу әдісін таңдау кезінде қателіктерді жүйелік және кездейсоқ емес, олардың күшті немесе әлсіз, өзара корреляциялық байланыстары бойынша бөлу қажет. Бір немесе бірнеше түрлендіргіштердің қателігі нәтижесінде өзара жақсы байланысатындай бір себептен туса, онда бұл қателіктер бір заңмен таралады. Сондықтан, осы топтардың әрбіреуінің ішіндегі қателіктер – олардың таңбасы ескерілетіндей, алгебралық түрде құралады.

Әр топтың қайсысының қосындысынан алынған қорытынды қателіктер өзара күшті корреляциялық байланыспайды және ол тәуелсіз қарастырылып, геометриялық түрде құрылуы қажет.

2.4. Өлшеу түрлендіргіштерінің жіктелуі

Түрлендіргіштер әдетте жұмыс принципі немесе практикалық қолданылуы бойынша жіктеледі. Белгіленуі бойынша түрлендіргіштер – алғашқы (бастапқы, бірінші) түрлендіргіштер (датчиктер), жүйеленген және аралық болып бөлінеді.

Алғашқы түрлендіргіштер – өлшеу тізбегінде бірінші болып есептеледі және ол сезімтал элементтен (зонд, мембрана) және кіріс электрлік емес шаманы – шығыс электрлік шамаға түрлендіретін басқа да барлық қажетті элементтерден тұрады. Датчик бір құралымға жиналған бір немесе бірнеше өлшеу түрлендіргіштерінен тұрады. Датчикке өлшенетін электрлік емес шама (күш, қысым, деңгей, температура, т.б.) тікелей әсер етеді.

Жүйеленген унификация – датчик пен сәйкестендіру сұлбасынан тұрады. Өлшенетін физикалық шама энергия көзі көмегімен мөлшерленген шығыс шамаға түрленеді. Мөлшерленген тұрақты ток сигналдары $0 \dots \pm 5$ мА немесе $0 \dots \pm 20$ мА диапазонында жатады. Ығысқан нөлдік құрылғы үшін ток диапазоны таратылған: $\pm 1 \dots \pm 5$ мА немесе $\pm 4 \dots \pm 20$ мА.

Қажет болғанда жағдайда ток сигналдары диапазонының шектері мына аралықта жатады: төменгі 0...5 мА, жоғарғы 25 мА. Мөлшерленген ток сигналдары бар құралдарда ішкі кедергісі 1 кОм-нан аспайтын түрлі өлшеу құралдары қолданылады. Кернеу сигналдары диапазондарының мөлшерленген мәндері 0...+10 В құрайды, өлшеу құралдарының ішкі кедергісі 1 кОм-нан аз болмауы керек. Жиілік шығыс шама ретінде алынғанда ұсынылатын өзгеру диапазоны 5... 25 Гц-ті құрайды. Пневматикалық жүйелерде газ қысымы мөлшерленген, ол 0,02...0,1 МПа аралығында жатуы керек. Аралық түрлендіргіш өлшеу түрлендіргішінен сигнал алады да, түрлендіруден кейін осы сигналды келесі түрлендіргішке береді.

Кіріс шаманың түрлену сипатына қарай өлшеу түрлендіргіштері – *сызықтық* және *бейсызықтық* болып бөлінеді. Сызықтық түрлендіргіштерде кіріс пен шығыс шамалары

арасындағы функционалдық тәуелділік – сызықтық; ал бейсызықта – сызықтық емес.

Жұмыс принциптері бойынша датчиктер – *генераторлық* және *параметрлік* болып бөлінеді. Генераторлық датчиктердің шығыс сигналы өлшенетін шамамен, мысалы терможұп ЭҚКмен функционалды байланысты ЭҚК – кернеу, ток немесе электр заряды болып саналады. Параметрлік датчиктерде өлшенетін шама – оған пропорционал электр тізбегі $\{R, L, C\}$ параметрінің, мысалы реостаттық датчик кедергісінің өзгеруін тудырады. Генераторлыққа: индукциялық, пьезоэлектрлік, термоэлектрлік және кейбір электрохимиялық датчиктер жатады. Қалған датчиктер параметрлік болып есептеледі.

Жұмыс принципі бойынша оларды төмендегідей бөлуге болады:

- *резистивтік* – мұнда өлшенетін шама, оның кедергісінің өзгерісіне түрленеді;

- *электромагниттік* – мұнда өлшенетін шама, индуктивтілік немесе өзара индуктивтілік өзгерісіне түрленеді;

- *сыйымдылықтық* – өлшенетін шама, сыйымдылық өзгерісіне түрленеді;

- *пьезоэлектрлік* – динамикалық күш, электр зарядына түрленеді;

- *гальваномагниттік* – Холл эффектісіне негізделген және магниттік өрісті ЭҚК-не түрлендіреді;

- *жылулық* – өлшенетін температура, ЭҚК-не немесе термокедергі шамасына түрленеді;

- *оптоэлектрондық* – оптикалық сигналдар, электрлікке түрленеді.

Датчиктер үшін негізгі сипаттамалар: түр, өлшенетін шама диапазоны, жұмыс температурасының диапазоны және осы диапазондағы қателік, жалпыланған кіріс пен шығыс кедергілері, жиіліктік сипаттамалар.

Датчиктердің қолданылу аясы әртүрлі. Жаңа дайындау технологиялары (жоғары вакуумдық тозаңдату, химиялық

тұндыру, фотолитография, т.б.) мен жаңа материалдардың арқасында олардың қолданылу аясы ұдайы кеңейіп жатыр. Енді солардың кейбіреулерін қарастырайық.

Өнеркәсіптік техникада стандарт датчиктер – шығынды, көлемді, қысымды, температураны, деңгейін және химиялық құрамды өлшеуге қолданылады. Стандартты датчиктердің ішінде қазір оның жаңа типті түрлері кең қолданылады, мысалы:

- күй, орын ауыстыру және бейнелеу датчиктері;
- оптикалық және талшықты-оптикалық датчиктер;
- биодатчиктер (биотехнология);
- көп координаттық датчиктер (бейнені танып-білу).

2-кесте

Датчиктердің түрлері және олардың қолданылу аясы

Түрлендіргіш түрлері	Қолданылуы								
	Қысым (күш)	Ығысу	Күй	Жыл-дамық	Үдеу	Виб-рация	Темпера-тура	Магнит-тік ағым	Оптика-лық өлшеу
Тензодатчик	•	•	•	•	•	•			
Потенциометрлік	•	•	•	•	•				
Сызықтық дифференциалдық трансформатор	•	•	•	•	•				
Айнымалы индуктивтілік		•	•	•	•	•			
Холл эффектісі		•	•					•	
Құйын тәрізді ток		•	•	•					
Магнит-резистивтік		•	•					•	
Сыйымдылықтық датчик	•	•	•		•	•			
Пьезоэлектрлік*	•	•		•	•	•			
Кедергі термометрі							•		
Термистор							•		
Терможұп*							•		
Фотоэлемент									•
Фотокедергі									•
Фотогальваникалы қ элемент*									•

*Автогенерацияланатын, белсенді құралдар.

Қазіргі заманғы өндіріс үшін интерактивті режимдегі датчиктер қолданысқа енген, яғни олардың өлшеу нәтижелері процесті реттеуге бірден қолданылады. Осыған байланысты кез келген уақытта технологиялық процесті түзету қамтамасыз етіледі. Кәсіпорындық қолданыста анықтаушы фактор, процесті реттеу кезінде 1... 2 %-дан аспайтын, ал бақылау үшін – 2 ...3 %-дан, қателіктер болып саналады.

Күрделі ақпараттық жүйе болып саналатын *роботты-техникада* робот – ақпарат алу, өңдеу және түрлендіруді қамтамасыз етеді. Датчиктер арқылы ақпарат алынғанда роботқа ең алдымен «көру» және «сезу» қабілеті керек, яғни оптикалық және көп координаттық датчиктерді қолданады.

Автокөлік электроникасы үшін датчиктерді дайындау кезінде жеке көлік жүйелері (рульдік басқару, тежегіш, двигатель, кузов электроникасы) үшін минималь өлшемді датчиктердің үнемді дайындалуын, қауіпсіздік пен сенімділікті (блоктау жүйесі, ұрлаудан қорғағыш жүйе), ақпараттық жүйе (отын шығыны, температура, қозғалыс бағыты, т.б.) қамтамасыз ететін жаңа технологиялар қолданылады. Осы датчиктердің көмегімен түрлі физикалық шамалар – температура, қысым, айналу жылдамдығы, үдеу, ылғалдылық, орын ауыстыру немесе бұрыш, шығын, т.б. өлшенеді. Қоршаған орта әсеріне байланысты бұл датчиктерге қойылатын талаптар өте жоғары. 2-кестеде кейбір датчиктердің қолданылу аясы келтірілген.

Бақылау сұрақтары.

1. Электрлік емес шамаларды электрлік өлшеу әдістерінің ерекшеліктері.
2. Құралдардың графиктік құрылымдық сұлбасын жасаңыз:
 - а) тура түрлендіру құралының;
 - ә) теңдестіретін түрлену құралының;
 - б) теріс кері байланысы бар құралдың;
3. Аналитикалық өрнекті жазыңыз:

- а) құрал сезімталдығын анықтау үшін;
- ә) құралдың түрлену эффективтілігін анықтау үшін.
- 4. Тең салмақты көпірлік сұлбалардың артықшылықтары.
- 5. Көпірлік сұлбаларға түрлендіргіштерді қосу тәсілдерін келтіріңіз.
- 6. Алғашқы түрлендіргіштердің жіктелуі.
- 7. Генераторлыққа қандай түрлендіргіштер жатады?
- 8. Параметрлікке қандай түрлендіргіштер жатады?
- 9. Динамикалық режимдегі түрлендіру қателіктерін атаңыз.
- 10. Өлшеу түрлендіргіштерінің физикалық үлгісін келтіріңіз.
- 11. Электрлік емес шамаларды өлшеу құралдары қателіктерінің негізгілерін сипаттаңыз.
- 12. Түрлену жүйесінің жалпы қателігі қалай орналасады?
- 13. Датчиктердің қолданылу аясына мысал келтіріңіз.

3. ПАРАМЕТРЛІК ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР

3.1. Фотоэлектрлік түрлендіргіштер

Фотоэлектрлік түрлендіргіштер деп, шығыс сигнал түрлендіргішке түсетін жылулық ағымға байланысты өзгертін түрлендіргіштерді айтады. Фотоэффект құбылысы Эйнштейн мен Столетов заңдарына бағынады.

Фотоэлектрлік түрлендіргіштер немесе фотоэлементтер үш түрге бөлінеді: сыртқы фотоэффектісі бар фотоэлементтер, ішкі фотоэффектісі бар және фотогальваникалық түрлендіргіштер.

Сыртқы фотоэффектісі бар фотоэлементтер. Олар ішкі бетіне катод түзетін фотосезімтал материал қабаты орналасатын вакуумдық немесе газбен толтырылған сфералық шыны баллондар. Анод – никель сымынан дайындалған сақина немесе тор түрінде болады. Қараңғыланған күйде фотоэлемент арқылы термоэлектрондық эмиссия (10^{-12} А) және электродтар арасындағы ағыс нәтижесі болып саналатын көлеңкелік ток (10^{-10} ... 10^{-7} А) өтеді. Жарықтанғанда жарық фотондары әсерінен фотокатод, электрондар шығарады. Егер анод пен катод арасына кернеу берілсе, онда бұл электрондар электр тогын құрайды. Электр тізбегіне қосылған фотоэлементтің жарықтылығын өзгерткенде, осы тізбектегі фототокта өзгереді. Вакуумдық фотоэлементтердің шығыс токтары бірнеше микроамперден аспайды. Фотоэмиссия тогының аса ұлғаюы (1 мА шамасында) фотокөбейткіштерде алынады.

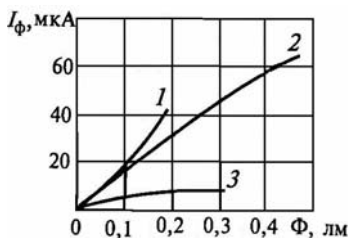
Газбен толтырылған фотоэлемент вакуумдыққа ұқсас, айырмшылығы – белгілі газбен толтырылады. Газ ионизациясы арқасында фотоэлементтің сезімталдығы күшейіп, фотоэмиссия ұлғаяды. Газбен толтырылған фотоэлементтерге мысалы, ЦГ типіндегі оттегі-цезийлік, вакуумдыққа – ЦВ типіндегі оттегі-цезийлік және СЦВ типіндегі сурьма-цезийлік түрлері жатады.

Сыртқы фотоэффектісі бар фотоэлементтер ереже бойынша қуаты өте аз болғандықтан, күшейткіштерді қолдануды талап етеді.

Әртүрлі фотоэлементтердің жарықтық сипаттамаларынан көрініп тұрғандай (3.1-сурет), фототок пен жарықтық ағымның арасындағы пропорционалдылық – өлшеу құралының сызықтық шкаласын алғанда ескерілуі қажет, ол 1–3 қисығының барлық жерінде сақталмайды.

Иондану есебінен күшейген токтың алғашқы фототокке қатынасы – мәні 6...7-ге жететін *газдық күшею коэффициенті* деп аталады.

Газбен толтырылған фотоэлементтердің сезімталдығы вакуумдықтардікінен әлдеқайда жоғары және 100...250 мкА/лм құрайды.



3.1-сурет. Фотоэлементтің жарықтық сипаттамасы:

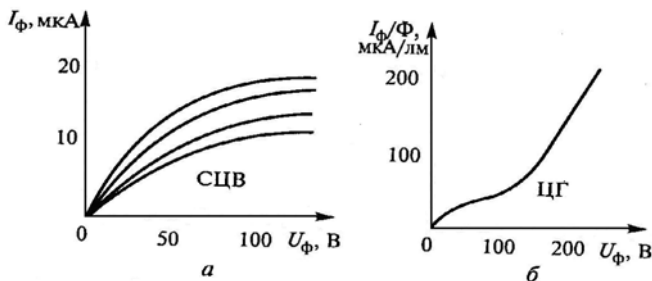
1 – ЦГ типті оттегі-цезийлік; 2 – СЦВ типті сурьма-цезийлік;

3 – ЦВ типті вакуумдық

Вакуумдық және газбен толтырылған фотоэлементтердің вольт-амперлік сипаттамалары (3.2а, б-сурет) қанығу қисығы түрлі сипатта болады. Вакуумдық фотоэлементтерде жарықтық ағымның токқа түрленуінің, элементтің қорек кернеуіне тәуелділігі онша үлкен емес, яғни бұл жағдайда фотоэлементтің динамикалық кедергісі өзгермей қалады.

Газбен толтырылған фотоэлементтердің сезімталдығы қорек кернеуіне тәуелді, сондықтан ол тұрақтандырылады және 100...240 В-тан аспауы қажет. Себебі, бұл аймақтан жоғары болғанда өзіндік разряд аймағы басталады.

Тәжірибеде газбен толтырылған фотоэлементтерден артықшылығы бар вакуумдық фотоэлементтер кең таралған. Олардың белгілі диапазонда керек кернеуіне тәуелділігі төмен, температуралық орнықтылығы жоғары және инерциялды.



3.2-сурет. Фотоэлементтердің вольт-амперлік сипаттамалары:
а – вакуумдық; б – газбен толтырылған

Ішкі фотоэффектісі бар фотоэлементтер (фоторезисторлар). Олар жарықтық ағын әсерінен өз кедергісін өзгертетін, контактылары бар біртектес жартылай өткізгіш пластинка, кадмий селениді түрінде болады. Ішкі фотоэффект зат ішінде еркін күйінде қалатын, атомдардың электрондық орбиталарынан, жарық кванттарының соққысынан, еркін электрондардың пайда болуымен түсіндіріледі. Материалдағы, мысалы жартылай өткізгіште еркін электрондардың пайда болуы, электр кедергісінің азаюына эквивалентті. Фоторезисторлар жоғары сезімталдыққа және сызықтық вольт-амперлік сипаттамаға (ВАС) ие, яғни олардың кедергісі берілген кернеуге тәуелді емес. Көлеңкелік кедергі, сезімталдық, инерциялық температураға тәуелді. Температуралық қателікті азайту үшін фоторезисторларды жапсарлас көпір иықтарына қосады.

Ішкі фотоэффект селен (Se), күкіртті қорғасын (PbS), кадмий селениді (CdSe), т.б. жартылай өткізгіштерде айқын көрінеді. Жарық күшіне байланысты электр кедергісі 100 Ом-нан 1 кОм аралығында өзгереді. Спектрлік сезімталдық,

таңдалған материал арқылы анықталады. Мысалы, CdS максималь сезімталдыққа спектрдің жасыл аймағында ие, сондықтан оны жарықтар өлшеуішінде қолдануға ыңғайлы. Бұған қарама-қарсы, CdSe спектрлік сезімталдық максимумы қызыл аймағында байқалады, ал PbS/PbSe фоторезисторларында – инфрақызыл аймақта. Фоторезисторлардың қолдану мүмкіндігінің әртүрлілігін қамтамасыз ету үшін түрлі құрылымдық шешімдер қолданылады. Олардың меншікті сезімталдығы жоғары (7000 мкА/лмВ-ге дейін), бұл күшейткішсіз, төменгі температуралық коэффициентпен $\left(-0,2\% \frac{1}{град}\right)$, жоғары

таралу қуатымен (0,6...0,7 Вт) жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Жұмыс істеу мерзімі шексіз, әрі өте тұрақты. Мұндай фотоэлементтердің кемшіліктеріне – үлкен инерциялық пен өте жоғары шу деңгейін жатқызуға болады.

Фотогальваникалық түрлендіргіштер (фотодиодтар, фототранзисторлар). Бұл түрлендіргіштер белсенді жарық сезгіш жартылай өткізгіштер болып саналады. Олар фотоэффект нәтижесінде, жарық жұтылғанда, тиек қабатында еркін электрондар мен ЭКК түзеді.

Фотодиод (ФД) екі режимде жұмыс істейді – фотодиодтық және генераторлық (вентильдік). *Фототранзистор* – ішіне фотодиод пен фототок күшейткіші орналастырылған екі және көп *p-n*-өткелі бар, жатылай өткізгіштік, сәулелік энергия қабылдағышы.

Фототранзисторлар фотодиодтар сияқты жарық сигналдарын электрлікке түрлендіруге қолданылады. Алайда, фототранзисторда екінші *p-n*-өткелдің болуы, оның өзіндік шуын ұлғайтады. Олардың сезімталдығы фотодиодатрдікіне қарағанда екі есе жоғары, әрі олар интегралдық сұлбалармен электрлік және технологиялық жағынан сәйкес келеді.

Вентильдік фотоэлементтер. Олардың ішінде селендік және күкірт-күмістік түрлері кең таралған. Бұл фотоэлементтердің сәулелік энергия әсерінен ток көзіне айналатын қасиеті

бар. Осы белгісі бойынша оларды генераторлық түрлендіргіштерге жатқызуға болады, бірақ фотоэлектрлік түрлендіргіштер тобын бөлу тиімсіз болғандықтан, оларды осы бөлімде қарастырған жөн.

Фотоэлементтер жұмысын мына сипаттамалар бойынша бағалауға болады:

Жарықтық сипаттама – фототоқтың фотоэлементке түсетін жарық ағымының интенсивтілігіне тәуелділігі $I_{\Phi} = f(\Phi)$;

Спектрлік сипаттамасы – фототоқтың жарықтық сәуленің толқын ұзындығына тәуелділігі $I_{\Phi} = f(\lambda)$;

Жиіліктік (инерциялық) сипаттама – фототоқтың түсетін жарық ағымы интенсивтілігінің өзгеру жиілігіне тәуелділігі $I = f(t^o)$;

Вольт-амперлік сипаттама (ВАС) – фототоқтың кернеуге тәуелділігі $I_{\Phi} = f(U)$;

Температуралық сипаттама – фототоқтың фотоэлемент температурасынан өзгеруі $I_{\Phi} = f(t^o)$; Алайда температура өзгерісіне фотоэлементтің спектрлік сипаттамасы да тәуелді;

Фотоэлементтің шаршауы – фотоэлемент сипаттамаларының, оның жұмыс уақытына байланысты өзгеруі.

Фотодиодтық режимде ФД-қа тұйықтаушы кернеу беріледі. Сәулелену болмағанда осы кернеу әсерінен азғана көлеңкелік ток өтеді, ал *p-n*-өткелді жарықтандырғанда бұл ток сәулелену қарқынына байланысты сызықты ұлғаяды. Фотодиодтық режимде ФД резистор ретінде қарастырылып, көлеңкелік токтың дрейф әсерін азайтатын көпірлік өлшеу тізбегіне не бөлгіштер сұлбасына қосылады. Фотодиодтар қорек кернеуі бойынша жартылай өткізгіш электрондық элементтермен жақсы үйлесендіктен, сұлбаларда операциялық күшейткіштермен бірігіп қолданылады. Негізінен фоторезисторлар, орын ауыстыру түрлендіргіштерінде кеңінен қолданылады.

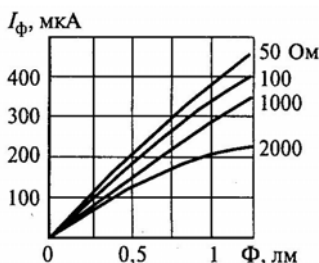
Генераторлық (вентильдік) режимде ФД – ток көзі болып саналады. Вентильдік фотоэлементтердің жоғары сезімталдығы

көп жағдайларда фототоктардың күшейтусіз-ақ жұмыс істеуіне мүмкіндік береді.

Олардың ең көп тарағаны – селендік, күкірттік-күмістік және кремнийлік фотоэлементтер. Селен фотоэлементтерінде сезімталдық шамамен 400...500 мкА/лм құрайды, ал күкірттік-күміс және кремнийліктерде – 7000 мкА/лм. Селен фотоэлементтері тұрақты, әрі ұзақ жұмыс істейді. Кремнийлік фотоэлементтер инерциясыз ($\tau = 10^{-6}$ с), тұрақты, шу деңгейі де төмен. Вентильдік фотоэлементі бар түрлендіргіштердің шығысындағы ток күші, сызықты сипаттама бөлігінде (3.3-сурет) мына формуламен анықталады:

$$I_{\text{вых}} = S_{\phi} \Phi.$$

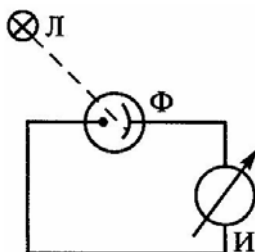
Мұндағы H_{ϕ} – фотоэлементтердің сезімталдығы (жүктемені қосқанда); Φ – жарық ағыны.



3.3-сурет. Кремнийлік фотоэлемент үшін $I = f(\Phi)$ тәуелділігі

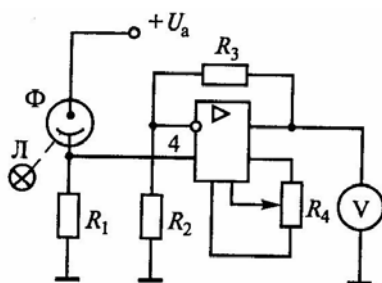
1000-лк жарықтық үшін кремнийлік фотоэлементтердің сезімталдығы тұрақты және 0,1 ...2 мкА/лк құрайды. Олардың ПЭК-і 11 % болғандықтан, электрондық өлшеу құралдарын, мысалы кварцтық сағат пен спутник батареяларын, т.б. электрмен қоректендіру үшін күн элементтері түріндегі фотоэлементтер қолданылады. Олар 150°C-ге дейінгі температурада қолданылады.

Вентильдік элементтің ықшамдалған қосылу сұлбасы 3.4-суретте көрсетілген. Мұнда өлшеуіш (И) – жарық әсерінен ток көзі болып саналатын фотоэлемент (Ф) қысқыштарына тікелей қосылған.



3.4-сурет Вентильдік элементтің қосылу сұлбасы

Фотоэлементтің фотодиодтық режимде қосылу сұлбасы 3.5-суретте көрсетілген.



3.5-сурет Фотоэлементтің қосылу сұлбасы

Фотоэлементтің жарықтану дәрежесіне байланысты вольтметр (V) көрсеткіштері өзгереді. Тұрақты ток күшейткіштері бар сұлбалар кедергілер мен корек көзі кернеуінің тұрақсыздығына өте сезімтал. Бұл үлкен өлшеу қателіктерін туғызатындықтан, фототокты күшейту үшін кедергілер мен кернеу тұрақсызды-

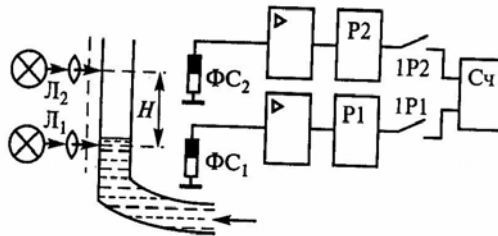
ғына сезімталдығы аз айнымалы ток күшейткіштері жиі қолданылады.

Сонымен қатар, өлшеу қателіктері мыналар:

- Фотоэлементтің қорек көзі кернеуінің тұрақсыздығы;
- Жарық көзі кернеуінің тұрақсыздығы, себебі жарық ағымының шамасы кернеуге тәуелді;
- Фотоэлементтердің уақыт бойынша сипаттамаларының өзгеруі.

Фотоэлектрлік шығын өлшегіштер. Фотоэлементтерді қолдану – сенімді, әрі қарапайым сұйық пен газ шығын өлшегіштерді құруға мүмкіндік берді.

3.6-суретте жұмыс принципі белгілі бір шаманың көлемін толтыру ұзақтығын автоматты өлшеуге негізделген шығын өлшегіштің сұлбасы келтірілген. Мұндай құралдың әрекеті мынадай: фотокедергінің ΦC_1 төменгі деңгейіне жеткенде сұйықтық жарық, энергияның бір бөлігін жұтады. Оның кедергісі өседі, ал P_1 релесі сөнеді де, $1P1$ түйіні арқылы уақыт есептегіші ($Cч$) іске қосылады. Калибрленген құбыр жоғарғы фотокедергі деңгейіне ΦC_2 дейін сұйықтықпен толтырылғанда, P_2 релесі өшіріліп, оның $1P2$ түйіні есептегішті өшіреді.



3.6-сурет Шығын өлшегіштің принциптік сұлбасы

Сұйықтықтың көлемдік шығыны

$$\theta = \frac{\pi d^2 H}{4\tau},$$

мұндағы d – құбырдың ішкі диаметрі; H – ΦC_1 және ΦC_2 оптикалық өстері арасындағы қашықтық; τ – есептегіш есептеген уақыт.

H тұрақты мәнінде есептегіш көрсеткіші белгілі сұйықтық шығынына сәйкес келуі керек.

3.2. Сыйымдылықтық түрлендіргіштер

Сыйымдылықтық түрлендіргіштер – сыйымдылығы өлшенетін электрлік емес шама әсерінен өзгертін конденсатор болып саналады.

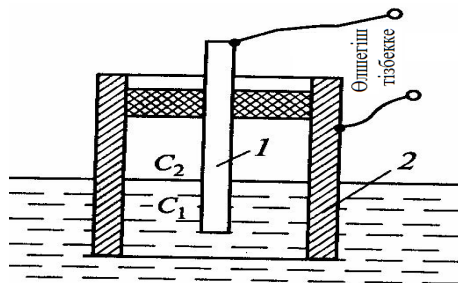
Сыйымдылықтық түрлендіргіш ретінде, сыйымдылығын төмендегі формуламен анықтауға болатын жазық конденсатор кең қолданылады:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S / \delta, \quad (3.1)$$

мұндағы ε_0 – диэлектрлік ауа тұрақтысы ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε – конденсатор мұқабалары арасындағы ортаның салыс-тырмалы диэлектрлік өтімділігі; S – мұқаба ауданы; δ – мұқабалар арасындағы қашықтық.

Өлшенетін электрлік емес шама, осы параметрлердің кез келгенімен функционалды байланыса алатындықтан, сыйымдылықтық түрлендіргіштер құрылғысы қолдану түрлеріне байланысты өте көп. Сұйық және борпылдақ денелерді өлшеу үшін цилиндрлік немесе жазық конденсаторлар; аз орын ауыстырулар, тез өзгермелі күш пен қысымды өлшеу үшін – мұқабалары арасында айнымалы саңылауы бар дифференциал сыйымдылықтық түрлендіргіштер қолданылады. Төменде түрлі электрлік емес шамаларды өлшейтін сыйымдылықтық түрлендіргіштердің қолдану принциптерін қарастыралық.

Сыйымдылық деңгей өлшегіш. 3.7-суретте деңгей өлшеуге арналған түрлендіргіш – сыйымдылық деңгей өлшегіші көрсетілген. Ол коаксиалды конденсатор түрінде болады.



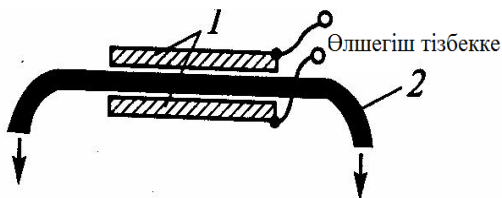
3.7-сурет. Сыйымдылықтық деңгей өлшегіш:
1,2 – электродтар

Оның электродтары 1 и 2 бір-бірінен оқшауланған. Мұндай түрлендіргіштің сыйымдылығы (C) параллель қосылған екі конденсатордың сыйымдылығы секілді анықталуы мүмкін; олардың бірі C_1 электрод және диэлектрикпен – деңгейі өлшенетін сұйықтықтан құралған, екіншісі C_2 – электрод пен диэлектриктің қалған бөлігімен – ауадан құралған:

$$C = C_1 + C_2 = [l\varepsilon + (l_0 - l)\varepsilon_0] \frac{2\pi}{\ln(R_1 / R_2)}. \quad (3.2)$$

мұндағы l_0 – түрлендіргіштің толық ұзындығы, м; l – сұйықтықпен толтырылған түрлендіргіш ұзындығы, м; ε_0 – электрлік ауа тұрақтысы, ф/м; ε – сұйықтықтың диэлектрлік өтімділігі; R_1 және R_2 – сыртқы және ішкі цилиндр радиустары, м. Сонымен, түрлендіргішті сұйықтықпен толтыру өлшеміне қарай, оның сыйымдылығы деңгей функциясына пропорционал өзгереді.

Қалыңдық өлшеуіш. 3.8-суретте диэлектрик (мысалы, резеңке) таспа қалыңдығын (2) өлшейтін сыйымдылықтық қалыңдық өлшеуіштің жұмыс принципі көрсетілген. Таспа конденсатор мұқбаларының (1) арасына орналастырылып, оның қалыңдығына байланысты электродаралық кеңістіктің диэлектрлік өтімділігі өзгереді.

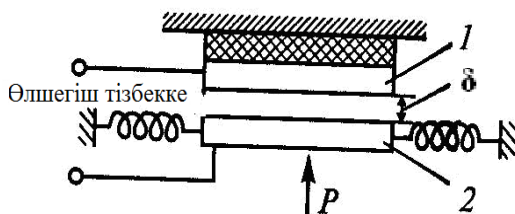


3.8-сурет. Сыйымды қалыңдық өлшеуіш:
1 – конденсатор мұқбалары; 2 – таспа

Егер конденсатор мұқбалары арасындағы саңылау ұзындығын δ , диэлектрик таспасының қалыңдығын δ_d , ал таспаның диэлектрлік өтімділігін ϵ_d деп белгілесек, онда сыйымдылықты былайша өрнектеуге болады:

$$C = \frac{S}{\frac{\delta - \delta_d}{\epsilon_0} + \frac{\delta_d}{\epsilon_d}}.$$

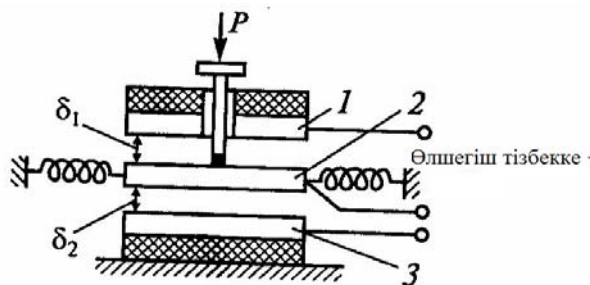
Күш және орын ауыстыру өлшегіштері. Механикалық күш немесе орын ауыстыруды өлшегенде мұқаба 1, 2 және түрлендіргіш арасындағы қашықтықтан (δ) сыйымдылықтың тәуелділігін пайдаланады (3.9-сурет).



3.9-сурет Орын ауыстыру өлшегіші
1,2 – түрлендіргіш мұқабалары

δ саңылауы, өлшенетін күш немесе орын ауыстыру шамаларына байланысты өзгереді.

Дифференциалдық түрлендіргіштер сұлбасының сезімталдығы жоғары және өте дәл (3.10-сурет). Мұқаба 2-серіппеге бекітілген және өлшенетін күш (P) әсерінен өз-өзіне параллель орын ауыстырады. 1 және 3-мұқабалары қозғалмайды. 2 және 3-мұқабалары арасындағы сыйымдылық ұлғаяды, ал 1 және 2-арасындағы азаяды.

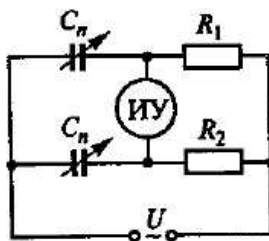


3.10-сурет. Дифференциалдық күш өлшеуіш (P):
1 – 3 – өлшеуіш мұқабалары

Аз орын ауыстыруларды ($10^{-6} \dots 10^{-3}$ м шамасындағы) өлшеуге арналған сыйымды түрлендіргіштер жоғары сезімталдықпен, сызықтықпен, аз қателіктермен және бір мезгілде

құрылу қарапайымдылығымен, қозғаламалы бөліктің жеңілдігімен ерекшеленеді.

Сыйымдылық түрлендіргіштері бар өлшеу тізбектері. Көп жағдайда сыйымдылық түрлендіргіштер – көпірлік айнымалы ток тізбегіне қосылады. Дәлдік пен сезімталдықты көтеру үшін сыйымдылық түрлендіргіш дифференциалдық етіп жасалып, көпірдің көрші иықтарына қосылады (3.11-сурет).



3.11-сурет. Сыйымдылық түрлендіргіштердің дифференциалдық қосылу сұлбасы

Мұндай түрлендіргіштердің артықшылықтарын жүзеге асыру үшін, өлшеу тізбегіне қойылатын талаптарды орындау қажет.

Сыйымдылық түрлендіргіштердің ереже бойынша сыйымдылығы аз (ондаған-жүздеген пикофарад) болғандықтан, өнеркәсіптік жиілікте оның қуаты да аз болады. Мысалы, түрлендіргіштің сыйымдылығы $C = 100$ пФ болса, онда $f = 50$ Гц жиілікте және кернеу мәні $U = 50$ В болғанда мынаны аламыз:

$$P_{\text{пр}} = U^2 \omega C = 50^2 \cdot 2\pi 50 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 80 \cdot 10^{-16} \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Егер өлшеуіш қуаты түрлендіргіш қуатынан кіші болуы керек болса, онда өлшегіш ретінде тек электрондық құрал қолданылады.

Сыйымдылық түрлендіргіштің кедергісі өте жоғары, ол жоғарыда келтірілген түрлендіргіш үшін

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-12}} \equiv 30 \text{ МОм.}$$

Мұндай кедергі, көпірдің шығыс диагоналында үлкен кедергіні қажет етеді. Бұл шартты кіріс кедергісі үлкен электрондық құралдар ғана қанағаттандыра алады. Сонымен қатар, мұндай үлкен кедергіде өлшеу тізбегі мен өлшегіштің оқшаулануына да талаптар қатаң болуы керек. Егер түрлендіргіш кедергісі өлшеу тізбегінің оқшаулану кедергісімен салыстырылатын болса, онда ағыс тогы түрлендіргіштегі токпен салыстырылады. Сондықтан, сыйымдылық түрлендіргіштер көбінесе қуатын ұлғайтып, кедергіні азайтатын жоғары жиілік тізбектерінде қолданылады.

Сілтеулерді болдырмау үшін, барлық келтіруші өткізгіштер мұқият оқшаулануы қажет. Ал жерге қосу нүктелерін тізбекте жұмыс сыйымдылықтарды шунттайтын элементтер болмай-тындай етіп таңдау қажет.

Түрлендіргіштердің кернеу көзі, ауаны тесіп өту қауіптілігіне байланысты шектеледі. Әдетте, жіберілетін кернеу 700 В/мм құрайды. Кернеуді конденсатор мұқабалары арасына жұқа слюда пластинкасын қойып ұлғайтуға болады, себебі слюданың тесіп өту кернеуі 10^3 кВ/мм шамасында. Мұндай пластинканың болуы, шығыс кернеудің күш немесе саңылау өзгерісінен сызықты тәуелділігін алуға жағдай жасайды $U=f(\Delta\delta)$.

3.3. Жылулық түрлендіргіштер

Жылулық түрлендіргіш қоршаған ортамен жылу алмасып отыратын, температуралық коэффициенті мен тогы үлкен, өткізгіш немесе жартылай өткізгіш. Жылу алмасудың бірнеше жолдары бар: конвекция; ортаның жылу өткізгіштігі; өткізгіштің жылу өткізгіштігі; сәулелену.

Өткізгіштің қоршаған ортамен жылу алмастыру қарқындылығы келесі факторларға байланысты: газ немесе сұйық ортаның жылдамдығы; ортаның физикалық қасиеттері (тығыздық, жылуөткізгіштік, тұтқырлық); орта температурасы; өткізгіштің геометриялық өлшемдері. Бұл аталған факторлардан – өткізгіш температурасы мен кедергісінің тәуелділігін газдық немесе сұйық ортаны сипаттайтын түрлі электрлік емес шамаларды: температура, жылдамдық, концентрациямен тығыздықты (вакуум) өлшеу үшін қолдануға болады.

Түрлендіргіш материалы. Жылулық түрлендіргіш ретінде температуралық коэффициенті жоғары және тұрақты электр кедергісі бар өткізгішті алуға болады. Бұл талаптарды химиялық таза металдардан жасалған өткізгіштер қанағаттандырады. Себебі олардың көпшілігі 1°C -ге 0,35-тен 0,68 %-ға дейін өзгертін ($0... 100^{\circ}\text{C}$ аралығында) оң температуралық коэффициентке ие.

Түрлендіргіштер ретінде платина, мыс және никель көбірек таралған. Түрлендіргіш материалын таңдау мәселесі, өлшенетін ортадағы металдың химиялық инерттілігі мен температураның өзгеру шегі арқылы шешіледі. Сонымен, мыс түрлендіргішті – $50...+180^{\circ}\text{C}$ аралықтағы температурада газ ылғалдылығынан бос атмосферада қолдануға болады. Өте жоғары температурада мыс қышқылданады, ал мысты оқшаулау үшін эмаль, винифлекс, жібек алынады. Мыстың негізгі кемшілігіне – оның төмен меншікті кедергісі жатады.

Орта әсерінен оқшауланғанда никельді $250... 300^{\circ}\text{C}$ аралығында қолдануға болады, ал өте жоғары температурада $R=f(t)$ тәуелділігі ол үшін бір мәнді емес. Никельде $R=f(t)$ сызықты тәуелділігі 100°C -тан төмен температураларда ғана орындалады. Никель түрлендіргіштердің кемшілігі – никельдің әр маркасында температуралық коэффициенттің әртүрлі болуы ($0,51...0,58\%$ 1°C -қа) жатады. Сондықтан никель өткізгішпен қоса, температуралық коэффициентті есептік мәнге дейін төмендететін және оны тұрақтандыратын манганиннен жасалған

кедергі қосылады. Никельдің артықшылығы – оның жоғары меншікті кедергісі ($\rho = 0,075 \dots 0,085 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$).

Ең жақсы қасиеттер платинаға тән, өйткені ол химиялық инертті, екіншіден, оны $-200 \dots +650^\circ\text{C}$ температура аралығында қолдануға болады. Алайда платинаны қалпына келтіруші ортада (көміртек, кремний, калий, натрий буы) пайдалану мүмкін емес.

Қазіргі кезде жартылай өткізгіш терморезисторлар (термисторлар) жиі қолданылады, олар түрлі металдар: мыс, кобальт, магний, марганец, т.б. оксидтерінің қоспасынан дайындалады. Дайындау процесі кезінде түрлендіргіш жоғары температурада күйдіріледі. Күйдіру кезінде оксидтер шарик, бағана немесе шайба түріндегі тығыз массаға пісіріледі, оған электродтар тозанданып, мыс сымдар дәнекерленеді. Сыртқы әсерлерден қорғау үшін термистордың сезімтал элементі қорғайтын бояумен жабылып, герметикалық металл корпусқа орналастырылады немесе шыныға дәнекерленеді.

Температура өскен сайын, термистор кедергісі азаяды. Кедергінің температурадан тәуелділігі былайша өрнектеледі:

$$R_t = A e^{B/T},$$

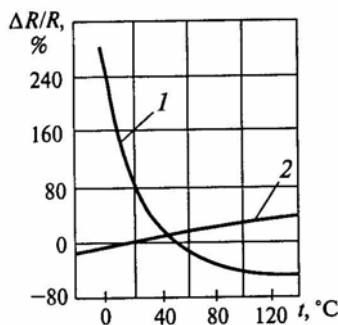
мұндағы A – материалға, оның өлшемі мен пішініне тәуелді тұрақты; B – жартылай өткізгіштің физикалық қасиеттеріне тәуелді тұрақты; T – абсолютті шкала градусындағы түрлендіргіш температурасы.

Өнеркәсіпте ММТ, КМТ-4, МКМТ типті түрлі конструктивті кедергі терморезисторлары жасап шығарылды.

Артықшылықтары: өте жоғары температуралық кедергі коэффициенті ($2,5 \dots 4\% \text{ } 1^\circ\text{C}$ -қа), сезімталдығы металл терморезисторынан $6 \dots 10$ есе жоғары, әрі төмен жылу сыйымдылық пен инерциялық.

Кемшіліктері: кедергінің температурадан бейсызық тәуелділігі (3.12-сурет), үлкен шашырау және үлгіден-үлгіге сипаттамаларының тұрақсыздығы. Бұл, құралдың сызықтық

шкаласын алу және істен шыққан жартылай өткізгішті алмастыруды қиындатады. Сонымен қатар, оларда температуралық диапазон өте аз ($-100... +120\text{ }^{\circ}\text{C}$).



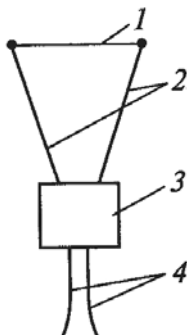
3.12-сурет. Терморезистордың түрлену функциясы:

1 – MMT типті; 2 – мыс

Түрлендіргіштерді қолданып, барлық факторлардың түрлендіргіш кедергісіне әсерінің аз болуын қамтамсыз етуге тырысу қажет. Соған байланысты түрлендіргішке қойылатын талаптар – оның қателіктері мен қасиеттері, олардың қолданылуына байланысты анықталады. Түрлі электрлік емес шамаларды өлшеу үшін жылулық түрлендіргіштердің қолданылу принципін қарастыралық.

Термоанемометрлер. Егер токпен қыздырылатын жылулық түрлендіргіш сұйық не газдық ортаға қойылған болса, онда оның температурасы сымға жіберілетін және ортаға берілетін жылу көлемі арасындағы жылулық, тепе-теңдік режимімен анықталады. Егер орта қозғалса, яғни сұйық немесе газ ағымы түрінде болса, онда жылуды конвекция жолымен беру барлық суытқыш факторларды көбейтеді де, ол ағым жылдамдығына тәуелді болады.

Газдық ағын жылдамдығын өлшейтін құралдар *термоанемометр* деп аталады (3.13-сурет).



3.13-сурет. Термоанемометр құралы:

1 – платиналық сым; 2 – манганиндік серіппелер; 3 – тұтқа;
4 – шығыстар

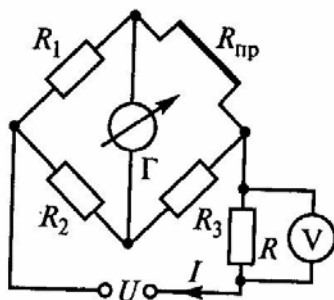
Мұндай элементтің термосезімтал элементі ретінде, оқшаулаушы материалдан жасалған тұтқаға (3) бекітілген манганиндік серіппелермен (2) бекітілген платина сым (1) алынады. Түрлендіргішті өлшеу тізбегіне қосу үшін шығыстар (4) қолданылады. Құрал жұмысы сым (1) кедергісінің газдық ағым жылдамдығына байланысты өзгеруіне негізделген.

Сымның конвекция жолымен жылуды жоғалтуы мына өрнекпен өрнектеледі:

$$I^2 R = \varepsilon F(t_{np} - t_{cp})$$

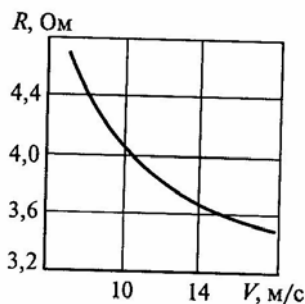
мұндағы ε – жылу беру коэффициенті; F – ортадағы сым бетінің ауданы; t_{np} және t_{cp} – сәйкесінше сым мен ортаның температуралары.

Мұнда ε шамасы тек орта қозғалысының жылдамдығынан ғана емес, сондай-ақ орта тұтқырлығына, жылу сыйымдылығына тәуелді болғандықтан, ұқсастық теориясының көмегімен есептеледі. Анемометр түрлендіргіші әдетте көпірлік тізбекке қосылады (3.14-сурет).



3.14-сурет. Термоанемометр түрлендіргішінің көпірлік тізбекке қосылу сұлбасы

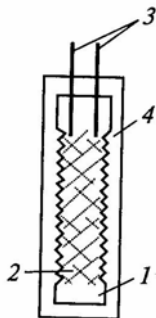
Өлшеуді көпірдің тармақталамаған бөлігіндегі ток күшін (I) немесе көпірдің қорек көзін (тепе-тең емесе жұмыс режимінде) тұрақты етіп ұстап тұрып, не көпірдің тепе-теңдігін сақтай тұрып, ток күшін өзгерту жолымен термоанемометр түрлендіргішінің кедергісі $R_{пр}$ мәнін тұрақты жүргізуге болады (сонда көпір v жылдамдықтың әр мәні үшін тепе-теңдік режимінде болады). $I = \text{const}$ болғанда градуирленген қисық $R = f(v)$ 3.15-суретте көрсетілген. Суреттен көрініп тұрғандай, құрал шкаласы сызықты емес.



3.15-сурет. Термоанемометр құралының шкаласының бөліктеу қисығы

Кедергі термометрі. Бұл құралдар температура өлшейтін датчиктер ретінде қолданылады. Сезімтал элемент материалы бойынша олар – платиналық кедергі термометрі (ТСП) және мыс кедергі термометрі болып бөлінеді.

Платина өткізгіштік түрлендіргіш негізінде кедергі термометрінің құрылғысын қарастыралық (3.16-сурет).



3.16-сурет. Кедергі термометрі

Түрлендіргіш өлшемі 100 х 10 мм каркасқа оралған, ол диаметрі 0,05...0,07 мм платина сым (2) түрінде болады. Орам каркас жанындағы тісті ойықтарға жатқызылады. Каркас ретінде жылуға шыдамды және жоғары электроқшаулағыш қасиеттері бар: слюда, кварц, фарфор сияқты материалдар қолданылады.

Орам ұштарына фарфор моншақтарымен оқшауланған күміс сымнан жасалған шығыстар (3) дәнекерленеді. 100°C температураға дейінгі температураны өлшейтін кедергі термометрлерінде мыс сымдар қолданылуы мүмкін. Өте жоғары температурада мыс пен платинаның дәнекерленуі – терможұп құрып, сол арқылы өсетін ЭҚК-і қателік көзі болуы мүмкін.

Каркаспен орау екі слюда төсем (4) арасында болады, содан соң бүкіл құрылымды пакетке күміс таспамен жиналып жұқа қабырғалы алюминий құбырға, кейіннен тот баспайтын қабына қосылады. Датчик шығыстары, қорғаныш қаптың басына орнатылған арнайы плата қысқыштарына қосылады. Мыс кедергі термометрінің сезімтал элементі диаметрі 0,1мм мыс

сыммен оқшауланған бірнеше қабат пластмасса каркасқа оратылады. Одан соң оның бетін глифтал лакпен жауып, орам шығыстарын фарфор моншақтармен оқшаулайды. Орамды платаны ұзындығы 105 мм жұқа қабырғалы металл гильзаға, одан соң қорғаныш қабына салады.

Кедергі термометрлері біржақты және екіжақты болады. Екіжақты термометрлерде бір нүкте температурасын екі құралмен бір мезгілде өлшеуге қолданылатын бір-бірінен оқшауланған екі сезімтал элемент орнатылған. Мыс пен платина кедергі термометрлері, қолданысқа кедергінің қатаң анықталған мәндерімен жіберіледі. Ең көп тараған температура түрлендіргішіне – 50М және 100М бөліктенуі бар мыс, 50П және 100 П бөліктенуі бар платина термометрлері жатады. 50 және 100 сандары 0°C кезіндегі сезімтал элементтің кедергісін (50, 100 Ом), ал М және П әріптерімен – мыс және платина – кедергі термометрі орамының материалын белгілейді.

Температура өзгергенде термометрдің электр кедергісі бөліктеу деректер және жуықтатылған формуламен анықталады:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

мұндағы R_t – $t^\circ\text{C}$ -қа қыздырылғандағы термометр кедергісі; R_0 – 0°C -тағы термометр кедергісі; α – температуралық коэффициент (мыс үшін $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3}$).

Технологиялық объекттер температурасының өлшеу қателіктеріне әсер ететін негізгі факторлар – термодатчиктің инерциялығы, олардың дұрыс орнатылмауы, монтаж бен құрал жұмыстары шарттарының бұзылуы.

Термодатчиктің инерциялығы, объект температурасының өзгеру жылдамдығының өсуімен анықталынады. Себебі, құрал көрсеткіштері мен объекттің шынайы температурасы арасында үлкен айырмашылық пайда болады.

Термодатчиктерді агрессивті ортада және жоғары қысымда сәйкес қорғаныс гильзалары есебінде қолдану кезінде олардың инерциялығы ұлғаяды. Оны азайту үшін датчик пен орнатушы

гильза арасындағы саңылауы бар ұзындығы бойымен, оны жылу сыйымдылығы үлкен ортамен толтырады. 0...200°C жұмыс температурасында компрессия майы, 200°C-ден жоғары температурада – шойын не қола үгінділері қолданылады.

Кедергі термометрлері дәлдігі бойынша инерциялығына қарай үш классқа бөлінеді: аз инерциялық (9 с-қа дейін), орта инерциялық (10...80 с), жоғары инерциялық (4 мин-қа дейін).

Кәіспорын талаптарына сай температура датчиктері 60...3200 мм аралықта түрлі монтаждау ұзындығына ие болады.

3.4. Иондық түрлендіргіштер

Иондық түрлендіргіштер деп – өлшенетін электрлік емес шама, газдық ортаның электрондық және иондық өтімділігі тогымен функционалды байланысатын түрлендіргіштерді айтады.

Электрондар мен иондар ағымы – иондаушы агент әсерінен газдық ортаның иондануы не термоэлектрондық эмиссия жолымен немесе газдық орта молекулаларын электрондармен атқылап, т.б. жолдармен иондық түрлендіргіштерде алынады. Кез келген иондаған түрлендіргіштің міндетті элементі – сәулелену көзі мен қабылдағышы болып саналады.

Иондаушы агенттер. Иондаушы агенттер ретінде α , β – бөлшектері, γ мен рентген сәулелері қолданылады:

- α – бөлшектер гелий ядросы болып есептеледі және ол оң зарядталған. Олар өте ауыр бөлшектер болғандықтан, олардың энергиясы үлкен және өте күшті иондаушы агент болып саналады. Алайда, оның ену қабілеті өте төмен. α – бөлшектердің ауадағы ең үлкен жүгіру ұзындығы 90 мм-ге тең, ал қатты денелерде бірлік немесе ондаған микрон қабаттарда жұтылып кетеді (мысалы, алюминий үшін жүгіру ұзындығы 0,05 мм). Сондықтан, иондаушы агент ретінде α – бөлшектерді қолданғанда сәуле таратқыш түрлендіргіш оның ішіне орналастырылады;

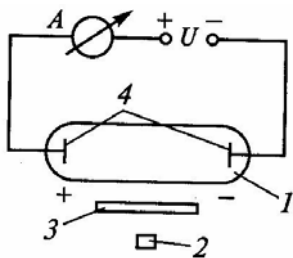
- β – бөлшектер теріс зарядталған (электрондар) бөлшектер ағыны. Олардың энергия қоры аз, бірақ өтімділігі қатты денелерде бірнеше мм-ге жетеді (мысалы, алюминий үшін жүгіру ұзындығы 1,75 мм-ге тең). Сондықтан, өлшеу техникасында β – бөлшектердің өтімділік қабілеті қолданылып, сәуле таратқыш түрлендіргіштен тыс орналастырылады;

- γ – сәулелері – толқын ұзындығы өте аз электромагниттік тербелістер.

Электромагниттік энергия үздіксіз емес, ал электрлік заряды нөлге тең кванттар немесе фотондар түрінде сәуле шығарады. Сондықтан электрлік те, магниттік өрісте де ауытқымайды; γ – сәулелер жарық жылдамдығымен таралады және өтімділік қабілеті өте жоғары (мысалы алюминийде – 12 см-ге дейін);

- рентген сәулелері электромагниттік тербелістерге жатады, бірақ толқын ұзындығы γ – сәулелердікінен ұзын. Олардың γ – сәулелердікі сияқты қасиеттері: барлық заттармен сәулелене береді. Ол үшін заттарды электрондармен не энергиясы жеткілікті басқа бөлшектермен атқылау керек. Осы сәулелерді өлшеу техникасында қолдану – олардың денелер арқылы өту қабілетіне негізделген.

Иондық камера. Газдық ортаның радиоактивті заттардың немесе рентген сәулелерімен иондануы тәсілін қолданатын түрлендіргіштер – иондық камера және есептегіш деп аталады (3.17-сурет).



3.17-сурет. Иондық камера сұлбасы:

1 – камера; 2 – иондаушы агент;

3 – дене; 4 – электродтар

Газдық орта камерада (1) иондаушы агент (2) әсерінен ионданады. Камерада U кернеуі

берілетін екі электрод (4) орналасқан. Камерада газ ионданғанда, электрондар мен осы газдың оң иондарының ретті қозғалысы пайда болады. Яғни, берілген кернеу, иондаушы агент қасиеттерінің иондалатын орта және камера қабырғалары мен басқа да денелердің (3) функциясы болып саналатын, иондық ток пайда болады. Иондық токтың барлық осы факторлардан тәуелділігін пайдаланып, түрлі физикалық және геометриялық шамаларды өлшеу үшін, иондық түрлендіргіштерді қолдануға болады.

Сцинтилляциялық есептегіштер. Сцинтилляциялық есептегіштердің жұмыс принципі кейбір заттардың әлсіз жарық жарқылы радиациясын шығаруына – сцинтилляцияға негізделген. Люминофор, фотокатод пен фотоэлектрондық көбейткіштің жарық өтпейтін бір корпуста қиыстырылуы – *сцинтилляциялық есептегіш* деп аталады.

Люминофорлар күміспен белсендендірілген кадмий және мырыш сульфиді кристалдарының қоспасынан дайындалады. Сцинтилляциялық есептегіштер зарядталған бөлшектерді, γ – кванттарды, нейтрондарды өлшеу үшін, γ – спектрі мен нейтрондық сәулеленуді зерттеуге қолданады.

Масс-спектрометрлер. Масс-спектрометр түрлендіргіштері зерттелетін газ қоспасының, барлық оң зарядталған иондарының масса спектрін алу тәсілімен талдауға арналған.

Иондарды массасына қарай бөлу негізінде әртүрлі масса иондарының әртүрлі траекториямен жүруіне орай, электр және магнит өрісінің иондарға бір мезгілде әсер етуі арқылы жүзеге асады.

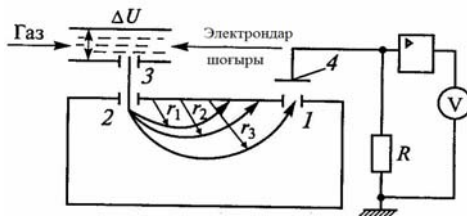
Электр және магнит өрісі параметрлері мен масса арасындағы байланыс төмендегідей теңдеумен сипатталады:

$$\frac{m}{e} = \frac{B^2 r^2}{2U}, \quad (3.3)$$

мұндағы m – ион массасы; e – ион заряды; B – магнит өрісі индукциясы; r – электр және магнит өрісі әсеріндегі ионды сипатталатын траектория радиусы; U – электр өрісінің кернеуі.

Сыналатын газ кішкене қысыммен иондаушы камераға енгізіледі (3.18-сурет), мұнда ол электрондар шоғының атқылауына ұшырайды. Атқылау кезінде пайда болған оң иондар, потенциалдар айырымынан ΔU түзілген электр өрісі әсерінен үдеу алады. Олар иондаушы камера тесігі (3) арқылы ұшып шығып, (B) магнит индукциясы өрісі әрекет ететін камераға тесік (2) арқылы түседі.

m/e шамасына байланысты магнит өрісі иондарды ауытқытады, олар радиустары r_1, r_2, r_3 , т.с.с. траекториялармен қозғалады. Траектория радиусы r_3 иондар тесік (1) арқылы өтіп коллекторға түседі. Ол (R) кедергісі арқылы жермен қосылған. Уақыт бірлігінде өз коллекторынан, басқа коллекторға беретін иондар санымен анықталатын ток R кедергісінде тұрақты ток күшейткішімен күшейетін және өзі жазатын құралмен (V) тіркелетін кернеудің түсуін тудырады.

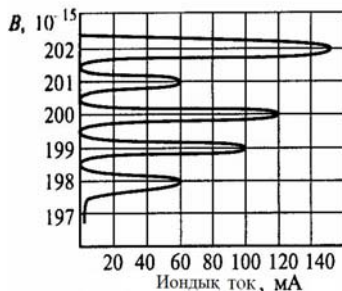


3.18-сурет. Масс-спектрометр құрылғысы:

1 – 3 – тесіктер; 4 – коллектор

Магнит өрісі индукциясын (B) өзгерте отырып $U = \text{const}$ болғанда немесе керісінше, электр өрісі кернеуін $U = \text{const}$ болғанда өзгертіп (6), түрлі масса иондарының (1) тесік арқылы коллекторға түсіп, жеткілікті кең аралықта диаграммада шыңдарға ие қисық алуға болады (3.19-сурет). Әр шыңның

биіктігі газдық қоспадағы берілген масса, иондар концентрациясының критерийі болып саналады.



19-сурет. Иондардың масс-спектрометр камерасының тесіктері арқылы өту диаграммасы

Ионданушы ток мәнінің аз болуына байланысты ($10^{-9} \dots 10^{-10}$ А), ал ағу тогы ионданушы токтан 2–3 есе аз болуы үшін, өлшеу тізбегінің кіріс кедергісі өте жоғары болуы қажет ($10^{12} \dots 10^{15}$ Ом). Бұл басты, әрі маңызды талапты кіріс кедергісі $10^{12} \dots 10^{13}$ Ом болатын электрондық өлшеу тізбектері қанағаттандырады.

Артықшылықтары: өлшенетін объектпен тікелей байланыссыз өлшеу мүмкіндігі. Олардың көмегімен белсенді ортада, жоғары температурада, қысымда, т.б. өлшеу жүргізуге болады.

Иондық түрлендіргіштер көмегімен өлшеу қателіктері ең алдымен қолданылатын өлшеу құралының жетілмегендігімен анықталады. Әсіресе, тұрақты ток күшейткішімен енгізілген қателік үлкен болады. Сондықтан, осы қателікті азайту үшін иондық түрлендіргіштер нөлдік тәсілмен алынады. Сонымен қатар, радиоактивті заттың біртіндеп ыдырауымен және уақыт бойынша сәулелену көзінің тұрақсыздығымен анықталатын қателікті де ескеру қажет.

Иондаушы агенттердің қасиетіне байланысты иондаушы түрлендіргіштер әртүрлі шамаларды өлшеу құралдарында қолданады. Мысалы, α – сәуле шығарушысы бар иондаушы

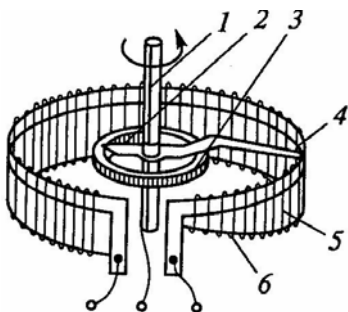
түрлендіргіштер – орын ауыстыруды өлшеуге қолданылады. Себебі, иондаушы камера тогы электродтар арасындағы қашықтыққа, газ тығыздығына, газдардың ағу жылдамдығына, түтіндік қоспалардың саны мен газ ылғалдылығына тәуелді.

β – сәуле шығарушысы бар иондаушы түрлендіргіштер, α – сәуле шығарушылардың орнына жоғарыда келтірілген жағдайлардың кейбірінде, оларды беттік материал қалыңдығы мен жабын қалыңдығының байланыссыз тәсілімен өлшеуге қолдануға болады.

Өтімділік қабілеті жоғары γ – сәуле шығарушысы бар иондаушы түрлендіргіштер заттың тығыздығын, қалыңдығын, деңгейін өлшеу үшін пайдаланылады.

3.5. Реостаттық түрлендіргіштер немесе белсенді кедергі датчиктері

Реостаттық түрлендіргіш (3.20-сурет) қозғалтқышы – өлшенетін электрлік емес шама әсерінен орын ауыстыратын реостат болып саналады. Соған орай, реостаттық түрлендіргіштің кіріс шамасы өлшенетін электрлік шамамен механикалық байланысты реостат қозғалтқышының орын ауыстыруы, ал шығыс шамасы – белсенді кедергі болып есептеледі.



3.20-сурет. Реостаттық түрлендіргіш құрылғысы:
1 – айдаушы белдікіше;
2 – қосымша шөтке; 3 – ток алатын сақина;
4 – шөтке; 5 – сым; 6 – каркас

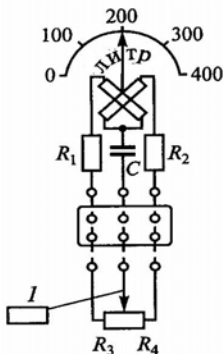
Оқшауланған материалдан жасалған каркасқа (6) тең өлшемді қадаммен сым (5) ораған. Каркастың жоғарғы шекарасында сым қорғалады, металл бойымен шөтке (4) сырғанады. Қосымша шөтке (2) ток алатын сақинамен (3) сырғанады. Екі шөтке де айдаушы белдіктен (1) оқшауланған. Реостаттық түрлендіргіштер каркасқа оратылған сыммен орындалғандықтан, реохордтық типте болады. Сым материалы ретінде нихром, манганин, константан, т.б. алынады. Түйіспе беттерінің үйкеліске шыдамдылығына талаптар жоғары және түйіспе қысымы өте аз болғанда платинаның иридиймен, палладиймен қоспасы қолданылады. Реостат сымы эмальмен немесе көрші орамдарды бір-бірінен оқшаулау үшін оксидтер қабатымен жабылуы қажет. Қозғалтқыштар түйіспелік қысымы 0,003 ...0,005 Н 2–3 сым немесе қысымы 0,05...0,1Н пластиналық (күміс, фарфорлық қола) болады. Оралған сымның түйіспелік беті жылтыратылады; түйіспелік беттің ені сымның 2–3 диаметріне тең. Реостаттық түрлендіргіштің каркасы оқшаулағыш лак не оксидтік қабатпен жабылған текстолиттен, пластмасса немесе алюминийден жасалады. Каркас пішіні әртүрлі. Реостаттық түрлендіргіштердің реактивтік кедергісі өте аз және оны дыбыс диапазоны жиілігінде елемеуге болады. Электрлік емес шамаларды өлшеуде реостаттық түрлендіргіштерді қолданғанда сілтеуіштің ауытқы бұрышының (α), өлшенетін электрлік емес шамадан (F) сызықты тәуелділігін алу мәселесі тұрады. Бұл, аралық түрленуді жүзеге асыратын сілтеуіш пен түрлендіргіш арасындағы құрал контактыларына және түрлену функциясының бейсызықтығына қарамастан іске асады.

Мұндай жағдайларда каркас бойымен кедергінің бейсызық таралуына ие функционалдық реостаттық түрлендіргіштер қолданылады. Мұндай кедергі таралуын, мысалы каркас биіктігін өзгертіп, сызықты реостат бөліктерін тұрақты кедергілермен шунттап, айнымалы қадаммен орауды қолданады.

Ал каркастың жеке бөліктерін түрлі диаметрлі сымдармен орап немесе түрлі меншікті кедергілермен алуға болады.

Реостаттық деңгей өлшегіші. Деңгей өлшейтін құралдарда кең қолданысқа ие болған реостаттық түрлендіргіштер – ұшақта, көліктерде, т.б. қолданылатын реостаттық деңгей өлшегіштер. 3.21-суретте реостаттық деңгей өлшегіштің өлшеу тізбегі – бензин өлшегіш көрсетілген.

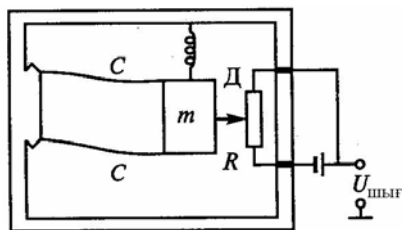
Мұнда өлшегіш ретінде – реостаттық түрлендіргіштің шеңберлері (R_3) және (R_4) кедергілері тізбектей қосылған магнитоэлектрлік логометр болып саналады. Қалтқымен (I) байланысқан қозғалтқыштың жағдайы өзгергенде, екі шеңбердегі токтар түрлі таңбамен оның сілтеуіш бағдары өзгереді. R_1 және R_2 кедергілері берілген өлшеу шегінде құралды реттейді. Сілтеуіш шкаласы литрге бөліктенеді.



3.21-сурет. Реостаттық деңгей өлшегіш сұлбасы: I – қалтқы

Серіппелі үдеу өлшегіші. 3.22-суретте реостаттық түрлендіргіші бар серіппелі үдеу датчигінің сұлбасы көрсетілген.

m массасы C серіппеге ілінген. $F=mx$ инерция күші әсерінен вертикаль үдеу бар кезде массамен байланысты D қозғалтқышы (R) реостат бойымен қозғалады. Шығыс кернеу, әрекет етуші үдеуге пропорционал. Құралдың өлшеу шегі (C) серіппенің қаттылығы және масса шамасымен анықталады.



3.22-сурет. Реостаттық түрлендіргіші бар серіппелік үдеу датчигінің сұлбасы

Реостаттық түрлендіргіштер жиіліктік диапазоны шектелген виброүдеулер, виброорын ауыстыруларды өлшеуге қолданылады.

Температураның өзгеруімен, сымның меншікті кедергісінің температуралық өзгеруіне негізделген түрлендіргіш кедергісі өзгереді. Түрлендіргіш потенциометрлік сұлба бойынша бос жүрістің тәртібінде қосылғанда кернеу таралуын өзгертпейді және температуралық қателік болмайды.

Негізінен реостаттық түрлендіргіштер сатылы (дискреттік) болып саналады. Өйткені, реохордтық типті есептемегенде, өлшенетін электрлік емес шаманың үздіксіз өзгеруіне, қозғалтқыш бір орамнан екіншісіне өткенде ΔR сатылы кедергінің өзгеруі сәйкес келеді.

Дискреттілік қателігі мына жағдайды құрайды:

$$\gamma_R = \pm \Delta R / (2R_p)$$

мұндағы R_p – түрлендіргіштің толық кедергісі.

Егер түрлендіргіш пропорционалдық түрлену функциясына сай болса, онда кедергі «секірулері» қозғалтқыштың қозғалу аралығында бірдей болады. Онда

$$R_p = n\Delta R; \quad \gamma_R = \pm 1/2n,$$

мұндағы n – реостаттық түрлендіргіш орамындағы орам саны, әдетте $n = 100 \dots 200$.

3.6. Тензорезисторлық түрлендіргіштер

Тензорезисторлық түрлендіргіштердің жұмысы негізінде – қысу-созылу деформациясы кезінде өткізгіштердің белсенді кедергісінің өзгерісімен түсіндірілетін тензоэффект құбылысы жатыр. Өткізгіш деформацияланғанда оның ұзындығы (l), көлденең қима ауданы (Q), ал кристалдық тор деформацияланғанда – меншікті кедергі (ρ) өзгереді. Бұл өзгерістер өткізгіш кедергісінің өзгеруіне әкеледі:

$$R = \rho l / Q.$$

Тензоэффекттің басты сипаттамасы – салыстырмалы сезімталдық коэффициенті $S_{\text{сал}}$, ол кедергі өзгерісінің өткізгіш ұзындығының өзгерісіне қатынасымен анықталады:

$$S_{\text{сал}} = \varepsilon_R / \varepsilon_l,$$

мұндағы $\varepsilon_R = \Delta R / R$ – сым кедергісінің салыстырмалы өзгерісі; $\varepsilon_l = \Delta l / l$ – өткізгіш ұзындығының салыстырмалы өзгерісі. Тензотүрлендіргіш материалына басты талап – салыстырмалы сезімталдық коэффициентінің ($S_{\text{сал}}$) ең үлкен мүмкін мәні. Бұл салыстырмалы кедергі өзгерісі (ε_R) көптеген тензотүрлендіргіштерде аз болуымен $(5 \dots 7) \cdot 10^{-3}$ түсіндіріледі. Түрлендіргішті қыздыру, оның кедергісін өзгертуі мүмкін. Басқа қойылатын талап – түрлендіргіштің температуралық қателігін анықтайтын материал кедергісінің температуралық коэффициентінің ең аз мүмкін мәні. Үшінші талап – түрлендіргіштің габаритті өлшемдерін азайту үшін, түрлендіргіш материалының жоғары меншікті кедергісі. Тензорезисторларды дайындауға жиі қолданылатын материалдар: константан, нихром, манганин, никель, хромель, висмут, титаноалюминийлік балқыма және жартылай өткізгіш материалдар (германий, кремний қоспалары, т.б.). Қазіргі уақытта сымдық, фольгалық, пленкалық және жартылай өткізгіш тензорезисторлар кең қолданылады.

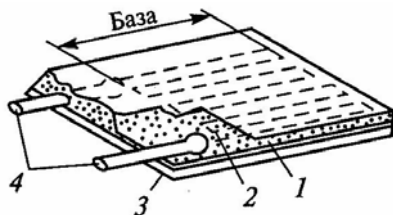
Сымдық тензотүрлендіргіштер. Сымдық тензотүрлендіргіштерде өлшеу үшін қолданылады:

- көлемдік қысу жағдайындағы өткізгіш тензоэффекті, түрлендіргіштің кіріс шамасы – қысым (газ немес сұйықтық), ал шығыс шамасы белсенді кедергі өзгерісі. Осы принципте жоғары және аса жоғары қысым манометрлері құрылады;

- тензосезімтал материалдан жасалған созылмалы сым тензоэффектісі.

Бұл кезде тензорезисторлар «еркін» түрлендіргіш және жапсырылатын түрде қолданылады. «Еркін» тензотүрлендіргіштер серпімді элемент рөлін атқаратын қозғалмалы және қозғалмайтын бөлшектер ұшына бекітілген бір немесе сымдар тобы түрінде орындалады. Кіріс шама – қозғалмалы бөліктің ең кіші орын ауыстыруы, ал шығыс шама – оның кедергісінің өзгеруі. Түрлендіргіш құрылғысы 3.23-суретте көрсетілген.

Жұқа қағаз жолағына немесе лакталған қабыршаққа (1) диаметрі 0,02...0,05 мм зигзаг тәріздес жіңішке сым жапсырылады. Сым ұштарына түрлендіргішті өлшеу тізбегіне қосатын мыс шығыс сымдар (4) қосылады. Үстінен түрлендіргіш лак қабатымен жабылып, қағаз (3) немесе фетрмен жапсырылады. Мұндай түрлендіргіш сым сыналатын бөлшек деформациясын қабылдайтындай бөлшекке жапсырылады, нәтижесінде сым кедергісі өзгереді. Сонымен, кіріс шама – сыналатын бөлшектің беттік қабатының деформациясы, ал шығыс шама – осы деформацияға пропорционал түрлендіргіш кедергісінің өзгерісі.

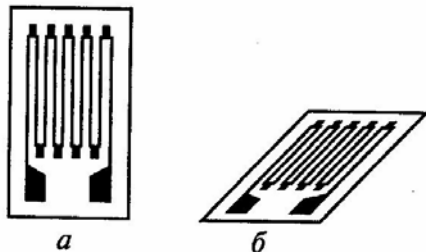


3.23-сурет. Жапсырылатын сым тензорезистор құрылғысы:
1 – лакталған пленка; 2 – сым; 3 – қағаз; 4 – мыс өткізгіштер

Түрлендіргіштің өлшеу базасы – сым алатын бөлшек ұзындығы болып саналады. Ең көп қолданылатын түрлендіргіштердің базасы 5...20 мм, кедергісі 30...500 Ом. Тұзақтық конструкциядан басқалары да бар. Өлшеу базасын азайту қажет болғанда (3... 1 мм-ге дейін) тензорезистор орамдық тәсілмен дайындалады. Ал дөңгелек қима сыртына құбырға жұқа қағаздан тензосезімтал сымнан жасалған спираль оралады. Одан соң бұл құбырлар жапсырылып, қабықтан шешіледі де, жалпийады, оның ұштарына шығыс электродтар бекітіледі.

Тензотүрлендіргіші бар тізбектен үлкен ток шамасын алу қажет болғанда (мысалы, осциллограф вибраторымен жұмыс істегенде), саны үлкен (30...50) параллель қосылған сымдардан жасалған сымдық түрлендіргіштер қолданылады. Олар үлкен габаритті өлшемдерімен ерекшеленеді (база ұзындығы 150... 200 мм), бірақ бұл түрлендіргіш арқылы өтетін токты көбейтуге мүмкіндік береді.

Фольгалық түрлендіргіш. Ол қалыңдығы 4...12 мкм константадан жасалған фольгалық тензосезімтал тор қойылатын жұқа лакталған пленка түрінде болады. Мұндай түрлендіргіштерді өңдеу жолымен алған кездегі фольгалық түрлендіргіштің артықшылығы – одан кез келген тор суретін алуға болады. 3.24а, б-суреттерде фольгалық тензорезистор-лардың түрлері көрсетілген.



3.24-сурет. Фольгалық тензорезисторлар

Фольгалық түрлендіргіштердің негізгі артықшылығы – шығыстарды сенімді дәнекерлеуге мүмкіндік беретін, олардың ұштарының кимасын ұлғайту және сымдыққа қарағанда үлкен кималы түрлендіргіштер дайындау мүмкіндігі. Бұл түрлендіргіш арқылы үлкен токтар өткізуге, соған байланысты оны сезімтал етуге жағдай жасайды.

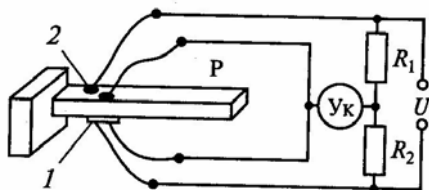
10-ға тең жолақ қалыңдығының еніне қатынасы кезінде фольга түрлендіргішіндегі ток дәл сол кималы сым түрлендіргіштегіге қарағанда 1,4 есе үлкен.

Тензотүрлендіргіші бар құралдар қателігі. Бұл қателіктер құрал бөліктенуімен тығыз байланысты. Жұмыс түрлендіргішін тікелей бөліктенбеген жағдайда, түрлендіргіштердің бірдей еместігі, жұмысшы және бөліктенетін тензорезисторлар жапсырмаларының сапасымен анықталатын қателік 3...5%-ға жетеді. Ал жалпы құрал қателігі – 10...15%. Жұмысшы түрлендіргішті бөліктегенде және күшейткіш сезімталдығын бақылау мүмкін болғанда, құрал қателігі 0,2...0,5%-ға төмендетіледі.

Тензорезисторлар үшін ең үлкен температуралық қателікті азайту үшін дифференциалдық қосу сұлбасы қолданылады – көпірдің көрші иығына дәл сол материалға жапсырылған және температуралық жағдайға орналасқан түрлендіргіш қосылады.

Көп жағдайларда бөлшек пен көпірдің екі көрші иығына таңбалары әртүрлі тең деформацияланатын екі түрлендіргішті қосуға болады (3.25-сурет). Осы уақытта бір мезгілде температуралық түзету алынып, өлшеу тізбегінің сезімталдығы ұлғаяды.

Жоғары дәлдікті тензорезисторларда және бір ізге салынған сипаттамалары бар датчиктер алу үшін тензорезисторлық көпір мен құралдың толық параметрлерін, сипаттамаларын реттейтін қалыптандырушы резисторлары бар көпірлік сұлбалар қолданылады. Мұндай құралдарды пайдаланғанда фольгалық тензорезисторлардың қателігі 0,03...0,005%-ға дейін азады, ал жартылай өткізгіш тензорезисторлары бар датчиктерде ол – 0,1 %-ға дейін.



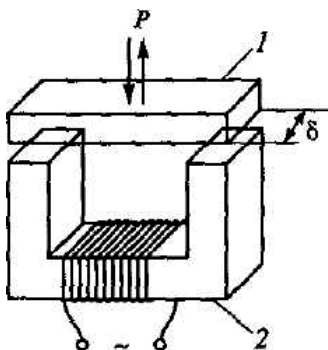
3.25-сурет. Температуралық түзетілетін тензорезисторларды қосу сұлбасы: 1 – қысу; 2 – созу

Қолданылуы: деформация және механикалық кернеу, сондай-ақ қосымша серпімді элементтерге (серіппе) пропорционал басқа статикалық және динамикалық механикалық шамаларды, мысалы иілмелі немесе айналмалы моменттің жолын, үдеуін, күшін, газ немесе сұйық қысымын, т.б. өлшеу үшін қолданылады. Осы өлшенетін шамалар бойынша туынды шамалар, мысалы масса (салмақ), резервуарларды толтыру дәрежесі, т.б. анықтауға болады. Қағаздық негіздегі сымдық тензорезисторлар, фольгалық және пленкалық тензорезисторлар 0,005...0,02-тан – 1,5...2%-ға дейінгі салыстырмалы деформацияны өлшеуге пайдаланылады. Еркін сымдық тензорезисторлар 6...10%-ға дейінгі деформацияны өлшеуге қолданылады. Тензорезисторлар инерциясыз және 0...100 кГц жиілік диапазонында қолданылады.

3.7. Индуктивтік түрлендіргіштер

Индуктивтік деп, өлшенетін (механикалық) шама мәнін индуктивтілік мәніне түрлендіретін түрлендіргішті айтады. Ол магнит өткізгіш элементтердің өзара салыстырмалы орын ауыстыруы кезінде, толық кедергісін өзгертетін индуктивтілік катушкасы болып саналады. 3.26-суретте ұзындығы өлшенетін шама (P) (шоғырланған күш, қысым, сызықты орын ауыстыру) әсерінен өзгертетін ең кіші ауа саңылауы бар (δ) түрлендіргіш

көрсетілген. Осының салдарынан магниттік тізбектің магниттік кедергісі мен айнымалы ток тізбегіне қосылған және білікке кигізілген катушка индуктивтілігі өзгереді.



3.26-сурет. Индуктивтік түрлендіргіш құрылғысы:
1 – білік; 2 – орам

Катушка индуктивтілігі (L):

$$L = \frac{\omega^2}{R_M} \text{ или } L = \frac{\omega^2}{R_{M,CT} + R_\delta} = \frac{\varpi^2}{R_{M,CT} + \frac{2\delta}{\mu_0 Q}},$$

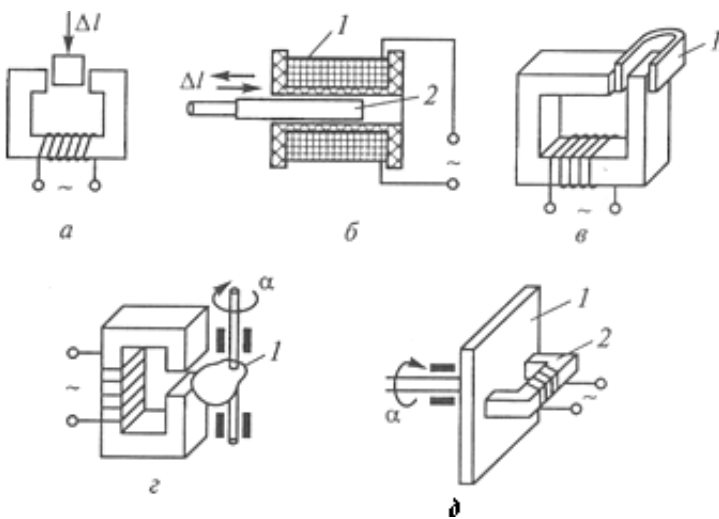
мұндағы ω – катушка орамдарының саны; R_M – магниттік тізбектің толық кедергісі; $R_{M,CT}$ – болаттан жасалған аймақтардың магниттік кедергісі; R – ауа саңылауының магниттік кедергісі; δ – ауа саңылауы; $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – ауа саңылауының магниттік өтімділігі; Q – ауа саңылауының ауданы. Сонымен, бұл түрлендіргіште кіріс шама – біліктің (I) орын ауыстыруы, ал шығыс шама – орам индуктивтілігінің (L) өзгеруі. Катушканың индуктивті кедергісінің өзгеруі, оның толық кедергісін (Z) өзгертеді. Осыған байланысты өлшенетін

механикалық шама (Р) мен түрлендіргіштің электр кедергісі (Z) арасында функционалдық тәуелділік пайда болады

$$Z=f(P) \text{ и } \Delta Z=f(\Delta P).$$

3.27а-суретте өлшенетін шама мәнімен бірге, ауа саңылауының ауданы өзгертін түрлендіргіш келтірілген. Мұндай түрлендіргіштер 5...20 мм шамасындағы орын ауыстыруларды (Δl) өлшегенде қолданылады.

3.27б-суретте алшақ магнит тізбегі берілген. Ол ішінде болат білік орналасқан (2) катушкadan (1) тұрады. Білік қозғалғанда өлшенетін механикалық шаманың функциясы болып саналатын катушка индуктивтілігі өзгереді.



3.27-сурет. Индуктивтік түрлендіргіштің түрлері:

а – ауа саңылауының өзгертмелі ауданымен; б – алшақ магнит тізбегімен (1 – катушка; 2 – білік); в – ауа саңылауына орам (1) енгізілген түрі; г өзгертмелі диск профилімен; д – 90°-қа дейін бұрыштық орын ауыстыруды өлшеу үшін (1, 2 – біліктер)

Түрлендіргіште (3.27в-сурет) ауа саңылауына қысқа тұйықталған орамды (1) енгізгенде орамдағы индукцияланған токтар реактивті магниттік кедергі тізбегіне (X_M) эквивалентті белсенді жоғалтулар түзеді. X_M ендіру жұмыс ауа саңылауын азайтумен қатар, орам қозғалысына пропорционал жалпы магниттік кедергіні ұлғайтады.

Түрлендіргіште диск профилін өзгерте отырып (3.27г-сурет), дискінің бұрылыс бұрышының индуктивтіліктен тәуелділігінің кез келген түрін алуға болады. Бұл түрлендіргіштер 180...360°-қа дейінгі бұрыштық орын ауыстыруларды өлшей алады.

90°-ға дейінгі бұрыштық орын ауыстыруды өлшейтін түрлендіргіштерде (3.27д-сурет) магнит өткізгіш қозғалмайтын біліктен (2) және қозғалатын бұралатын біліктен (1) тұрады. Екі білік те шихталған болаттан жасалады. Шихталау бағыттары сәйкес болғанда білік пластиналарындағы (1) екіншілік токтар минималь, ал орам индуктивтілігі максималь болады. Егер (1) білікті (2) білікке қатысты бұрсак, онда екіншілік токтардың магниттігін жою әсері өсіп, индуктивтілік азаяды.

Кемшіліктері: түрлену функциясы бейсызық, аддитивтік қателіктері (мысалы, орамның белсенді кедергісімен байланысты температуралық қателігі) жоғары мен якорьдің тартылыс күші жоғары.

Трансформаторлық түрлендіргіштер. Өзара индуктивті немесе трансформаторлық деп, өлшенетін шама мәнін өзара индуктивтілік мәніне түрлендіретін түрлендіргіштерді айтады.

Магниттік тізбекте екі орамның болуы, магниттік кедергі (R_M) өзгерген жағдайда, катушка орамдары арасындағы өзара индуктивтілік M өзгереді:

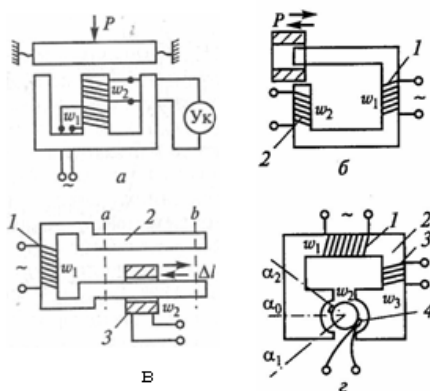
$$M = \omega_1 \omega_2 / l_M.$$

Трансформаторлық түрлендіргіштердің екі түрі бар: өзгермелі магниттік кедергісі бар (3.28а-сурет) және тұрақты магниттік кедергісі мен қозғалмалы орамы тұрақты (3.28б, в-сурет).

3.28а-суретте қозғалмалы білігі бар трансформаторлық түрлендіргіш берілген. (w_x) орамы айнымалы токпен қоректенеді (ω жиілігімен). Егер МДС F_1 , яғни I_1 тогы тұрақты болса, онда ағым Φ және екінші орамда индуктивтелген ЭҚК P күшімен төмендегі формула арқылы байланысқан ауа саңылауы ұзындығының функциясы болады:

$$E_2 = \omega w_2 \Phi = \omega w_2 \frac{F_1}{Z_M} = f(P).$$

3.28б-суретте түрлендіргіште өлшенетін шама әсерінен, ағымның белгілі бір бөлігі айқасатын қысқа тұйықталған орам орын ауыстырады. Ораммен айқасатын ағым, саңылаудағы орам күйіне тәуелді токтар туғызып, белсенді жоғалтулар түзеді, яғни қосымша реактивті магниттік кедергі енгізеді. Бұл кезде ораммен айқасу ағымы (I) және (2) және екінші орамдағы ЭҚК өзгереді.

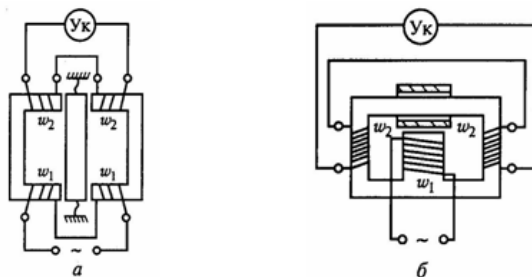


3.28-сурет. Трансформаторлық түрлендіргіштердің түрлері:
 а – қозғалмалы білікпен; б – қозғалмалы катушкамен (1, 2 – трансформатор орамдары); в – д үлкен сызықты орын ауыстыруларды өлшеу үшін (1 – қоздыру орамы; 2 – магнит өткізгіш; 3 – қозғалмалы орам); г – үлкен бұрыштық орын ауыстырулар үшін (1, 3, 4 – орамдар; 2 – магниттік тізбек)

3.28в-суреттегі түрлендіргіш үлкен сызықтық орын ауыстыруларды (ΔI) өлшеуге арналған және екі параллель жолақ түріндегі екі бөлігі – қоздыру орамы (1) және қозғалмалы орам (3) бар магнит өткізгіштен тұрады. Орам (3) а жағдайнан б жағдайға орын ауыстырғанда орамда (30 индукцияланған) ЭҚК өседі.

3.28 г-суреттегі түрлендіргіш, үлкен бұрыштық орын ауыстыруларды өлшеуге арналған. w_1 орамы сол жиілігі бар айнымалы ток тізбегіне қосылып, магниттік ағым түзеді. Оның бір бөлігі орам (4) арқылы өткенде онда E_2 енгізеді. Мұндай түрлендіргіште орам (4) магниттік тізбектің (2) сақиялық саңылауында бұрыла алатын шеңбер түрінде жасалады. Шеңбердің шеткі жағдайларында (a_1 және a_2) индукцияланған ЭҚК E_2 максималь мәнге ие. Шеңбердің горизонталь жағдайға бұрылу өлшеміне қарай ЭҚК E_2 нөлге дейін сызықты азаяды. Шеңбер горизонталь жағдайға өткенде E_2 фазасы 180° -қа өзгереді. Орам (3) шеңбер a_1 -ден a_2 -ге бұрылғанда ЭҚК-нің нөлден максимумға өзгергенін алу үшін ораммен (4) тізбектей қосылады.

$E=f(\delta)$ сипаттамасының сызықты аймақтарын кеңейту үшін қозғалмалы білігі (3.29а-сурет) және қозғалмалы қысқа тұйықталған орамы бар (3.29б-сурет) трансформаторлық түрлендіргіштер – дифференциалдық, трансформаторлық түрлендіргіш түрінде орындалады.



3.29-сурет. Дифференциалдық трансформаторлық түрлендіргіштер:
а – қозғалмалы білігі бар; б – қозғалмалы орамы бар

Индуктивтік және өзара индуктивтік түрлендіргіштерді есептеу, толық магниттік кедергі (R_m) анықтамасынан құралады. Яғни, магниттік тізбек пен түрлендіргіштің электрлік параметрлерін (L , M) есептеуден құралады.

Катушка МДС-ын таңдау көптеген факторлармен анықталады, себебі оған МДС-тен түрлендіргішті жобалағанда ескерілетін төрт шама тәуелді:

- бірінші жуықтауда – оны реактивті қуатқа тең етіп алатын түрлендіргіштің толық қуатының мәні:

$$P_{\text{пр}} = \omega \Phi F,$$

мұндағы $P_{\text{пр}}$ – түрлендіргіштің толық қуаты; ω – айналма жиілік; Φ – магниттік ағым; F – МДС.

Егер сілтеуіш қуаты берілсе, онда түрлендіргіш қуаты сілтеуіш қуатынан 10-100 есе көп болуы керек;

- түрлендіргіштің габариттік өлшемдерін, сымдағы ток күші мен катушкадағы орам санын катушканың габариттік өлшемдері анықтайды;

- катушканы қыздыру температурасы, түрлендіргіштегі белсенді қуаттың (P') меншікті жоғалтуына тәуелді

$$P' = P/S,$$

мұндағы P – түрлендіргіштің белсенді қуаты; S – катушканың суитын беткейі.

Якорьдің орын ауыстыруымен анықталатын катушканың салыстырмалы кедергілерінің өзгеруі $\Delta Z/Z$ 10...20 %-дан аспаса, онда қыздыру нәтижесінде тұрақты ток кедергісінің өзгеруі минималь болады. Сондықтан P шамасын 50... 100 Вт/м² мәнімен шектеу ұсынылады;

- якорьдің білікке электромеханикалық тартылу күші (F_3):

$$F_e = (Iw)^2 \frac{\Delta \gamma \delta}{\Delta \delta},$$

мұндағы $\gamma_\delta = S\mu_0/\delta$ – ауа саңылауының магниттік өтімділігі.

Бұдан:

$$Fe = \frac{S\mu_0}{\delta^2} (Iw)^2.$$

Электрмеханикалық күш, өлшенетін орын ауыстыру күшінен өте көп төмен болуы керек. Қарама-қарсы жағдайда, түрлендіргіш жұмысы орнықсыз болады.

Алынған МДС мәні орамдар саны көп болғанда кіші токпен, не болмаса орам саны аз болғанда – үлкен токпен қамтамасыз етіледі. Катушка орамдарының санын анықтау үшін МДС мәні және катушка терезесінің кима ауданы беріледі. Қуат та, салыстырмалы сезімталдық та орам санына тәуелді емес:

$$P = I^2 Z; k = \frac{\Delta Z / \Delta Z}{\Delta \delta} = \frac{\varepsilon}{\Delta \delta}.$$

Катушканың орам санын тандағанда сілтеуіш пен тізбек кедергілері сәйкес болуы қажет.

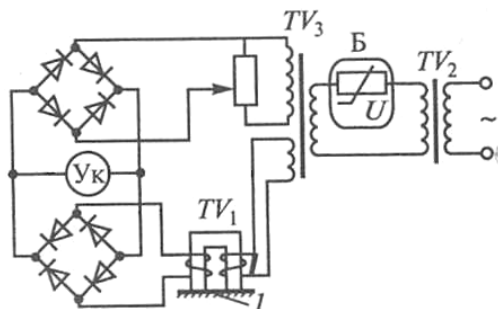
Индуктивтік түрлендіргіштердің қателігі. Негізінен олар қорек көзінің кернеуі мен жиілігінің, сондай-ақ түрлендіргіш температурасының тербелістеріне байланысты. Тең салмақты көпір симметриясы бар дифференциалдық түрлендіргіштер үшін сыртқы факторлар тудырған қателіктер болмайды. Алайда, екі жартының керемет симметриялығын алу мүмкін блмағандықтан, бұл қателіктер дифференциалдық түрлендіргіштерде де кездеседі.

Индуктивтік түрлендіргіштер негізінен, сызықтық және бұрыштық орын ауыстыруларды өлшегенде кең қолданылады. Индуктивтік түрлендіргіштерді түрлі электрлік емес шамаларды өлшегенде қолданылуын қарастыралық.

Индуктивтік микрометр. Ол сызықтық өлшемдер мен берілген өлшемнен ауытқуларды өлшеуге арналған. Индуктивтік микрометр түрлендіргіштерін, өлшеу штогынан якорьға тетіктік беру арқылы және онсыз да орындауға болады.

Тетіксіз беру – түрлендіргіші құрылымдық жағынан оңай, бірақ салыстырмалы сезімталдығы аз болғандықтан үлкен қателіктер кездеседі. Себебі, якорь қозғалысы, өлшенетін орын ауыстыруға тең. Тетіктік беру түрлендіргішінде якорьдің орын ауыстыруы, өлшенетін орын ауыстыруға карағанда ондаған есе үлкен. Өйткені бұл, үлкен мәнді салыстырмалы сезімталдық пен аз өлшеу қателіктеріне әкеп соғады. Мұндай микрометрлерде ең кіші өлшеу шегі 100 мкм-ге жетеді, ал тетіксіз микрометрлерде ол 300...400 мкм-ді құрайды.

Индуктивтік қалыңдық өлшегіш (3.30-сурет). Ол 2... 60 мкм диапазонында гальваникалық беттің қалыңдығын өлшейді.

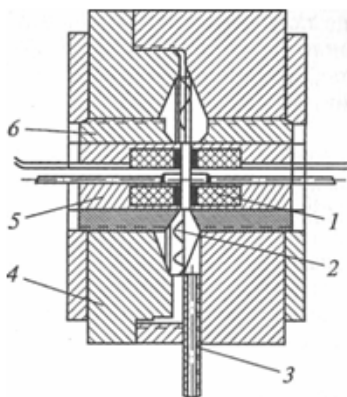


3.30-сурет. Гальваникалық беттің қалыңдығын өлшеу құралының сұлбасы: *I* – сыналатын бөлшек

Түрлендіргіш магниттік ағым, сыналатын бөлшек (1) арқылы тұйықталатын алшақ магниттік тізбегі бар трансформатордан (TV_1) тұрады. Магниттік ағым шамасы біріншілік орамның МДС мәні берілгенде бет қалыңдығына тәуелді. Ал екінші орамда индукцияланған ЭҚК беттің қалыңдығының функциясы болып есептеледі. Магнитэлектрлік өлшеуіш, түзеткіш түйін (контакт) арқылы қосылады. Реостат тізбектің тепе-теңдігін реттейді. Құрал TV_2 , TV_3 трансформаторы және бареттер (Б)/*- арқылы 220 В айнымалы токпен қоректенеді.

Индуктивтік манометр (3.31-сурет). 800 Гц-қа дейін жиілікпен өзгертін кіші ауа қысымын өлшейді (от 15 Н/м², немесе 1,5 мм су бағ.). Өлшенетін қысым құбыр (3) арқылы түрлендіргіш (4) корпусына дәнекерленген жұқа бүрмеленген мембранаға (2) әсер етеді. Катушка (1) тудыратын магниттік ағым білік (5), стакан 6 және мембрана (2) арқылы тұйықталады. Өлшенетін қысым мембранаға әсер еткенде бір жағынан ол майысады және бір катушка ағымы үшін магниттік кедергі азаяды, ал басқа катушка ағымы үшін ұлғаяды. Түрлендіргіш катушқасы көпірдің көрші иықтарына қосылады, сөйтіп кателіктер азаяды.

Индуктивтік деңгей өлшегіш, виброөлшегіш, удеу өлшегіштер, т.б. бар.



3.31-сурет. Индуктивтік манометр датчигі:

1 – катушка; 2 – мембрана; 3 – құбыр; 4 – түрлендіргіш корпус;
5 – білік; 6 – стакан

3.8. Магнитсерпімді түрлендірігіштер

Магнитсерпімді түрлендірігіштер, электромагниттік түрлендірігіштердің бір түрі. Олар ферромагниттік денелердің магнит

өтімділігінің μ механикалық күштер (P) әсеріне және механикалық кернеулерге (σ) байланысты өзгеру құбылысына негізделген. Ферромагниттік біліктің магниттік өтімділігінің өзгерісі біліктің магниттік кедергісінің өзгеруіне R_m әкеледі. R_m өзгеруі, біліктегі катушка индуктивтілігін L өзгертеді. Сонымен, магнитсерпімді түрлендіргіштерде келесі түрлену тізбегін аламыз:

$$P \rightarrow \sigma \rightarrow \mu \rightarrow R_m \rightarrow L. \quad (3.4)$$

Магнитсерпімді түрлендіргіштердің екі орамы болуы мүмкін (трансформаторлық типті). Магниттік өтімділік күш әсерінен өзгергенде, орамдар арасындағы өзара индуктивтілік (M) пен екінші орамға келтірілген ЭҚК (E) өзгереді. Бұл жағдайда түрлену тізбегі мына түрге ие болады:

$$P \rightarrow \sigma \rightarrow \mu \rightarrow R_m \rightarrow M \rightarrow E. \quad (3.5)$$

Ферромагниттік материалдардың магниттік қасиеттерінің механикалық деформация әсерінен өзгеруі – *магнитсерпімділік эффектісі* деп аталады.

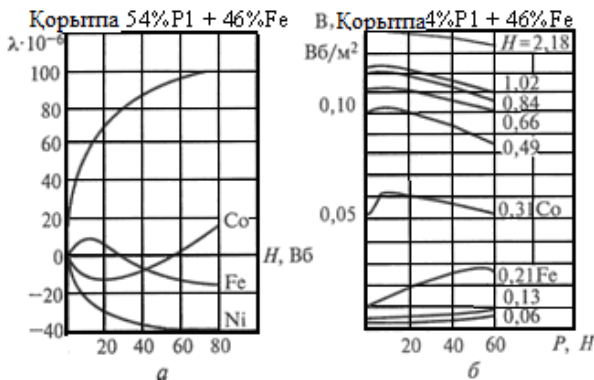
Осыған кері құбылыс та бар: магнит өрісіне енгізілген ферромагниттік дене өз өлшемдерін өзгертеді. Басқаша айтқанда, сыртқы магнит өрісі – ферромагниттік дененің механикалық деформациясын тудырады. Ферромагниттік денелердің механикалық және магниттік күйлерінің арасындағы өзара тәуелсіздік нәтижесінде пайда болған құбылыстар – магнитті – *стрикциялық* деп аталады. Магнитті – стрикция ұғымы сыртқы магнит өрісі әсерімен шартталған өзек ұзындығының l салыстырмалы өзгеруін $\Delta l/l = \lambda$ білдіреді. Магнитті – стрикциялық және магнитке төзу құбылыстары бірмәнді емес. Кейбір ферромагниттік денелер оң магнитті – стрикцияға ие, яғни магниттік өріс бағытымен өлшемдерін ұлғайтады, ал кейбіреуі – теріс, яғни дене өз өлшемдерін магниттік өріс бағытымен азайтады. Магнитті – стрикция

шамасы оның таңбасы магниттік тізбек материалына, оның термоөңделуіне, температураға және магниттік өріс кернеулігіне тәуелді.

Түрлі ферромагниттік материалдар үшін магнитті – стрикцияның кернеуліктен тәуелділік сипаты $\lambda = \Delta l / l$ 3.32a-суретте көрсетілген.

Магнитсерпімділік эффектісі де бір мәнді емес. Бір материал үшін механикалық кернеу әсерінен, магниттік өтімділік әлсіз өрістерде өскен кезде күшті өрістерде ол төмендейді.

3.32 ә-суретте жұмсақ болаттан жасалған сым үшін өріс кернеулігінің түрлі мәндерінде механикалық жүктеме функциясында индукцияның (B) өзгеру қисықтары келтірілген.



3.32-сурет. $\lambda = f(H)$ (a) и $B = f(P)$ (ә) (тәуелділіктері)

Магнитсерпімді түрлендіргіш қателіктері. Түрлену функциясының бейсызықтығынан болатын қателіктер. Магнитсерпімді түрлендіргіштердің түрлену функциясы – бейсызық, бұл бейсызықтықты азайтатын көптеген тәсілдер бар: өлшенетін күш диапазонын қысқартқанда, түрлендіргіштің сәйкес магниттік режимін таңдау арқылы, т.б. қажетті шараларды қолдану, түрлендіру қателігін 1,5...2%-ға дейін азайтуға мүмкіндік береді.

Магнитсерпімді қателік. Бұл қателік жүктеме немесе жүктеме алынғанда түрлендіргіш білігінің магниттік күйінің туындамайтындығынан болады. Оның пайда болуы, магнитке төзімді гистерезиспен шартталған, әрі білікте магнит өрісі кернеулігінің ұлғаюымен азаяды. Мүмкіндігінше ондай қателіктерді болдырмау үшін, білік магниттік гистерезис циклінің тар тұзағы мен жоғары серпімділік шегі бар ферромагниттік материалдардан жасау қажет.

Кернеу тербелісінен болатын қателіктер. Магниттейтін ток өзгергенде магниттік өтімділіктің бастапқы мәнімен қоса, магнитке төзімділік эффектісінің шамасы да өзгереді. Сондықтан, қоректену кернеуін тұрақтандыру, барлық датчик түрлері үшін қажет. Кернеу көзінің тербеліс қателігі үлкен болады.

Температуралық қателік. Түрлендіргіш температурасының тербелуі, мына шамалардың өзгеруін – тұрақты ток катушкасының кедергісін (R), бастапқы магниттік өтімділікті және магнитті – стрикцияны, магнитке төзімділік эффект береді. Бұл өзгерістер температуралық қателік тудырады. Бірақ, белсенді кедергінің өзгеруінің R түрлендіргіш жұмысына тигізетін әсері шамалы, өйткені ол белсенді кедергі түрлендіргіштің толық кедергісінен әлдеқайда аз.

Магнитті өтімділіктің өзгеруі, түрлендіргіш материалы мен өріс кернеулігінің мәніне байланысты оң және теріс белгілер бола алады. Сонымен, алынған білік материалы мен өріс кернеулігінің мәніне байланысты жеке факторлар, температура тербелісінде белгілі аралықтарда бір-бірін өтейді. Қажет болғанда температуралық қателікті, көпірдің көрші иықтарына түзеткіш түрлендіргішті қосу арқылы түзетуге болады.

Магнитсерпімді түрлендіргіштерді қолдану. Магнитсерпімді түрлендіргіштердің қолданылуы:

- үлкен қысымдарды өлшеу үшін (10 Н/мм^2 -ден жоғары немесе 100 кГ/см^2), өйткені олар қысымды тікелей қабылдайды да, қосымша түрлендіргіштерді қажет етпейді;

• күш өлшеу үшін. Бұл жағдайда құралдың өлшеу шегі магнитке төзімді түрлендіргіштің ауданымен анықталады. Мұндай түрлендіргіштер күш әсерінен аз ғана деформацияланады. Сонымен, $l = 50$ мм аралықта $\Delta l \leq 10$ мкм, олардың қаттылығы жоғары және өзіндік жиілігі 20... 50 кГц шамасында. Ал материалдағы м жіберілетін кернеу 40 Н/мм 2-дан аспау керек.

3.9. Электролиттік кедергі түрлендіргіштері

Электролиттік түрлендіргіштер – электрохимиялық түрлендіргіштер типіне жатады. Жалпы алғанда электрохимиялық түрлендіргіш, түрлендіргішті өлшеу тізбегіне қосуға арналған электродтар ерітіндісімен толтырылған электролиттік ұяшық. Электр тізбегінің элементі ретінде электролиттік ұяшық ЭҚК-імен, өтетін токтан кернеу түсуімен, кедергімен, сыйымдылық және индуктивтілікпен сипатталады. Осы электрлік параметрлер мен өлшенетін электрлік емес шама арасындағы тәуелділікті ала отырып, басқа да факторлар әсерін басып, сұйық пен газ тәрізді ортаның құрамын, концентрациясын, қысымын, орын ауыстыруын, жылдамдығын, үдеуін, т.б. шамаларды өлшейтін түрлендіргіштер алуға болады. Ұяшықтың электрлік параметрлері ерітінділер мен электродтар құрамынан, ұяшық-тағы химиялық айналулардан, температурадан, ерітіндінің қозғалу жылдамдығына тәуелді. Электрохимиялық түрлендіргіштердің электрлік параметрлері мен электрлік емес шамалар арасындағы байланыс, электрохимия заңымен анықталады.

Тұз, қышқыл және негіздердің судағы ерітінділерінің электрөткізгіштік қасиеті бар және олар *екінші текті өткізгіштер* деп аталады. Еру кезінде диссоциация молекулаларының оң және теріс иондарға ажырауы жүреді. *Еру кезінде иондарға ажырайтын және электрөткізгіш ерітінді түзетін заттар – электролиттер* деп аталады. Электр өрісі

әсерінен оң иондар теріс электродқа, ал теріс иондар – оң электродқа қозғалып, электр зарядтарын тасиды.

Таза судың электрөткізгіштігі нөлге жуық және ол еріген заттардың концентрациясының өсуіне байланысты өседі. Ерітінділердің сипаты:

- молярлық масса P , г/моль;
- молярлық концентрация C , моль/м³;
- химиялық белсенділік a .

Активтілік a эквивалентті концентрацияның C концентрациясы аз ерітінділер үшін бірге және концентрацияның өсуіне қарай, азаятын белсенділік коэффициентінің f көбейтіндісіне тең.

Ерітіндінің меншікті электрөткізгіштігі, оның эквивалентті химиялық белсенділігіне пропорционал:

$$\gamma = \lambda f C = \lambda a.$$

λ коэффициенті эквиваленттік – электрөткізгіштік деп аталады.

Меншікті электрөткізгіштік салмақтық (P) пен эквиваленттік концентрациядан (C) сызықты тәуелді. Электролиттердің өткізгіштігінің концентрациядан тәуелділігі, электролиттік ұяшықты өлшеу түрлендіргіші ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Түрлендіргіштің кіріс шамасы ерітіндінің химиялық активтілігі (a), ал шығыс шамасы электродтар арасындағы электрлі өткізгіштік.

Электролиттік кедергі түрлендіргішінің жұмыс принципі және қателіктері. Электролиттік түрлендіргіштердің жұмыс принципі электролиттік ұяшық кедергісінің электролит концентрациясы мен құрамынан, сондай-ақ ұяшықтың геометриялық өлшемдері тәуелділігіне негізделген. Электролиттік түрлендіргіш сұйықтығының бағана кедергісі

$$R = \frac{\rho h}{S} = \frac{1}{\gamma} k \quad (3.6)$$

мұндағы $\gamma=1/\rho$ – электролиттің меншікті өткізгіштігі; k – әдетте тәжірибемен анықталатын геометриялық өлшемдеріне тәуелді түрлендіргіш тұрақтысы.

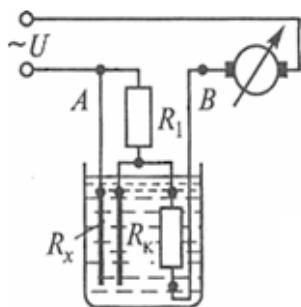
Мұнда кедергіні өлшеу тәсілдерінің кез келгенін қолдануға болады. Өлшеу, негізінен айнаымалы токта жүргізіледі (өлшеу электролиз болмас үшін). ЭҚК-і үлкен қателік тудырмас үшін құралды тұрақты ток көзіне қосқанда, корек кернеуі үлкен болуы керек. Поляризация.

Ерітінді концентрациясын өлшеу үшін құралды бөліктеу екі тәсілмен жүргізіледі:

- үлгілік ерітінділер көмегімен;
- үлгілік магазиндік кедергі көмегімен, берілген концентрация үшін мұнда кедергінің мәндері алдын ала есептеледі.

Ерітіндінің электр өткізгіштігі температураға тәуелді. Өткізгіштіктің температуралық коэффициенті бөлме температурасында қышқылдар үшін $\beta = 0,016^{\circ}\text{C}^{-1}$, тұздар үшін $-\beta = 0,024^{\circ}\text{C}^{-1}$, негіздер үшін $-\beta = 0,019^{\circ}\text{C}^{-1}$. Температураның өсуімен β мәні азаяды. Температуралық қателікті өтеудің көптеген тәсілдері бар, бірақ бұл тәсілдердің барлығы керемет температуралық компенсацияны бермейді. Өйткені, қателік температура мен концентрацияның өзгеруіне қарай өсіп отырады.

3.33-суретте температуралық компенсациясы бар электролиттік түрлендіргіштің сұлбасы көрсетілген. Қателік, өтетін кедергінің тізбектей қосылуымен өтеді.

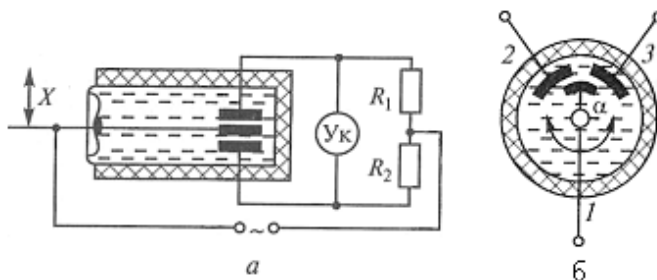


3.33-сурет. Температуралық компенсациясы бар электролиттік түрлендіргіш

Электролиттік түрлендіргіштер – негізінен ерітінді концентрациясын өлшеуге, сондай-ақ орын ауыстыру, жылдамдық, механикалық деформация, температура, т.б шамаларды өлшеуге арналған. Төменде электролиттік түрлендіргіштердің түрлі электрлік емес шамаларды өлшеуде қолданылуын қарастырамыз.

Электромеханикалық орын ауыстыру түрлендіргіштері. Электролиттің тұрақты концентрациясында түрлендіргіш кедергісі, электродтар арасындағы қашықтық немесе электролит қимасы өзгерсе, өзгереді. Электролиттік орын ауыстыру түрлендіргіштерінің әрекеті де осыған негізделген. Төменде сызықты (3.34а-сурет) және бұрыштық (3.34б-сурет) орын ауыстыру түрлендіргіштері мен олардың көпірлік өлшеу тізбегіне қосылу сұлбасы көрсетілген.

Көпірдің екі иығы (3.34а-сурет) бір қозғалмалы (орташа) және екі қозғалмайтын электроды бар дифференциалдық электролиттік түрлендіргіш (R_1) және (R_2) кедергілерімен түзілген. Электролиттік орын ауыстыру түрлендіргішінің негізгі артықшылығы, электролитті қозғалтуға көп күш жұмсалмауы.

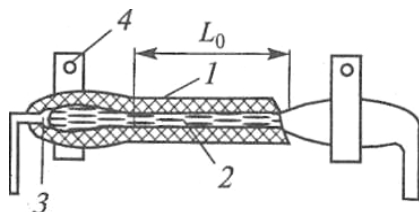


3.34-сурет. Сызықты (а) және бұрыштық (ә) электролиттік орын ауыстыру түрлендіргіштері:

1 – каучуқтық құбыр; 2 – электролит; 3 – электрод

3.35-суретте электролитпен (2) толтырылған ішкі диаметрі 1мм каучук құбырдан (1) және құбыр ұштарына ішкі көлемі толық электролитпен толтырылатындай екі электродтан (3)

тұратын электролиттік тензотүрлендіргіштің сұлбасы көрсетілген. Қысқыштар (4) көмегімен түрлендіргіш зерттелетін объектке бекітіледі.



3.35-сурет. Электролиттік тензотүрлендіргіш:
1 – құбыр; 2 – электролит; 3 – электродтар; 4 – қысқыштар

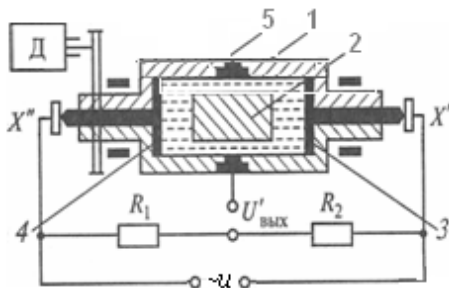
Электролит құрамына, құбыр каналының ұзындығы мен қимасына баланысты бастапқы кедергісі 100-ден бірнеше жүз КОМ-5ға жететін түрлендіргіштер дайындауға болады. Мұндай түрлендіргіштер өте үлкен салыстырмалы деформацияларды өлшейді ($\Delta l/l=0,6$ -ға дейінгі), олардың тензосезімталдық коэффициенті

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = 2.$$

Жиіліктік сипатамасы 500...700 Гц жиілікке дейін жетеді. Электролиттік түрлендіргіштердің артықшылығы – үлкен корек кернеуін пайдалану мүмкіндігі (500 В-қа дейін). Резеңке электролиттік түрлендіргіштің жоғары окшаулау қасиеттері болғандықтан, оны судағы немесе каучукты бұзбайтын басқа да сұйық ортада бөлшектер деформациясын өлшеуде қолдануға болады.

Интегралдаушы үдеу өлшегіш. Электролиттік түрлендіргіштер – интегралдаушы үдеу өлшегіштерде ракета жылдамдығын өлшеуге қолданылады. 3.36-суретте инерция

массасының гидродинамикалық аспасы бар интегралдаушы үдеу өлшегіштің сұлбасы көрсетілген.



3.36-сурет. Интегралдаушы үдеу өлшегіш:

1 – герметикалық камера; 2 – қалтқы; 3 – 5 электродтар

Бұл құрал қалтқы (2) жүзіп жүретін электролитпен толтырылған герметикалық камера (1) түрінде алынған. Камера қосымша двигательдің (Д) көмегімен тұрақты айналма жылдамдықта айналады. Сұйықтың айналуы кезінде пайда болған центрге тарту күші әсерінен қалтқы, камераның симметрия өсі бойымен орнатылады. $X'X''$ айналу өсі бағытында үдеу құраушысы X бар кезде қалтқыға инерция күші әсер етеді:

$$F_{\text{и}} = (P_{\text{ж}} - P_{\text{п}}) V_{\text{п}} X'',$$

мұндағы $P_{\text{ж}}$ – сұйық тығыздығы; $P_{\text{п}}$ – қалтқы тығыздығы; $V_{\text{п}}$ – қалтқы көлемі; X'' – үдеу.

Үдеу әрекетіне қарама-қарсы бағытталған күш қалтқыны қозғалысқа келтіріп, қалтқы жылдамдығына пропорционал сұйықтың гидродинамикалық кедергісінің күшімен теңдестіріледі:

$$F_r = kX',$$

мұндағы k – пропорционалдық коэффициенті; X – қалтқының қозғалу жылдамдығы.

өрнектің оң бөлігін теңестіре отырып, аламыз:

$$X' = k X'',$$

мұнда

$$k = (P_{\text{ж}} - P_{\text{п}}) V_{\text{п}} / k.$$

Сонымен, қалтқының орын ауыстыруы X , өлшенетін үдеудің уақыт бойынша интегралына пропорционал болады:

$$X = k \int X'' dt. \quad (3.7)$$

Камера ішіне үш электрод 3–5 орналастырылған, олардан сырғымалы контакттардың көмегімен сыртқа шығыстар жасалады. Өлшеу тізбегі екі иығы R_1 және R_2 кедергілерімен, ал қалған екі иығы орташа электрод пен екі бүйір электродтары арасындағы электролит кедергілерімен құралған көпірден тұрады. Мұндай құрал қателігі, температурамен анықталатын сұйық, тұтқырлық тұрақсыздығынан болады.

3.10. Полярографиялық түрлендіргіштер

Полярографиялық түрлендіргіштер – электрохимиялық түрлендіргіштердің түріне жатады. Электр тогының электролиттер арқылы өтуі электролизбен – химиялық айналыстар мен ерітіндіден заттардың бөлінуі бірге жүреді. Электролит арқылы электр көзінің өтуі, бір электродта бөліну және басқа электродта сәйкес мөлшерде заттың бөлінуімен жүреді. Соның нәтижесінде иондардың шоғыры электродтар жанында басқаша болады. Тең емес концентрациялар теңесуге ұмтылады, бірақ диффузия жылдамдығы шектелгендіктен, электродтағы ток тығыздығы үлкейген сайын, концентрациялардың айырымы да үлкейеді. Поляризация құбылысы электродтық потенциалдардың өзгеруіне негізделген, нәтиже-

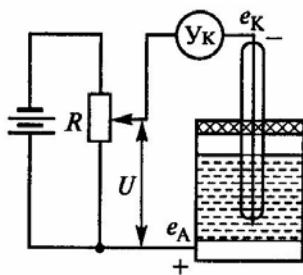
сінде электролиттік ұяшық арқылы электр тогының өтуінен, электродтық потенциал өзгереді. Электролиз процесі негізгі иондар массасы жүретін потенциал – *берілген ионның бөліну потенциалы* деп аталады. Бөліну потенциалы барлық иондар үшін әртүрлі. Осы құбылыс негізінде, ерітінділерді сапалық және сандық химиялық талдаудың поляризацияланған немесе полярографиялық тәсілі орындалады.

Полярографиялық түрлендіргіш (3.37-сурет) сыртқы корек көзінен кернеу берілетін екі электроды бар, талданатын ерітіндімен толтырылған электролиттік ұяшық.

Ұяшық арқылы өтетін ток күші (10^{-6} А-ге тең деп алынады):

$$I = \frac{U - (e_A - e_K)}{R},$$

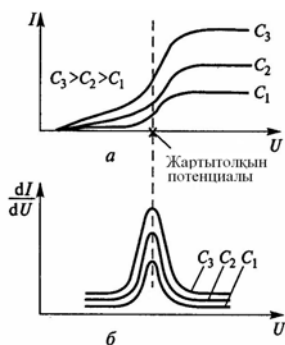
мұндағы e_A – анод потенциалы; e_K – катод потенциалы; R – ұяшық кедергісі (1000 Ом-нан жоғары емес).



3.37-сурет.
Полярографиялық
түрлендіргіш

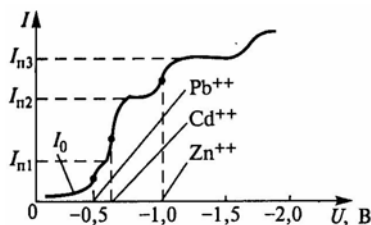
Поляризация тек бір электродта жүру үшін поляризацияланатын электрод ауданы, басқа электрод ауданынан бірнеше жүз есе кіші болуы керек. Поляризацияланбаған электрод потенциалын e_A нөлге жақын, ал кернеу түсуін (IR) берілген кернеу шамасымен (U) салыстырғанда өте аз деп алып, түрлі токтар үшін потенциалдарды $e_K \approx U$ деп анықтауға болады.

3.38а-суретте концентрациясы C әртүрлі ерітіндіде алынған иондардың қалпына келу полярограммасы көрсетілген.



3.38-сурет. Түрлі ерітінді концентрациясындағы иондардың қалпына келу полярограммасы

Қисықтардан көрініп тұрғандай, тең жағдайларда иондардың бөліну потенциалы олардың концентрациясына тәуелді. Сондықтан, сапалы талдау үшін ток күшінің шұғыл өсу потенциалын (ток «толқыны» деп аталатын) емес, ток өсімінің орта аймағына сәйкесетін потенциалды – «жарты толқын» потенциалын алады. Ол иондар концентрациясы мен түрлендіргіш параметрлеріне тәуелді емес. Егер полярографиялық қисықтарды $I=f(U)$ графиктік түрде дифференциалдасак, онда қисық максимумдары $dI/dU=f(U)$ (3.38Іә-сурет) зерттелетін ионның жарты толқын потенциалына сәйкес бір потенциалда болады, ал максимум биіктігі – концентрацияларға пропорционал. Егер зерттелетін ерітіндіде иондардың бірнеше түрі болса (мысалы, Pb^{++} , Cd^{++} , Zn^{++}), онда иондардың әртүрі өзінің ток өсімін – өз «толқынын» береді, нәтижесінде көпсатылы полярограмма алынады (3.39-сурет).



3.39-сурет. Көпсатылы полярограмма

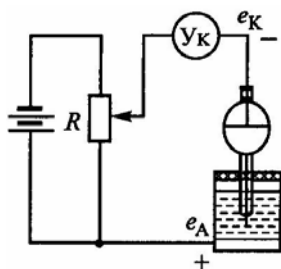
Түрлендіргішке өспелі кернеу бергенде басында ол арқылы тек қалдық ток (I_0) өтеді. Кернеумен иондар разрядының Pb^{++} (-0,45 В) потенциалын алсақ, ток күші шұғыл өсіп және ерітіндідегі Pb^{++} иондар концентрациясымен анықталатын мәнге I_{n1} жетеді. Кернеу әрі қарай өскенде ток Cd^{++} (-0,6 В) иондар разрядының потенциалына жеткенше I_{n1} тең болып тұрады, одан соң I_{n2} мәніне шұғыл өседі. Бұл кезде $I_{n2} - I_{n1}$ токтар айырымы Cd^{++} иондар ерітіндісінің концентрациясына сәйкес болады. Кернеумен Zn^{++} (-1,0 В) иондар разряды потенциалына жеткенде келесі секіріс болады. Мәндері арнайы кестелерде берілетін түрлі элементтердің жарты толқын потенциалы – *полярографиялық спектрді құрайды*.

Белгісіз ерітіндіні зерттеу кезінде алынған жарты толқын потенциалдарын кесте мәндерімен салыстырып, зерттелетін ерітіндінің химиялық құрамын анықтауға болады. Жарты толқын потенциалының барлық мәндері, кестеде қалыпты каломельдік жартылай элементтің потенциалына қатысты беріледі.

Сынаптық тамшылайтын электроды бар полярографиялық түрлендіргіш. Түрлендіргіш зерттелетін ерітіндімен толтырылған ыдыс пен екі сынаптық электрод және электрлік ұяшықтан тұрады (3.40-сурет).

Ыдыс түбін толтыратын сынап – анод, сұйық сақтайтын ыдыс, сынаппен толтырылатын капилляр құбыр ұшында түзілетін сынап тамшысы – катод болып есептеледі.

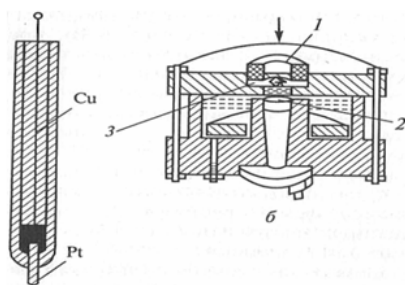
Өз ауырлығының әсерінен сынап тамшысы ыдыс түбіне түседі, артынан келесі тамшы пайда болады. Сонымен, катод – үздіксіз жаңаланып отыратын сынап тамшысы болып саналады. Сынаптық электродта әрқашан электродтың беті жаңарып тұратын қабат пайда болады. Тамшының кіші беті үлкен емес токтарда электрод поляризациялайды, бұл еріген заттың шамалы көлемін ажыратады.



3.40-сурет. Сынаптық тамшылайтын электроды бар полярографиялық түрлендіргіш

Кемшіліктері: сынаптың улылығы, еріген тұздарды зерттеу мүмкін еместігі, сынаптық электродтың анодтық поляризациясының аз жіберілетін кернеуі (+ 0,4 В-қа дейін), сынаптың электрохимиялық еру реакциясы (сынаптың тотығуы), сынаптан да қиын тотығатын заттарды талдауға мүмкіндік бермейді.

Қатты электродтары бар полярографиялық түрлендіргіш. Сынаптық түрлендіргіштерді қолдану мүмкін болмаған жағдайларда қатты, электродтары бар түрлендіргіштер қолданылады (платина, алтын, күміс, графит никелі немесе сынап амальгамен жабылған электродтар). 3.41а-суретте платиналық микроэлектрод берілген, ол шыны құбырға дәнекерленген ұзындығы үлкен емес және қалыңдығы 0,5 мм платина сымнан жасалған.



3.41-сурет. Қатты электродтары бар полярографиялық түрлендіргіш:

а – платиналық микроэлектрод;
б – сыртқы қорек көзінсіз
(1 – мембрана;
2 – электрод;
3 – пластинка)

Электродта жұқа диффузиялық қабат алып және электрод жанындағы қабаттың жаңаруы үшін, шеңбер бойымен айналатын немесе вибрацияланатын қатты электродтар қолданылады.

Айналмалы электродтарда полярографиялық түрлендіргіштердің сезімталдығы өседі, себебі заттың электродқа диффузиясы күшейеді. Шекті ток күші электродтың айналу жылдамдығының квадрат түбіріне пропорционал өседі. Кейде қатты электродтары бар полярографиялық түрлендіргішті сыртқы корек көзінсіз пайдалануға болады. Себебі, электролиттік ұяшық, электродтық потенциал енгеннен кейін өзі ЭҚК көзі болып саналады. Мұндай түрлендіргіш (3.41*ә-сурет*) электро-литпен (хлорлы кальций) толтырылған пластмасса корпус, оның ішіне орналастырылған екі электродтан тұрады. Корпус астында газ кеңістігі қалмайтындай, тығыз жабысып тұратын газ өткізетін полиэтилендік мембранамен (1) жабылған.

Поляризациялаушы катод ретінде алтыннан жасалған цилиндрлік электрод (2), ал анод ретінде беті катод бетінен 40 есе үлкен кадмийден жасалған пластинка (3) алынады. Мұндай гальваникалық тізбек электродтарында поляризациялаушы катодта оттегі қалпына келтіруге қажетті ЭҚК пайда болып, түрлендіргіш шамасы – оттегі концентрациясына пропорционал ток көзі болып саналады. Мұндай түрлендіргіш, газдарда оттегі концентрациясын өлшеу үшін қажет.

Бақылау сұрақтары.

1. Құрылғы, жұмыс принципі және қолданылуы:
 - а) фотоэлектрлік түрлендіргіштердің;
 - ә) сыйымды түрлендіргіштердің;
 - б) жылулық түрлендіргіштердің;
 - в) иондаушы түрлендіргіштердің;
 - г) реостаттық түрлендіргіштердің;
 - ғ) тензорезисторлық түрлендіргіштердің;
 - д) индуктивтік түрлендіргіштердің;
 - е) магнитке төзімді түрлендіргіштердің;
 - ж) электролиттік кедергі түрлендіргіштерінің;
 - з) полярографиялық түрлендіргіштердің?

4. ГЕНЕРАТОРЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР

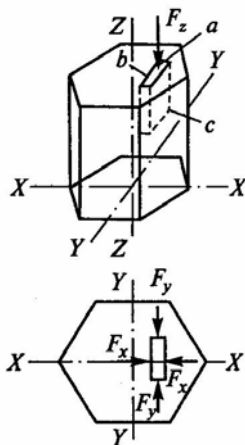
4.1. Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер – тура және кері пьезоэлектрлік эффект болуы мүмкін материалдардан жасалады.

Тура пьезоэффект – материалда кернеу туғызатын механикалық күш әсерінен, пьезоэлектрик шектерінде электр зарядтарының пайда болуымен түсіндіріледі. Күш жоғалғанда, зарядтар да жоғалады.

Кері пьезоэффект – электр өрісіне орналастырылған пьезоэлектрик, өзінің геометриялық өлшемдерін өзгертуіне негізделген. Көбінесе пьезоэлектрик ретінде кварц қолданылады. Енді соның негізіндегі түрлендіргіштің жұмыс принципін қарастырамыз.

Кварц кристаллдарында басты өстерді ажырату қажет: электрлік (X), механикалық (Y) және оптикалық (Z) (4.1-сурет). Кварц кристаллынан оның шектері басты өстерге параллель болатындай етіп кесілген параллелепипедтің қасиеттері бар:



4.1-сурет. Кварц кристаллы

- электрлік өс X бойымен, bc шектеріндегі, осы өске перпендикуляр бағытталған күш F_x әсерінен, электр зарядтары пайда болатын бойлық пьезоэффект;

- механикалық өс Y бойымен бағытталған күш F_y әсер еткенде зарядтар bc шектерінде пайда болатын көлденең пьезоэффект;

- оптикалық өс Z бойымен механикалық күш берілгенде зарядтардың болмауы.

F_x күшінің әсерінен bc кристалл шектерінде пайда болатын зарядтар шамасы, кристалдың геометриялық өлшемдеріне тәуелді емес және ол мынаған тең:

$$q = d_1 F_x, \quad (4.1)$$

мұндағы d_1 – пьезоэлектрлік тұрақты деп аталатын тұрақты коэффициент.

F_y күшінің әсерінен пайда болатын зарядтар шамасы кристалдың геометриялық өлшемдеріне тәуелді және ол қарама-қарсы таңбаға ие:

$$q = -d_1 F_y b/a, \quad (4.2)$$

мұндағы b, a – шектердің ұзындығы мен ені.

(4.2)-ден көрініп тұрғандай, қажеттілік туғанда b және a қатынасын үлкейтіп, пьезоэлектриктің сезімталдығын ұлғайтуға болады.

X және Y өстері бойымен созылмалы күштерден пайда болған зарядтар қысу күштеріне қарсы таңбалы. Параллелепипед өс бойынан емес, оларға бұрыш жасап кесілсе, онда пайда болатын зарядтар аз болады. Бұрышты ескеру, арнайы әдебиеттерде қарастырылады.

Пьезоэлектриктер ретінде сегнеттік тұз, кварц, барий титанаты қолданылады.

Сегнеттік тұздың пьезоэлектрлік сезімталдығы жоғары ($d_1 = 3 \cdot 10^{-10}$ к/Н). Алайда кемшіліктері, әсіресе күшті

гигроскопиялық, механикалық беріктілігі аз, меншікті электр кедергісі төмен тез ауысатын күштер мен қысымды лабораториялық жағдайда өлшеуге ғана мүмкіндік жасайды.

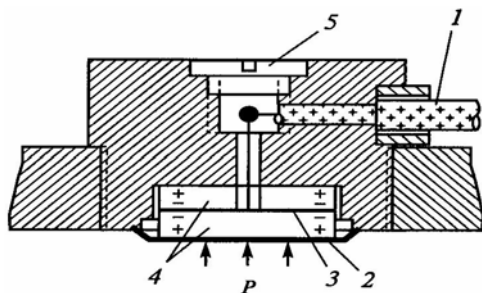
Барий титанаты керамикасының механикалық беріктігі өте жоғары және оның қасиеттері ылғалдылыққа тәуелді емес. Барий титанатының пьезоэлектрлік тұрақтысы $d_1=107 \cdot 10^{-12}$ к/Н. Барий титанаты керамикасынан жасалған пьезоэлементтердің кемшілігіне – пьезоэлектрлік тұрақтының температурадан тәуелділігі күшті ($d_1 +15... +100^\circ\text{C}$ температура аралығында аз ғана өзгереді), сондай-ақ керамика қасиеттерінің уақыт бойынша екі жылда 20 % жететін өзгеруі жатады.

Соңғы кезде жаңа пьезокерамикалық материалдарға, мысалы 200°C -қа дейінгі температурада жұмыс істей алатын қорғасын немес барий негізіндегі пьезокерамика алынған.

Өлшеу мақсатында кварц жиі қолданылады, себебі оның механикалық беріктігі жоғары. Оқшаулау қасиеттері де жақсы, кең диапазонда пьезоэлектрлік тұрақтысы температураға тәуелсіз (200°C -ге дейін d_1 коэффициенті температурадан тәуелсіз, ал $200... 500^\circ\text{C}$ аралықта тәуелділігі аз). Сонымен қатар, кварц гигроскопиялы емес.

Кварцтың кемшілігі – оның меншікті кедергісінің температурадан тәуелділігі. $+20...+300^\circ\text{C}$ аралығында температура өзгергенде, кварцтың меншікті кедергісі оптикалық өс бойымен $1 \cdot 10^{12}... 6 \cdot 10^5$ Ом·мм²/м аралығында өзгереді.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіш құрылғысы сұлбалық түрде 4.2-суретте көрсетілген. Мұнда өлшенетін қысым (Р) түрлендіргіш корпусының түбі болып саналатын мембранаға (2) әсер етеді. Кварцтық пластиналар (4) параллель қосылған. Кварцтық пластинаның сыртқы мұқабалары жерге қосылады, ал орта мұқаба (жез фольга 3) меншікті кедергісі үлкен (20°C -та $\rho=1 \cdot 10^{12}$ Ом·мм²/м) кварцтың өзімен корпусқа қатысты оқшауланады.



4.2-сурет. Пьезоэлектрлік түрлендіргіш құрылғысы:

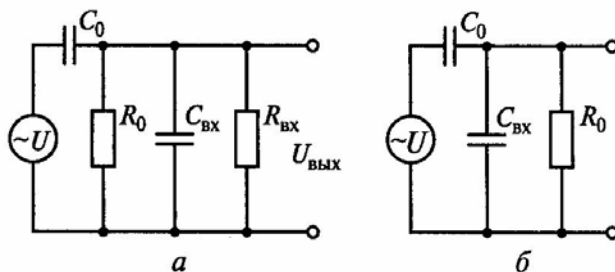
1 – сым; 2 – мембрана; 3 – жез фольга;

4 – кварцтық пластиналар; 5 – тығын

Кварцтық пластиналардан сигнал жез фольга (3) көмегімен алынып, сым (1) арқылы өлшеу күшейткішінің кірісіне беріледі. Фольга шығысын экрандалған кабельдің ішкі сымдарымен косу ыңғайлы болу үшін, түрлендіргіш корпусында тығынмен (5) жабылатын тесік қарастырылған.

Р күші әсерінен пьезоэлемент шектерінде пайда болатын заряд жойылу болмағанда ғана сақталады, яғни өлшеу тізбегінің кіріс кедергісі шексіз үлкен болғанда. Тәжірибе жүзінде бұл шарт орындалмайтындықтан, статикалық күштерді өлшеуде, пьезоэлектрлік түрлендіргіштер қолданылмайды. Динамикалық, яғни уақыт бойынша айнымалы жағдайларда, шектердегі электр көзінің көлемі толып отыратындықтан, тоқты өлшеу тізбегінің пайдаланылуыда мүмкін.

Мұнда өлшеу тізбегінің кіріс кедергі шамасына қойылатын талап катал сақталады Себебі, пьезоэлектрлік түрлендіргіштің шығыс қуаты өте аз және түрлендіргіш шығысынан, шығыс кедергісі үлкен ($10^{10} \dots 10^{13}$ Ом) күшейткіш қосылуы қажет. Бұл шартты әдетте, электрометрлік шамдар қанағаттандырады.



4.3-сурет. Пьезоэлектрлік түрлендіргіштердің эквивалент сұлбалары:
a – толық; б – ықшамдалған

Толық пьезоэлектрлік түрлендіргіштердің эквивалент сұлбасы 4.3.1 а-суретте көрсетілген. Мұндағы C_0 – пьезоэлектриктің меншікті сыйымдылығы; C_{BX} – сым сыйымдылығы мен өлшеу тізбегінің кіріс сыйымдылығы; R_0 – жерге қатысты оқшаулау кедергісімен бірге, түрлендіргіш кедергісі; R_{BX} – өлшеу тізбегінің кіріс кедергісі.

4.3а – суретте ықшамдалған эквивалент сұлбасы берілген, онда кедергі

$$R = \frac{R_0 R_{BX}}{R_0 + R_{BX}}.$$

C_0 шамасы әдетте ондаған пикофарадты құрайды. Мысалы, кварцтан жасалған пьезоэлектрик пластиналарының кедергі шамасы $10^{15} \dots 10^{16}$ Ом-ды құрайды. Кварцтың беттік кедергісі $10^9 \dots 10^{10}$ Ом аралығында жатады. Пьезоэлектрик бетінің ластанбауын қадағалау қажет, әйтпесе кедергі тез түсіп кетеді.

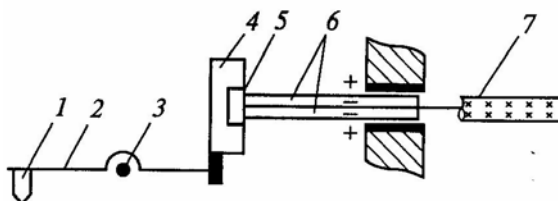
Пьезоэлектрлік түрлендіргіштің негізгі қателік құраушылары:

- өлшеу тізбегі параметрлерінің өзгеруінен болатын қателік (мысалы, сыйымдылық C_{BX});
- пьезоэлектрлік тұрақты өзгеруіне байланысты орта температурасының өзгеруінен болатын қателіктер;
- бөліктеу кезінде ескерілетін, пластинаны дұрыс орнатпау қателігі;

- механикалық өс бойымен әсер ететін күштерге сезімталдық қателігі;
- жиіліктік қателік.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер – айнымалы күш, қысым, вибрациялық үдеуді өлшеуге арналған.

Пьезоэлементтерді қолдану мысалы ретінде профилометрлерді алайық – олар өңделетін бөлшек бетінің кедір-бұдырлығын анықтайтын құрал (4.4-сурет).



4.4-сурет. Профилометр құрылымы:

1 – алмас ине; 2 – иінағаш; 3 – өсі; 4 – «ысқы»; 5 – икемді таспа;
6 – пластинкалар; 7 – экрандалған сым

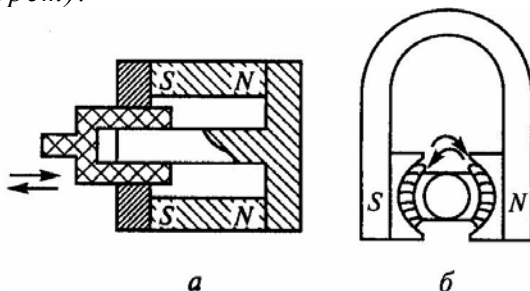
Дөңгелектеу радиусы 1,5 мкм қармаушы алмас ине (1) өс (3) айналасында айналатын қозғалмалы иінағаш (2) ұштарына бекітіледі. Иінағаштың басқа ұшына икемді таспа (5) көмегімен қозғалмалы иінағашты сегнеттік тұздан жасалған пластинканың (6) еркін ұштарымен қосатын «ысқы» (4) бар. Пластинканың басқа ұшы қозғалмайтындай етіп бекітілген. Пластинкалар сыртқы шектерінде бір таңбалы зарядтар пайда болатындай етіп, параллель қосылған.

Алмас ине (1) тік бағытта қозғалғанда (зерттелетін беттің кедір-бұдырлығына байланысты) пластинканың (6) бос ұшы қозғалып, пластинкалар майысады, сөйтіп оның бетінде заряд пайда болады. Иілмелі экрандалған сым (7), түрлендіргіш шектерін өлшеу тізбегімен қосады.

4.2 Индукциялық түрлендіргіштер

Индукциялық деп, өлшенетін шама жылдамдығын индукцияланатын ЭҚК-не түрлендіретін түрлендіргіштерді айтады. Олар электромагниттік түрлендіргіштің бір түрі болып саналады. Мұндай түрлендіргіштерде кіріс шама – механикалық орын ауыстыру жылдамдығы, ал шығыс шама – индукцияланған ЭҚК болады.

Жұмыс принципіне қарай индукциялық түрлендіргіштерді екі топқа бөлуге болады. Бірінші – топ түрлендіргіштерінде индукцияланған ЭҚК, магнит саңылауындағы сызықтық немесе бұрыштық катушка тербелістері арқасында катушкаға беріледі (4.5а, ә-сурет).



4.5-сурет. Катушканың сызықтық (а) және бұрыштық (ә) орын ауыстыру түрлендіргіштері

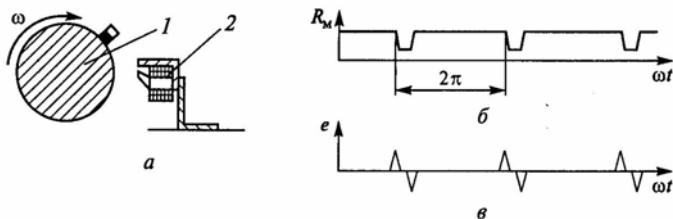
Өз қозғалысында катушка орамдары тік бұрыш жасап магниттік өріс сызығын қиып, онда ЭҚК индукцияланады. Бейсызық орын ауыстыру Δl қандай да бір уақыт функциясы $\Delta l = f(t)$ болып табылады, ЭҚК-нің лездік мәні:

$$e = wBl_a \frac{df(t)}{dt}, \quad (4.3)$$

мұндағы w – катушка орамдарының саны; B – саңылаудағы индукция; l_a – орамның белсенді ұзындығы.

Екінші топ түрлендіргіштерінде индукцияланған ЭҚК нәтижесінде, осы тізбектегі ауа саңылауының өзгеруінен туатын толық магниттік кедергі тербелісінен пайда болған магниттік ағымды өзгерту арқылы беріледі (4.6-сурет).

4.6а-суретте айналу жылдамдығын өлшейтін индукциялық түрлендіргіші бар датчик құрылғысы көрсетілген. Білікке (1) болат тіс бекітілген, ол білік айналғанда R_m қисығына сәйкес магниттік кедергіні азайта отырып, тұрақты магниті бар қозғалмайтындай етіп бекітілген магниттік жүйе (2) саңылауы жанынан өтеді (4.6ә-сурет). Магнитке кигізілген катушкада шамалас пішіні e қисығымен берілген ЭҚК импульсі беріледі (4.6б-сурет).



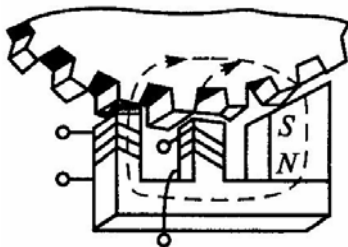
4.6-сурет. Индукциялық түрлендіргіші бар датчик (а) және R_m қисығы (б) және e қисығы (в):
1 – білік; 2 – магниттік жүйе

Магниттік жүйенің орындалу сапасына, магниттің тозуына, білік пен магнит арасындағы қашықтыққа қарамастан, шығыс импульс жиілігі 1 секундтағы біліктің айналу санына тең болады. Жылдамдықты өлшейтін индукциялық түрлендіргіштер ретінде, тұрақты магнит түріндегі роторы бар синхрондық генераторларды қолданған ыңғайлы. Егер ротор полюстерінің жұптар саны p -ға тең болса, онда шығыс сигналының жиілігі:

$$f = \frac{p\omega}{2\pi} = \frac{pn}{60}, \quad (4.4)$$

мұндағы ω – айналу жылдамдығы, рад/с; n – минутына жасалатын айналымдар саны. Мұндай датчиктердің жиілігі бірнеше жүз герцтен аспайды.

Сандық жиілік өлшегіштерді қолдану, белгіленген өте жоғары жиіліктерді алу үшін, тісті роторы бар реактивті генератор түріндегі датчиктер жасау қажет (4.7-сурет). Магниттік тізбек статордың бір катушкасының астында жиілігі айналу жылдамдығының тістер санымен анықталатын тұрақты магниттің – магниттік ағымының қайта таралуы жүретіндей етіп жасалғандықтан, мұнда тұрақты магнит ағымы өзгермейді, әрі жоғалтулар да болмайды.



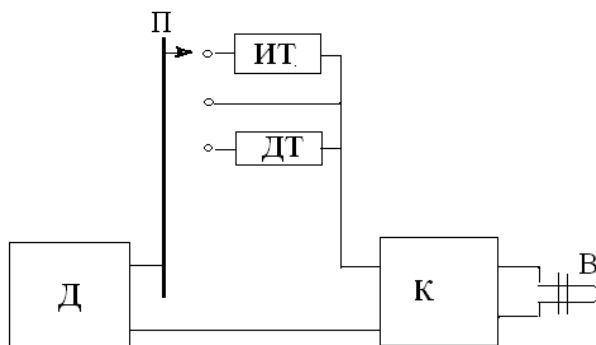
4.7-сурет. Тісті роторы бар реактивтік генератор түріндегі датчик

Аса жоғары жиілікті, индукциялық түрлендіргіштердің магниттік жазу техникасы көмегімен құруға болады. Магниттің бас көмегімен синусоидалық тебелістер жазылатын ферро-магниттік жабуы бар барабан – тісті роторға эквивалентті тістер саны, барабан айналасындағы жазылған тербелістер периоды санына тең.

Бұл индукциялық түрлендіргіш, жазуы бар магниттік барабан мен оқитын магниттік бастан тұрады. Магниттік жазу барабаны мен саңылау арасындағы тәуелділікке байланысты 100...200 кГц оқу жиілігімен барабан бетінің әр сантиметрінде 50...250 импульстерді орналастыруға мүмкіндік береді (барабанның сәйкес айналу жылдамдығы 50... 100 об/с), яғни

1 мм-де 5...25 тістері бар диск тістерін алмастырады. Бұл датчиктің кемшіліктері: барабан мен оқу головкасының арасындағы кішкене саңылауды (30...50 мкН-ға дейін) көтеру қажеттілігіне байланысты туындайтын технологиялық қиындықтар.

Индукциялық түрлендіргіштердің қолданылуы. Индукциялық түрлендіргіштің шығыс кернеу қасиеті – қозғалмалы бөліктің орын ауыстыру жылдамдығына пропорционал өзгереді. Ол датчиктің шығыс сигналын интегралдау немесе дифференциалдау жолымен виброорын ауыстырулар мен виброүдеулер мәні алынатын әмбебап виброөлшеуіш құралдарды дайындауға қолданылады. 4.8-суретте орын ауыстыру, жылдамдық және үдеуді өндірістік әмбебап өлшейтін виброөлшеуіш құралдың құрылымдық сұлбасы көрсетілген.



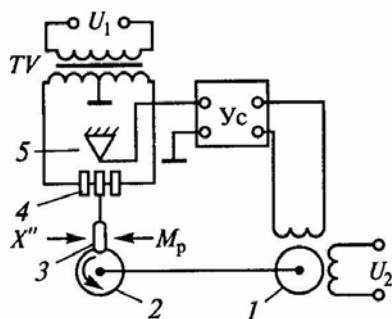
4.8-сурет. Әмбебап виброөлшеуіш құралдың құрылымдық сұлбасы

Индукциялық түрлендіргіші бар сейсмикалық вибродатчиктің сигналы, интегралдаушы ИТ немесе дифференциалдаушы ДТ арқылы не тікелей күшейткішке (К) түседі, күшейткіш шығысына осциллограф вибраторы қосылған. Өлшенетін параметрді таңдау, ауыстырып-қосқыш (П) көмегімен жүзеге асады. Құрал 10...500Гц жиілік диапазонында 70 мА/В түрлену коэффициентімен, $24 \cdot 10^{-3}$ мА/В сигналы мен кіріс сигналының

интегралы және $175 \cdot 10^{-3}$ мАс/В кіріс сигналдың туындысы бойынша жүктеме кезінде сілтеуішке 1 Ом кедергімен жұмыс істеуді қамтамасыз ететін үш каналдан тұрады.

Индукциялық түрлендіргіштер тұрақты үдеу мен жылдамдықты өлшеуге де қолданылады.

4.9-суретте Ресей ғалымдары ойлап тапқан индукциялық кері түрлендіргіші бар құрал берілген. Кейіннен «Minitmen» америкалық ракета жүйесінде орнатылған үдеу өлшегіш осыған негізделген деген ақпарат бар.



4.9-сурет. Тұрақты жылдамдық пен үдеу өлшейтін құрылғы:
1 – қозғалтқыш; 2 – диск; 3 – тұрақты магнит; 4 – нашар өтем түрлендіргіші; 5 – өс

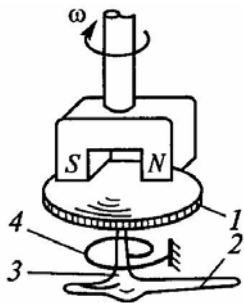
X'' үдеуі әсерінен өстерге (5) ілінген тұрақты магнитпен (3) түзілген маятник ауытқиды. Нашар өтем түрлендіргіші (4) тепе-теңдіктен шығады да, шығыс сигнал күшейткішпен күшейтіліп, қозғалтқыш орамына (1) түседі. Двигатель тұрақты магнит полюстері арасында орналасқан дискі (2) айналады. Пайда болатын момент, маятник моментін теңдестіреді. Дискінің айналу жылдамдығы, яғни жиілік (ω) үдеуге пропорционал және құралдың шығыс шамасы болып есептеледі.

Жылдамдық өлшеу үшін түрлі тахометрлер кең таралған. Амплитудалық модуляциясы бар тахометрлер әдетте, шығыс шамасы ЭҚК болып саналатын индукциялық түрлендіргіш-

термен орындалады (тұрақты немесе айнымалы ток генераторымен). Сондай-ақ, жылдамдықты өлшеу үшін жиіліктік тахометрлер қолданылады. Бұл датчиктерде жолдың үлгілік кесіндісі ретінде толық айналы 360° алынады. Бұл тахометрде өлшеуіш рөлін герцметр атқарады. Индукциялық түрлендіргіштер көбінесе жиіліктік тахометр датчиктерінде қолданылады. Олар қарапайым, сенімді әрі үлкен шығыс қуатын береді.

Кемшіліктері: білікке тікелей өту қажеттілігі; шығыс сигнал амплитудасының өлшенетін айналу жылдамдығына тәуелділігі, аз жылдамдықты, тежегіш моментті өлшеуді қиындатады.

4.10-суретте индукциялық түрлендіргіш тахометрінің құрылым принципі келтірілген.



4.10-сурет. Индукциялық түрлендіргіш тахометрі:
1 – металл диск; 2 – нұсқауыш;
3 – білік; 4 – серіппе

Магнит, иілмелі білік арқылы сыналатын объектпен байланысқан. ω жылдамдығымен айналатын магнит өрісінде білікке (3) бекітілген металл диск (1) орналасқан. Осы білікте фосфорлы қола серіппесінің (4) бір ұшы мен бұрылыс бұрышы (α) құралдың шығыс шамасы болатын табылатын нұсқауыш (2) бекітілген. Айналғанда магнит өзінің артынан дискіге әсер етеді. Меншікті қарсы әсер ететін моменті (W) бар серіппе айналу моменті әсерінен, өлшенетін жылдамдыққа тура пропорционал бұрышқа бұрылады.

4.3. Жылуэлектрлік түрлендіргіштер

Жылуэлектрлік түрлендіргіштер, жылулық түрлендіргіштер түріне жатады және ол академик Ф. Эпинус (1759) ашқан жылуэлектр көзі құбылысына негізделген. Құбылыс былай түсіндіріледі. Егер тізбекті екі түрлі А және В өткізгіштерден (немесе жартылай өткізгіштерден) құрсақ пен олардың өзара ұштарын байланыстырсақ (4.11а-сурет), бір байланыстыратын жердің температурасын (t_1) басқа жердегіден (t_0) ерекшелеп алсақ, онда тізбекте *жылуэлектр қозғаушы күші* (жылу ЭҚК) деп аталатын ЭҚК пайда болады. Ол өткізгіштердің байланысу жерлерінің температуралар функциясының айырымы болып есептеледі:

$$E_{AB}(t_1, t_0) = f(t_1) - f(t_0) \quad (4.5)$$

Берілген тізбек *жылуэлектрлік түрлендіргіш* немесе *терможұп* деп аталады; терможұпты құраушы өткізгіштер – термоэлектродтар, ал оларды байланыстыру орны – дәнекерленген жер деп аталады.

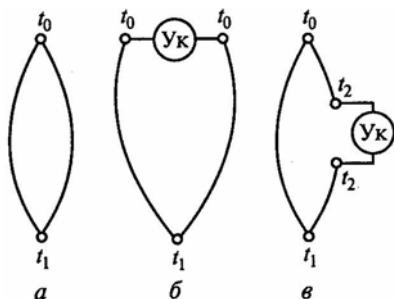
Терможұп – температураны өлшеуге қолданылады. Егер терможұптың бір дәнекерленген жерін өлшенетін температурасы t_1 ортаға қойып, ал басқа дәнекерленген жердің температурасын тұрақты етіп алсақ $f(t_0) = \text{const}$, онда

$$E_{AB}(t_1, t_0) = f(t_1) - f(t_0) = f_1(t_1). \quad (4.6)$$

Соңғы өрнек температураны терможұп көмегімен өлшеуге негізделген. Сонымен, терможұптың кіріс шамасы – жұмыс дәнекерленген жердің температурасы (t_1), ал шығыс шамасы – жұмысшы емес дәнекерленген жердің температурасын (t_0) қатаң, тұрақты ұстағанда дамытып отыратын термоЭҚК.

Температураны өлшейтін терможұп пен өлшеуіштің бірігуінен құралған құралдар – *жылуэлектрлік пирометр* деп аталады.

Өлшеуішті (сілтеуішті) терможұп тізбегіне қосу, екі сұлба бойынша жүргізіледі (4.11а, б-сурет), өлшеуішті терможұп тізбегіне қосу, термоЭҚК мәнін өзгертпес үшін өлшеуіштің термоэлектродтармен байланысқан жері бірдей температурада болуы керек.



4.11-сурет. Жылуэлектрлік түрлендіргіштер

1100 °C-қа дейінгі температураны өлшеу үшін бағалы емес металдардан жасалған терможұптар, ал 1100... 1600 °C-ден жоғары температура үшін – платиналық топтағы бағалы металдардан жасалған терможұптар, ал 1600 °C-тан жоғары – ыстыққа төзімді материалдардан (вольфрам, молибден) жасалған терможұптар алынады. ТермоЭҚК бағыты – термоэлектродтар ретінде қолданылатын материалдар табиғатына тәуелді. Оң деп, терможұптың жұмысшы дәнекерленген жері арқылы ток өтетін термоэлектродты айтады.

Терможұп түзетін кезде біреуі платинамен оң, ал басқасы – теріс термоЭҚК-ін дамытатын электродтарды сәйкестендіруге тырысады. Берілген өлшеу шарттарында термоэлектродтың қолдануға жарамды не жарамсыз екенін ескеру қажет (термоэлектродқа ортаның әсері, температура, т.б.).

Тәжірибеде кең таралған терможұптар: платиналық – платинродилық, хромель – алюмель, хромель – копель, вольфрам – молибден, борид – карбид цирконий.

Бағалы емес металдардан жасалғандардың ішіндегі стандартты, әрі көп тарағандардың негізгі сипаттамалары 3-кестеде көрсетілген 4 терможұп.

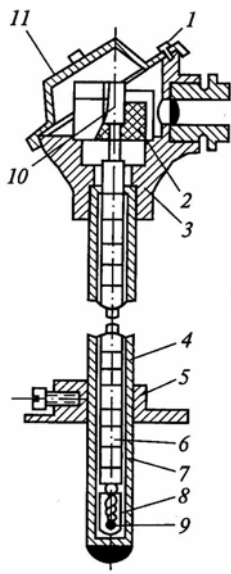
3-кесте

Терможұп сипаттамалары

Терможұп	t= 100 °C температурадағы термоЭҚК; (t ₀ = 0°C), мВ	Өлшеу температурасының жоғарғы шегі, 0°C	
		Ұзақ өлшеу кезінде	Қысқа мерзімді өлшеу кезінде
Мыс – копель	4,75	350	500
темір – копель	5,75	600	800
Хромель – копель	6,90	600	800
Хромель – алюмель	4,10	1100	1250

Пештердегі, тұзды ванналардағы, газ өткізгіштердегі температураны өлшеуге арналған кәсіпорындық терможұптардың құрылғысын 4.12-суретте келтірілген терможұп мысалында қарастыралық.

Бағалы емес металл терможұптарын бекіту үшін қозғалмалы фланеці бар құрама қорғаушы құбырда орналасқан. Терможұптың жұмысшы дәнекерленген жері (9) құбырдан фарфор ұштармен (8) оқшауланған. Термоэлектродтар моншақтармен (6) оқшауланған. Қорғаушы құбыр жұмысшы (7) және жұмысшы емес (4) аймақтардан тұрады. Қозғалмалы фланец (5) құбырға винтпен бекітіледі. Терможұптың басы винтпен (1) бекіген қақпағы бар (11) құйма корпусы (3) бар. Терможұп басында бекітілмеген қысқыштары (10) бар фарфор қалыптар (2) винтпен бекітілген. Олар термоэлектродтарға температура әсерінен ұзаруға мүмкіндік береді.



4.12-сурет. Кәсіпорындық терможұп құрылғысы:

- 1 – винттер; 2 – фарфор қалыптар; 3 – корпус;
4 және 7 – сәйкес жұмысшы емес және жұмысшы аймақтар; 5 – қозғалмалы фланец;
6 – моншақтар; 8 – фарфор ұштар;
9 – жұмысшы дәнекерленген жер;
10 – қысқыштар; 11 – қақпақ

Кәсіпорындық терможұптарды құрастырудағы ең басты мәселе – қорғаушы құбырдың (арматура) оқшаулау материалын таңдау.

Терможұптың қорғаушы арматурасы терможұпты тез бұзатын ыстық химиялық агрессивті газдардан қорғау үшін қажет. Сондықтан, арматура газ өткізбейтін, жылуды жақсы өткізетін, механикалық берік және ыстыққа төзімді болуы қажет. 600°C-қа дейінгі температурада әдетте жіксіз болат құбырлар, 1100°C-қа дейінгі температурада – қоспаланған болаттардан жасалған құбырлар, бағалы металл терможұптары үшін – негізінен кварцтық, фарфор құбырлар қолданылады. 300°C-қа дейінгі температурада термоэлектродтарды бір-бірінен оқшаулау үшін асбест; 1300... 1400°C-қа дейінгі – фарфор құбырлар немесе моншақтар, ал 2000... 2500°C-қа дейін – кварцтық құбырлар немесе моншақтар қолданылады. Тәжірибелерде төменгі температураларды өлшеу үшін жылуға

төзімді резеңке – 150°C -қа дейінгі; жібек – $100... 120^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі; эмаль – $150...200^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі температуралар үшін.

Қорғаушы құбырға орналастырылатын терможұп термоэлектродтары, әдетте қатты болып дайындалады. Ал өлшеу тізбегін басқа элементтерімен байланыстыру үшін оларды иілмелі сымдардан жасайды. Қысқыштардан терможұп басына қарай баратын жұмысшы емес дәнекерленген жерді табу үшін, байланыстырушы сымдар – *ұзартушы электродтар* деп аталады. Бұл электродтар негізгі терможұп электродтары сияқты, қажетті температура диапазонында дәл сондай жылуЭҚК-іне ие болуы керек. Сондай-ақ, терможұп басында негізгі электродтар мен ұзартушы электродтардың байланысқан жерінің температурасы бірдей болуы қажет. Бұл шарттар орындалмаған жағдайда, өлшеу қателігі пайда болады. Ұзартқыш термоэлектродтар бағалы емес металл терможұптары үшін, негізгі термоэлектродтардың материалдарынан жасалады.

Терможұптар көмегімен температураны өлшегенде олардың инерциялылығына ерекше мән беріледі. Ол терможұп көрсеткіші бөлме температурасынан 100°C -тан жоғары температураға ауыстырғанда $97... 98^{\circ}\text{C}$ -ті көрсететін уақыт ретінде анықталады. Инерциялықты азайту үшін терможұптың жұмысшы дәнекерленген жері мен өлшенетін температура аралығында жақсы жылулық орнату қажет.

Жылуэлектрлік түрлендіргіштер қателігі және оларды түзету тәсілдері. Терможұптың жұмысшы емес дәнекерленген жерінің температурасының өзгеруіне баланысты қателік. Терможұптың бөліктенуі, жұмысшы емес жалғаудың температурасы нөлге тең болғанда жүзеге асырылады. Егер тәжірибелік (дәнекерленген жер) қолдануда терможұп температурасы 0°C -тан өзгеше болса, онда бұл – қателік тудырады. Оны болдырмау үшін еритін мұзы бар ыдыста жұмысшы емес дәнекерленген жерлер $t=0^{\circ}\text{C}$ температурада термостатталады. Мұндай тәсіл әрқашан қолданыла бермейді. Жұмысшы емес дәнекерленген жерлер уақыт бойынша тұрақты

температура болып қалатындай, не қоршаған орта температурасының өзгеруіне сай, баяу өзгертіндей термостаттау қажет. *Термостаттау* – температура тұрақтылығын жылдар бойы сақтайтындай жерде – жеткілікті тереңдікте, жұмысшы дәнекерленген жерді батыру немесе сынаптық термометрмен, ұзатрқыш арқылы мыс сымдарды енгізетін екі штуцермен жабдықталған, жылулық изоляциясы бар шомбал қорапқа орналастыру арқылы жүзеге асырылады. Үлкен жылулық инерциясы бола тұрып, қорап – сыртқы температураның өзгеруін баяу сезінеді.

Жұмысшы емес дәнекерленген жер температурасын тұрақты ұстаудың ең тиімді жолы – электрлік жылытуы бар автоматты термостаттау болып саналады.

Жылуэлектрлік пирометр түрлендіргіштерінің жылулық жоғалтулары, паразиттік жылу ЭҚК-імен шартталған қателіктер. Термोजұп орналасатын сұйық немесе газ тәрізді ортаның температура өлшеу кезінде термоэлектродтардың байланысатын жерлерінің температурасы, өлшенетін орта температурасынан қатты ерекшеленуі мүмкін. Бұл термोजұптың дәнекерленген жері, қорғаушы қап пен жылу өткізбейтін қорғаушы ыстыққа төзімді құбырмен жабылғандығы. Термोजұп жұмысшы дәнекерленген жер мен қорғаушы қап арасында жақсы жылулық контакт қамтамасыз ететіндей болып жасалады.

Сұйық пен газ тәрізді орта температурасын өлшеу кезінде жылулық жоғалтулардан болатын қателіктерді азайту үшін, термोजұпты өлшенетін ортаға тереңірек орналастыру қажет; оны орта қозғалысының бағытына қарсы орналастырып; температураны өлшеу аймағында құбырды жылудан оқшаулау қажет; термोजұптың жұмыстық ұшын ең үлкен орта жылдамдығымен орнату, қорғаушы құбырды жылу өткізгіштік коэффициенті төмен материалдан дайындау; термोजұп басын суық қоршаған ортадан қорғау қажет.

Қатты және сусымалы денелердің температурасын өлшеу үшін сәуле шығару арқылы жылу жоғалтуларымен шартталған

қателік болмайды, себебі бұл денелер мөлдір емес және жылу өткізгіштігі де нашар. Бұл жағдайда қателік, терможұптың қорғаушы құбырының жылу өткізгіштігі арқылы жылу жоғалтуларының себебінен шұғыл өседі. Қателікті азайту үшін терможұпты орта қалыңдығына терең батыру қажет. Көлемі аз денелерде температураны өлшеу кезінде бұл қателікті азайту үшін изотермиялық бетпен терможұп аймағын төсеу керек. Яғни, жылудың қайтуы – дәнекерленетін жерден қашықтықта өтетіндей бетте жүзеге асуы қажет.

Қорғаушы арматурасы жоқ терможұп көмегімен бет температурасын өлшеу кезінде қателік, негізінен терможұптың жылу өткізгіштігі есебінен пайда болады. Бұл қателікті азайту үшін терможұпты изотермиялық бетке қою керек.

Жылулық жоғалтулар қателігінен басқа, терможұптарды монтаждау, пайдалану кезінде паразиттік жылуЭҚК-нің қателіктері болуы мүмкін. Олар электрлік пирометр тізбегін құрайтын материалдардың әркелкілігінен пайда болады.

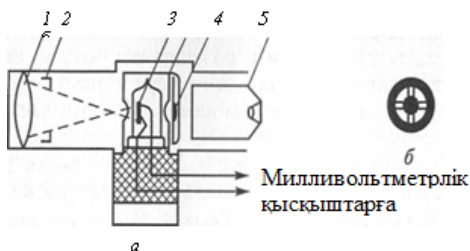
Терможұп электродындағы әркелкіліктен сымды дайындауда және оның деформациясы кезінде, терможұп дайындауда да туындауы мүмкін. Сымды не терможұпты дайындау кезінде пайда болатын әркелкіліктен шартталған паразиттік жылу, ЭҚК бөліктеу кезінде ескеріледі. Бөліктеуден кейін терможұпта пайда болатын әркелкіліктен, өлшеу кезінде қателіктер туғызады.

4.4. Жылуэлектрлік пирометрлер

Температураны өлшеу кезінде, қыздырылған дененің сәулелік энергиясын қолданатын пирометрлер кең қолданылады. Мұндай пирометрлерге: *радиациялық, оптикалық және түстік* пирометрлер жатады.

Радиациялық пирометрлер. Радиациялық пирометр құрылғысы 4.13-суретте көрсетілген. Зерттелетін объектінің сәулеленуі – платина қарайтуымен жабылған платина күлтесіне

(3) дәнекерленген жылу батареяларының (S) жұмыс ұштарына, диафрагма (2) арқылы объективпен шоғырланады (4.13а-сурет). Сәуленің жақсы жұтылуы ретінде оған түскен сәуленің 98...99%-ы күлтемен жұтылуын айтуға болады. Күлтесі бар жылу батареясы шыны қорапшаға орналастырылған. Экран (4) жылу батареясын механикалық зақымдаулар мен температурасы жұмыс жағдайларына байланысты өзгеретін телескоп кабырғаларынан таралған сәулеленуден қорғайды.



4.13-сурет. Радиациялық пирометр (а) және күлте (б)
1 – объектив; 2 – диафрагма;
3 – күлте; 4 – экран;
5 – қызыл шыны; 6 – окуляр

Жоғары температураны өлшегенде одан көзді қорғау үшін, телескопты орнатқанда окуляр алдына қызыл шыны (5) қойылады. Объектті нысанаға алу – күлте өлшеу объектісінің бейнесімен толық жабылатындай етіп алынады. Сонда окулярда (6) қызылған беттің жарық жарқырауымен қоршалған күлте көрінеді (4.13ә,б-сурет). Дұрыс орнату үшін сәулелену көзі, оның диаметрі мен сәуле шығарушыға дейінгі телескоп қашықтығының қатынасы шамамен 1/15-ке тең болуы керек.

Күлтені жылытудың максималь температурасы 250°C-қа тең болуы керек. Себебі, өте жоғары температурада қарауытып бірігіп, сұр түске айналады. Мұндай пирометрді өлшеу шегі 900... 1800 °C-ті құрайды.

Радиациялық пирометрлердің мынадай қателіктері бар:

- сәулеленудің толық болмауынан болатын қателіктің себебі: пирометрлер әдетте абсолютті қара дененің сәулеленуі бойынша бөліктенеді. Сондықтан олардың көрсеткіші, өлшеу объектісінің нақты мәнінен әрқашан аз болады. Соған орай

радиациялық пирометрлерді қолдану – өлшеу объектісінің толық сәулелену қуатының, абсолютті кара дененің толық сәулелену қуатынан көп айырмашылығы болмаған жағдайда мүмкін болады. Тесіктері мен терезелері үлкен емес жабық пештердің көпшілігі осы шартты қанағаттандырады;

- пирометр телескобы мен сәуле шығарушы арасындағы аралық ортада жұтылумен шартталған қателік. Бұл қателік үлкен шамаға жетуі мүмкін. Онда аралық ортадағы ауа ластанған болса (шаң, түтін, көмірқышқыл газы, т.б.), қателік есептеуге келмейді;

- пирометр мен сәуле шығарушы арасындағы қашық-тықтың өзгеруінен болатын қателік. Егер пирометр сәулелену көзіне өте жақын орналасса, диафрагма мен телескоп қабырғасының, сондай-ақ жылу батареясы термोजұбының жұмыс ұштарының қызғанын көреміз, бұл пирометр көрсеткішін азайтады. Осы кезде қателік сәулеленуші бет бейнесінің диаметрі үлкейген сайын, ол да үлкен болады. Егер сәулеленуші беттің өлшемдері аз немесе телескоп пен сәуле шығарушы арасындағы қашықтық – сәулелену бейнесі күлтені жаппайтындай қалыптан үлкен болса, онда пирометр көрсеткіштері де төмендетіледі. Сондықтан, пирометрді сәулеленуші беттен бейне – пирометр бөліктенген кездегі диаметрге ие болатындай қашықтықта орналасқаны дұрыс.

Термोजұптың бос ұштарының жылу әсерін өтеу үшін жылу батареясын, температураның өсуіне байланысты ұлғаятын мыс кедергісімен шунттайды. Осыған сәйкес бос ұштарды қыздырғанда жылуЭҚК-нің азаюымен бір мезгілде шунт арқылы өтетін ток күші азаяды, сөйтіп өлшеу құралы арқылы өтетін ток өзгермейді.

Түстік фотоэлектрлік пирометрлер. Бұл пирометрлер түстік температураны өлшейді. Қыздырылған кара дене барлық толқын ұзындығындағы сәулелерді шашады. Осы кезде берілген температурада максималъ сәулеленуге сәйкес $\lambda_{\max}$ толқын ұзындығы төмендегідей табылуы мүмкін:

$$\lambda_{\max} T = \text{const} = 0,2884 \text{ (см} \cdot \text{град)}.$$

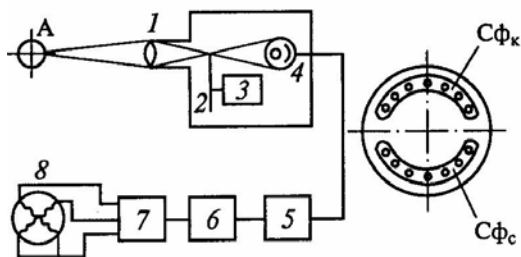
Бұл өрнек, температураны түстік пирометрлермен өлшеуге негізделген ығысу заңы деген атауға ие. Дененің абсолюттік температурасы (T) сәулелену қарқынының максимумы анықталатын толқын ұзындығымен анықталады.

Температураны кәсіпорындық өлшеулерде пирометрлермен берілген дененің сәулелену қарқынын алдын ала таңдалған, екі толқын ұзындығы сәулесінің қатынасын анықтау қабылданған. Бұл қатынас әр дене температурасы үшін:

$$\frac{I_{\lambda 1}}{I_{\lambda 2}} = \frac{e^{-\frac{C_2}{\lambda_1 T}}}{e^{-\frac{C_2}{\lambda_2 T}}} = f(T),$$

мұндағы $C_2 = 1,432$ см град – тұрақты; λ – сәулелену қарқыны жататын толқын ұзындығы, см; I_λ – сәулелену қарқыны, ккал/(см² · см · ч).

Түстік температураны өлшейтін пирометрлерді ереже бойынша фотоэлементтермен бірге қолданады. Осындай пирометрлердің біреуінің жұмыс принципін қарастырайық (4.14-сурет).



4.14-сурет. Түстік фотоэлектрлік пирометр:

- 1 – линза; 2 – обтуратор; 3 – синхрондық электрлік қозғалтқыш;
4 – фотоэлемент; 5 – күшейткіш; 6 – түзеткіш түйін;
7 – коммутатор; 8 – логометр

Өлшеу объектісінен А сәулелену синхрондық электрлік қозғалтқышпен (3) айналатын обтюраторда (2) линзамен (1) фокусталып, фотоэлементпен (4) қабылданады.

Обтюратор дискісінде жартысы – қызыл жарық сүзгімен (Сф_к), ал жартысы – көк жарық сүзгімен (Сф_с) жабылатын тесіктер болады.

Сонымен, фотоэлементке біресе қызыл, біресе көк сәулелер түседі. Мұндағы тесіктердің бірнешеу болуының арқасында фототок обтюратордағы тесік саны, оның айналу жылдамдығымен анықталатын жиілікпен модульденеді.

Модульденген ток, фотоэлемент жүктемесінде күшейткішпен (5) күшейтіледі. Содан соң фазасезімтал түзеткіш түйінмен (6) түзетіледі, ал коммутатор (7) көмегімен сигнал қызыл және көк сәуле қарқындылығына бөлініп, магнитті электрлік логометрмен (8) қабылданады. Коммутатор ретінде, әдетте обтюратор дискісінің айналуына синхронды жұмыс істейтін магнитті электрлік полярланған реле қолданылады. Яғни, логометрдің шеңберлерін ауыстырып-қосу, жарық сүзгінің ауысуымен бір уақытта жүреді. Сонда логометрдің бір шеңберінде қызыл сәуле қарқындылығымен, ал басқасында – көк сәуле қарқындылығымен белгіленген ток өтеді.

Артықшылықтары: түстік пирометрлер екі толқын ұзындығындағы сәулеленуді өлшейтіндіктен, қателік – сәулеленудің толық болмауынан және сәуле шығарушы бетке дейінгі қашықтық көрсеткішіне тәуелсіздіктен азаяды. Фотоэлементтің тиісті жұмыс режимінде фотоэлектрлік түстік пирометрлер $\pm 1\%$ -ден жоғары емес қателікпен 2500°C-қа дейінгі температураны өлшеуге мүмкіндік береді.

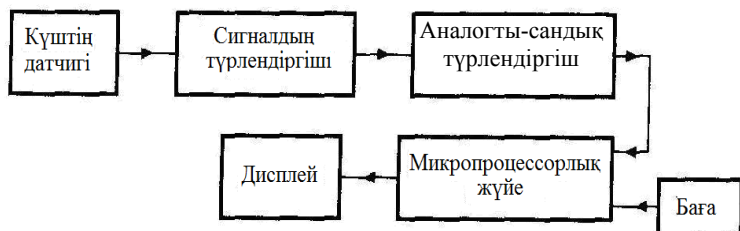
5. ҚҰРАЛДАРДАҒЫ МИКРОПРОЦЕССОРЛАР

5.1. Бағдарламаланатын құралдар

«Бағдарламаланатын» деген термин, алынатын сигналды өңдеу кезіндегі негізгі операцияларды орындауға қажетті микропроцессоры бар өлшеу жүйелерінде қолданылады. Жай құралдарда өлшеу жүйесінің әрқайсысы сигнал түрлендіргішке қосылған бірнеше датчиктерден тұрады. Оператор әр датчиктен көрсеткішті алып, оны кейін өлшенетін шаманың мәнін алу үшін өңдейді. Мысалы, температураны «құрғақ» және «ылғал» термометрмен өлшеу нәтижесінде, оператор салыстырмалы ылғалдылықты есептейді. Басқа мысал: оператор – бейсызықтығын ескеріп алынған деректерді түзетеді. Мысалы, жай құралдарды пайдаланып өлшенетін шаманы алу процесі – арифметикалық өлшеу операцияларынан, калибрлік коэффициенттерді қолданып және арнайы факторларды ескеріп, нәтижелерді анықтаудан тұрады. Оператордың осындай жағдайда өлшенетін шаманың мәнін алуы, қажетті сигналдарды өңдеу жүйесінің элементі болып саналады. Микропроцессорлық жүйелер – адамды сигналдарды өңдеу процесін, адамның қатынасуынсыз шығарып атқарады. Себебі, олар бір мезгілде бірнеше датчиктен көрсеткіштерді алып, алынған шамаларды өңдеп, оларды жүйенің шығысына бірден бере алмайды. Сонымен қатар, микропроцессорлық жүйелер, одан басқа мынадай жұмыстарды атқара алады – мәліметтерді әртүрлі форматқа түрлендіру, нәтижелерді орташалау, олардың максималь және минималь мәндерін табу, түрлі датчиктердің мәліметтерін өңдеу, жүйені басқару бойынша шешім қабылдау, т.б.

Жоғарыда айтылғандар түсінікті болу үшін тауарлық таразылардың сұлбасы көрсетілген, мұнда сезгіш элемент ретінде динамометрлік элемент алынған (3.4-сурет). Бұл таразылар – алмалар немесе кез келген басқа да тауарлардың, кәрзіңкенің бағасын анықтау үшін, супермаркеттердегі

бақылауда қолдана алады. Сатылған тауардың саны туралы мәлімет қоймаға түскенде, осындай кері байланыс көмегімен тауар санына бақылау өткізуге болады.

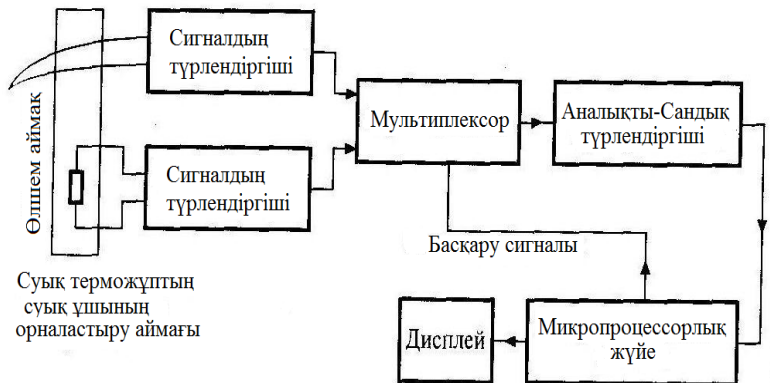


5.1-сурет. Микропроцессорлық тауарлық таразы

Осы таразыларды басқаратын микропроцессорлардың калибрлеуінде ішкі жүйесі бар. «Калибрлеу» деген команда берілгенде, динамометриялық элементке жүк жайғастырылып, оның салмағы анықталады. Алынған мән содан соң, жүйе жадысында сақталған дәл салмақтың мәнімен салыстырылады да, осы мәндер арасында айырмашылықтар болған жағдайда, ол келесі өлшеуді түзетуде ескеріледі.

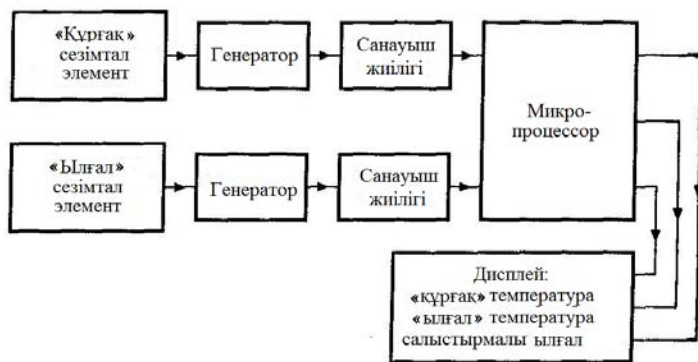
Тағы бір мысал 5.2-суретте көрсетілген. Мұнда температураны терможұп негізінде өлшейтін микропроцессор элементтері берілген. Себебі, терможұп ЭҚК-і температураның сызықты функциясы болмағандықтан, өлшенген температура мәнін алу үшін терможұп ЭҚК-ін градусқа айналдыратын арнайы кесте қолданылады. Бұл кестеде терможұптың суық дәнекерленген жері 0°C температурада орналасқан деп есептеледі. Егер бұл шарт орындалмаса, онда алынған мәліметтерді түзету қажет болады. Сондықтан бұл жүйеде микропроцессор, өлшенетін температураны ыстық дәнекерленген жердегі жылу ЭҚК-нің өзгеруі бойынша зерттейді. Ал суық дәнекерленген жер температурасын бақылау үшін жылу кедергісі қолданылады. Түрленгеннен кейін бұл сигналдар екі

элементтен микропроцессорға түседі, онда ол өлшенетін шама мәндерін есептейді.



5.2-сурет. Микропроцессорлық температураны өлшеу жүйесі

Тағы бір мысал – ауаның салыстырмалы ылғалдылығын өлшеу. Мұнда температураны бір мезгілде құрғақ және ылғал термометрмен өлшеу өте маңызды. Егер алынған мәліметтер қолмен өңделсе, онда өлшеу аяқталған соң оператор салыстырмалы ылғалдылық мәні есептелетін екі сәйкес мәнді кестеден тауып алады. Салыстырмалы ылғалдылық мәнін бірден беретін құрал, микропроцессорлық болуы тиіс. 5.3-суретте осындай құралдардың біреуі көрсетілген. Температура датчигі пьезоэлектрлік, мысалы кварцтық болуы мүмкін, олардың жиілігі температураға тәуелді. Микропроцессордан мұндай жүйеде стандарт кесте бойынша 2 сигнал алынады. Бейнеленетін құрылғыға екі температура мен салыстырмалы ылғалдылық мәндері алынады.



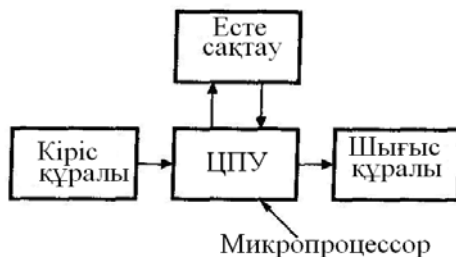
5.3-сурет. Салыстырмалы ылғалдықты өлшемнің микропроцессорлық жүйесі

5.2. Микропроцессорлық жүйенің негізгі элементтері

Микропроцессорлық жүйенің негізгі элементтері (5.4-сурет) – бұл (ЦПУ) орталық процессорлық құрылым, (жады) есте сақтайтын құрал, кіріс және шығыс интерфейстері.

Микропроцессор – арифметикалық және екілік мәліметтер мен логикалық операцияларының орындалуына жауапты – орталық процессорлық құрылым. Сонымен қатар, ол барлық өлшеу жүйесіндегі операциялардың орындалуын басқарады. Есте сақтайтын құралдардың екі түрі бар:

– (ТСҚ) тұрақты есте сақтайтын құрал, зауытта жасалғанда жазылатын тұрақты мәліметтерді сақтауға арналған. ОПҚ ТЕҚ-нан мәліметтерді оқи алады, бірақ оған енгізе алмайды. ТЕҚ, микропроцессордың операциялық жүйесі мен стандартты программаларды сақтауға қолданылады.



5.4-сурет. Микропроцессорлық жүйе

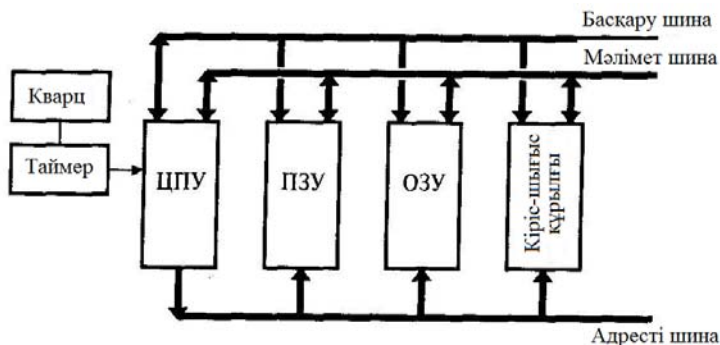
Кез келген іріктеуді есте сақтайтын құрал немесе (ОЗУ) – жедел есте сақтайтын құрал, мәліметті уақытша сақтау үшін қолданылады. (ЦПУ) ОЗУ-дан мәліметті тек оқи алмағанмен, жаңа мәліметтерді сонда жаза алады. Егер ОЗУ-лар қоректенетін резервтегі батарея болмаса, онда электрлік қорек көзі сөнген жағдайда мәліметтер жоғалып кетеді. ОЗУ қолданбалы бағдарламаларды сақтайды.

Кіріс және шығыс интерфейстер микропроцессордың сыртқы құрылымдармен келісуі үшін қолданылады. Бұл интерфейстерді белгілеу үшін «кіріс және шығыс порт» терминдері жиі қолданылады. *Кіріс порт* – ЦПУ үшін екілік кодқа міндетті түрде түрлендіретін сыртқы құрылымдардан сигнал алады. *Шығыс порт* – сыртқы құрылымға беру үшін ЦПУ-ден екілік мәліметтерді алады.

Микропроцессорлық жүйенің негізгі элементтері, шинаның көмегімен байланысады (5.5-сурет). *Шина* – платада жолдар жүргізетін немесе сандық сигналдар жіберілетін сымдардың тобы.

Микропроцессорда үш негізгі шина бар. *Мәліметтер шинасы* – микропроцессор мен жүйенің басқа элементтері арасындағы мәліметтерді беру үшін қолданылады. *Мекен-жайлық шина* – мәліметтерді табуға немесе сақтауға болатын жады аймағының мекен-жайын беруге арналған. *Басқару*

шинасы – микропроцессордан жүйенің басқа элементтеріне басқару сигналдарын беру үшін қолданылады.



5.5-сурет. Микропроцессор архитектурасы

Мәліметтерді шинамен беру – *параллель жіберу* деп аталады. Мәліметтерді тізбектей жібергенде әр бит кезектесіп, жалғыз сым арқылы беріледі. Ал параллель беруде, қандай да бір кіріс – сигналды білдіретін 0101 1011 екілік санды беру кезінде шинамен барлық сегіз разряд бір уақытта беріліп, әр разряд өзінің жеке сымымен жүреді. Мәліметтер микропроцессорға түсе алатын кіріс сызықтар санымен, мәліметтер шинасының разрядтылығы анықталады. Микропроцессорлар өз кезегінде өз ақпараттық каналының разряды бойынша бөлінеді, мысалы 8 разрядты процессор бар. «Сөз» термині ақпарат бірлігін көрсететін разрядтар жиынтығын белгілеу үшін қолданылады. Сөз ұзындығы 4, 8, 16, 32 немесе 64 разрядты болуы мүмкін. Сөз ұзындығы, қарапайым ақпарат бірлігінің санын – осы сөзбен берілетін екілік санды анықтайды. Мысалы, 4 разрядты сөз ұзындығында $2^4 = 16$ -ға тең сандардың санын анықтауға болады; 8 разрядты сөз ұзындығында – $2^8 = 256$ -ға тең сандар саны, ал 16 разрядты сөз ұзындығында – $2^{16} = 65536$. Жұмыс температуралық диапазоны $0...120^{\circ}\text{C}$

температура датчигі бар деп алып, 0.5°C дәлдікпен өлшеу жүргізу қажет болсын. Ол үшін көрсетілген өлшеу аралығын 240 бөлікке бөлу керек. Көрініп тұрғандай, кіріс сигналдың 240 түрлі мәндерін көрсету үшін, микропроцессордың дәл сондай екілік сандарды беру мүмкіндігі болуы қажет. Сонымен, бұл жағдайда микропроцессор ең кемі 8 разрядты болуы мүмкін ($2^8 = 256 > 240$).

5.3. Микропроцессор

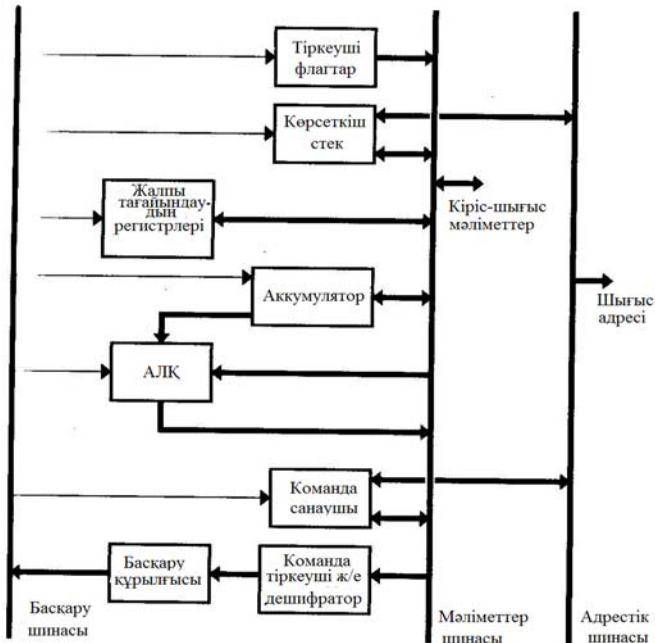
Микропроцессордың негізгі компоненттері немесе (5.6-сурет) ЦПУ – бұл арифметика-логикалық құрылым, ол басқару құрылғысы және регистрлер. *Регистрлер* – бұл атқарылатын бағдарлама қолданатын мәлімет сақтайтын жады аймағы.

1. Арифметика-логикалық құрылым (АЛҚ) кіріс-шығыс порттары арқылы сыртқы құрылыммен мәліметтер алмастыра отырып, жүйенің басқа элементтерімен әрекеттеседі. Сондай-ақ, АЛҚ жадыда сақталатын бағдарламалардың командалар тобына сәйкес операцияларын орындайды.

2. Жүйедегі барлық процестер барлық командалар мен мәліметтер ағымының уақыт бойынша таралуына жауап беретін, басқару құрылғысымен синхрондалады. Регистрлердің саны мен олардың түрлері, микропроцессордың түріне байланысты өзгереді.

3. Негізгі регистрлерге мыналар жатады: аккумулятор – АЛҚ-ға енгізілген мәліметтер уақытша сақталады, байрақтар регистрі – АЛҚ-ғы соңғы команданың орындалу нәтижесін көрсететін ақпарат сақталады, ал командалар есептеуші – микропроцессор осының көмегімен бағдарламадағы орындалып жатқан команданың нөмірін бақылап отырады. Ал стек нұсқағышы – белгілі бағдарлама орындалып болған соң, қайтып келетін орынды есте сақтауға қажет команда есептегішінің мәні орналасады. Командалар регистрі мен дешифратор, мұнда

қажетті түрге түрленеді. Микропроцессорды перифериялық құрылғылармен қосу үшін кіріс және шығыстарының арасында интерфейстер болуы қажет. Интерфейстер – перифериялық құрылғылардан келетін сигналдарды барлық уақытта қанағаттандырмағандықтан, қажет перифериялық құрылғылардың кіріс сигналдарға қоятын талабы – микропроцессордың шығыс сигналдарына, мысалы сигналдар деңгейі немесе берілу жылдамдығына сәйкес келмейді.

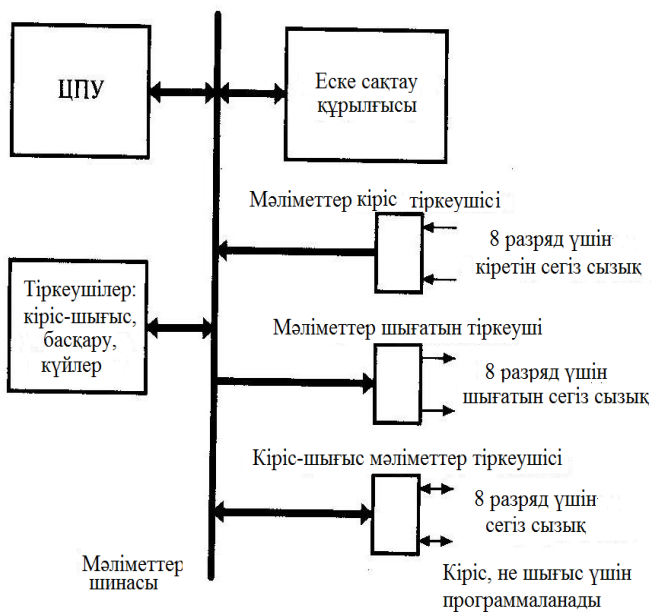


5.6-сурет. Микропроцессордың негізгі элементтері

Микроконтроллерлер

Микроконтроллерлер – құрамында жадысы және кіріс/шығыс интерфейстері бар бір кристалдағы интегралданған

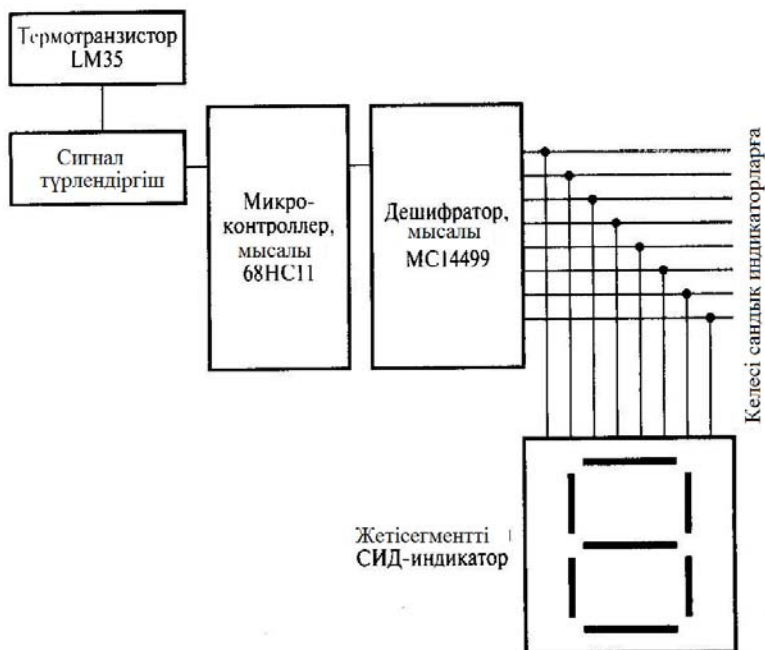
сұлбалар. 5.7-суретте микроконтроллердің жалпы блок-сұлбасы көрсетілген. Әдетте микроконтроллерлер бірнеше кіріс-шығыс порттардан тұрады, олардың кейбірі сигналдарды қабылдау не беру үшін бағдарламаланды. Кіріс порттардың біреуінің өз аналогтық-сандық түрлендіргіші болады, сондықтан оған аналогтық сигналдар тікелей қосыла алады. Порт каналдарының біреуі көбіне сигналдарды қабылдау немесе беру үшін бағдарламаланады. Микроконтроллер құрамына сондай-ақ, таймерлер сияқты құрылғылар да кіреді.



5.7-сурет. Микроконтроллердің негізгі элементтері
Микропроцессорлар негізіндегі құралдардың басты элементтері

5.8-суретте сандық термометрдің негізгі элементтері көрсетілген. Термометрдің сезгіш элементі – термотранзистор.

Ол өлшенетін температураға пропорционал сигнал беретін шығыстағы сигнал түрлендіргішімен бірге бөлек корпуска орнатылған (мысалы, LM35 термотранзисторы диапазоны – 40...110°C диапазонда 10 мВ/°С сигнал береді). Бұл сигнал, микроконтроллердің кіріс аналогтық портына беріледі. Шығыс сигнал – тізбектеп берілудің сызығымен декодтаушы құрылғыға беріледі.

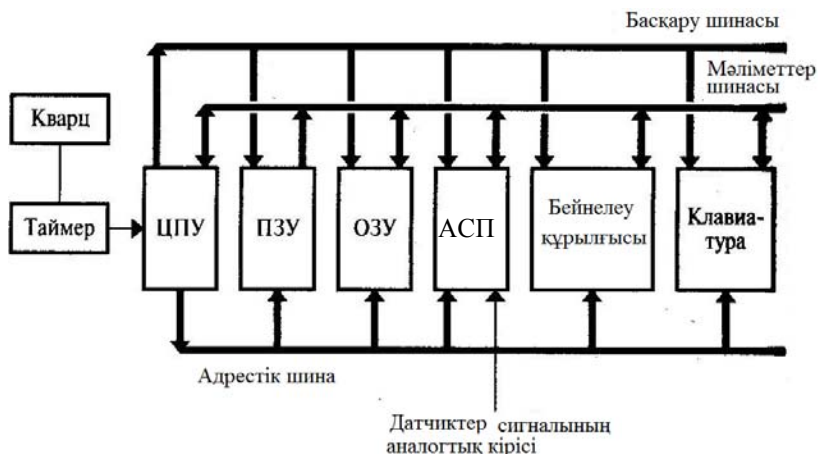


5.8-сурет. Сандық термометр

5.9-суретте типтік микропроцессорлық құралдың принциптік сұлбасы берілген. Басқару бағдарламасы жүйеге пернетақта арқылы енгізіледі немесе иілмелі дискіден оқылып, ОЕҚ-на жазылады. Жүйенің бағдарламалық қамтамасыз етілуіне, осы жүйе шешуі қажет түрлі бағдарламалар кіруі мүмкін. ТЕҚ-да

(тұрақты есте сақтау құрылғысында) өзгертілмейтін құрал дайындауда есте сақтау құрылғысына жазылатын, орнатушы мәліметтер және бағдарламалар сақталады.

Датчик пен түрлендіргіштің шығыс сигналы көбінесе аналогтық болады. Бағдарламаны қосқанда микропроцессор аналогтық-сандық түрлендіргішке датчиктен аналогтық сигналды алып, оны сандық кодқа түрлендіруге тапсырма береді. Яғни 8-разрядтық параллель сөзге және оны мәліметтер шинасына орналастыруға. ЦПУ бұл мәліметтерді қабылдап, оларды бағдарламаға сәйкес өңдейді. Осы әрекеттердің орындалу нәтижесі экранда көрінуі, әрі қарай есептеулер үшін ОЗУ-ға жазылады. Немесе ОЗУ-да сақталған мәнмен салыстырылып осы салыстыру нәтижесі бойынша қандай да жаңа процесс жіберілуі мүмкін. Бұл әрекеттердің барлық тізбегі микропроцессордың кезекті командасы берілгенде, аналогтық сигналдың келесі мәнін алу үшін қайталанады.

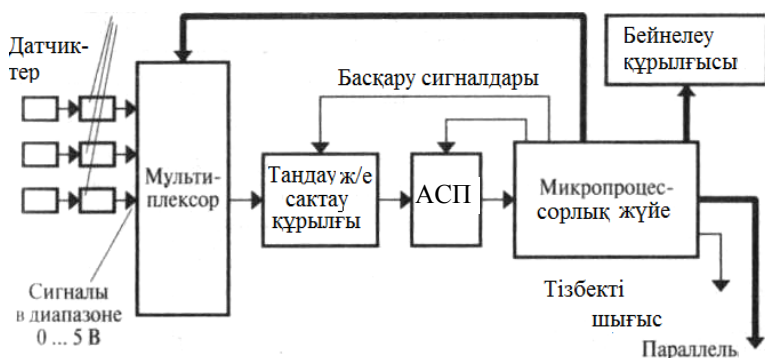


5.9-сурет. Микропроцессорлық құрал

5.4. Мәліметтердің жиын жүйесі

Бір мезгілде бірнеше айнаымалылардың мәнін анықтау керек болатын жағдайлар жиі кездеседі. Мысалы, химиялық өндірістің әр жеріндегі ағым жылдамдығын, температура, қысым, т.б. өлшеуді айтуға болады. Кешенді жүйе жүздеген датчиктерден мәліметтерді бір уақытта ала алады. Әр өлшеу үшін жеке жүйелер алудың орнына, мәліметтерді жинау жүйесін қолдануға болады. 5.10-суретте оның құрылымы көрсетілген.

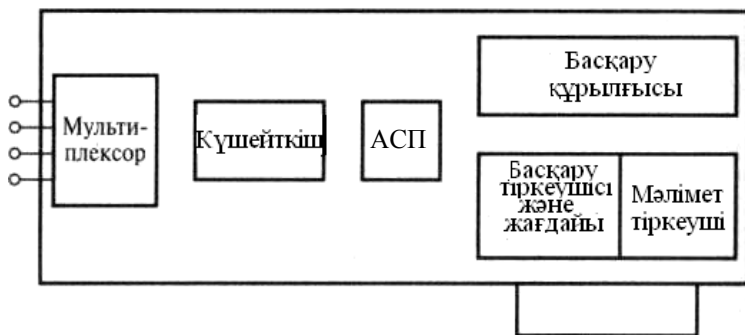
Әрбір датчиктің шығыс сигналдары сигнал құрастырғыштарына түседі. Мұнда олар кернеуге түрленуі, күшейтілуі, сызықтануы мүмкін, әдетте олардың 0,5В қабылданатын сигналдар диапазонына сәйкес болуы керек. Құрастырылған сигналдар мультиплексорға түседі. Мультиплексор микропроцессорды басқарады. Сайып келгенде, кіріс – сигналдың кез келген түрін тандай алады. Таңдап алынған сигнал таңдау және сақтау құрылғысы арқылы аналогтық-сандық құрылғыға түседі. Мұнда оны микропроцессорға енгізу үшін жарыспалы сөзге айналады. Өңдеу нәтижесі микропроцессор бетінде көрсетіледі, не жойылған дисплейге беріледі, әйтпесе басқару жүйесімен пайдаланылып, жадыда сақталады.



5.10-сурет. Мәліметтердің жиын жүйесінің негізгі элементтері

Мәліметтердің жиын жүйесінің платасы

ЭЕМ қолданғанда компьютердің жүйелік платасының кеңейту слоттарының бірінде, құрамында мультиплексор және аналогтық-сандық түрлендіргіші бар мәліметтердің жиын жүйесі қойылады. Егер өлшеу жүйесінің қажеттіліктерін жүйелік платадағы орындардың мүмкіндігінен асыру қажет болса, онда мәліметтердің жиын жүйесі жеке блок түрінде орындалуы мүмкін. Мәліметтердің жиын жүйесінің құрамына – стандартты датчиктер, мысалы термोजұптармен жұмыс кезінде қолданылатын сигнал түрлендіргіштері кіреді. Мәліметтердің жиын жүйесінің типтік платасы әдетте, өзіне түрлендіру уақыты 25мкс-қа тең 16 кіріс каналы бар 12-разрядты аналогтық-сандық түрлендіргіштен тұрады. 5.11-суретте мәліметтердің жиын жүйесінің типтік платасының негізгі элементтері келтірілген.



5.11-сурет. Мәліметтердің жиын жүйесінің типтік платасы

Мәліметтердің жиын жүйесінің аналогтық кірістер үшін негізгі сипаттамалары:

1. *Түрлендіру жиілігі.* Ол кіріс сигналдың аналогтық-сандық түрленуінің секундына жасайтын максималь санын анықтайды.

2. *Кірісі каналдар саны.* Әр каналдан мәліметтерді кезек-кезек алу үшін мультиплексор қолданылады.

3. *Разрядтылық.* Ол аналогтық сигналды көрсететін аналогтық-сандық түрлендіргішпен қолданылатын разрядтар санымен анықталады, мысалы 12 разрядты.

4. *Кіріс сигнал диапазоны.* Ол аналогтық-сандық түрлендіргішпен өңделетін кіріс аналогтық сигналдың минималь және максималь кернеуін анықтайды, мысалы 0... 10 вольт.

5. *Күшейту коэффициенті.* Әдетте мәліметтердің жиын жүйесінің платасында орналасқан күшейткіштің күшейту коэффициентін беру мүмкіндігі туады. Оның мәні кіріс диапазон мәнімен және аналогтық-сандық түрлендіргіштің разрядтылығымен бірігіп, кірістегі аналогтық сигналдың минималь өзгеруін анықтайды. Сонымен, күшейту коэффициенті 20-ға тең, ал кіріс диапазон – 0... 10 вольт, ал разрядтылық – 12, онда ең кіші ажыратылатын мән $10/(20 \times 2^{12}) = 120$ мкВ деп анықталады.

Мәліметтердің жиын жүйесінің сандық кірістер үшін негізгі сипаттамалары:

1. *Каналдар саны.*

2. *Логикалық сигналдар деңгейі.* Бұл шама максималь және минималь кернеуді анықтайды (яғни логикалық «0» және «1» деңгейін).

3. *Байланысты растау сигналдары.* Сандық сигналдарды компьютер мен сыртқы құрылғы арасында беру кезінде, байланысты растайтын арнайы сұлбалар қолданылады. Бұл, мәліметтерді алмастыруға және осы алмасуды синхрондау үшін қажетті шарт.

Микропроцессорды бағдарламалау.

Микропроцессор мәліметтерді қабылдауға бағдарламалануы қажет. Бағдарламаны *Бейсик жоғары деңгейлі* тілде немесе оператор өзінің жеке бағдарламасынсыз экранда диалогтық режимде қажетті әрекеттер тізбегін орындай алатындай, кез келген тілде жазуға болады. Бағдарламаны жазу

алгоритмін келесі түрде беруге болады:

1. Мәліметтердің жиын жүйесі платасының мекен-жайын беру.
2. Кіріс каналды таңдау.
3. Түрленудің басталуы үшін команда беру.
4. Түрленудің аяқталуын тексеру.
5. Аналогтық-сандық түрлендіргіштен шығыс мәліметтерін оқу.
6. Жадыда мәліметтерді сақтау.
7. Басқа каналдар үшін 2-ден 6-ға дейінгі қадамдардың қайталануы үшін тек бір каналды немесе каналдар бойынша сканерлеуге қажетті түрлі циклдік бағдарламалар жасалады.
8. Нәтиже басылып шығарылады, экранда көрінеді немесе әрі қарай өңделуге беріледі.

Жеке бағдарламалар жазуды болдырмайтын мәліметтерді жинау жүйесінде компьютерді басқару үшін қолданылатын *бағдарламалар пакеті* сату аймағында кең тараған. Мұндай бағдарламаларда қабылданған сигнал ереже бойынша дисплейде бірден көрінеді. Бұл бағдарламалар операторға мәлімет көзін және оларды өңдеу алгоритмін анықтауға мүмкіндік беретін қосымшалар редакторына ие. Ол үшін оператор дисплейде сәйкес мәзір бөлімдерін толтырады, қажетті параметрлерді таңдайды да экрандық басқару элементтерін пайдаланып, бір-бірімен қажетті блоктарды байланыстырады. Мұндай бағдарламалардың кейбіреуі сапалы жинау, өңдеу және ақпаратты бейнелеуге мүмкіндік береді.

Мәліметтерді тіркеу құрылғысы.

«Мәліметтерді тіркеуші» – термині өлшеу жүйесіне қосылатын қосымша құрылғы ретінде қолданылады. Ол өлшенетін мәндерді бірнеше датчиктерден алуға және сақтауға бағдарламаланады. Кейінірек бұл құрылғы әрі қарай өңдеу және бейнелеуге жиналған мәліметтерді оқу үшін ЭЕМ-на қосылады. Мәліметтер тіркеуші компьютерге тәуелсіз бағдарламалануы

мүмкін немесе компьютермен байланыс сызығы арқылы басқарылады. Мәліметтер тіркеуші – мониторингке қиын қол жеткізілетін жойылған объектілер үшін пайдалы құрылғы.

Бақылау сұрақтары.

1. Микропроцессорлық жүйенің негізгі компоненттері.
2. Микроконтроллер.
3. Деректерді жинақтау жүйесі.
4. Мультиплексорлар.
5. Микропроцессорлық өлшеу жүйелерінің мысалдары.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. Раннев Г.Г., Тасаренко А.П. Методы и средства измерений. – М.: Академия, 2004.
2. Болтон У. Справочник метролога. – М.: Додека XXI, 2002.
3. Евтихеев Н.Н. и др. Измерение электрических и неэлектрических величин. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. – М.: Мир, 1990.
5. Харп Х. Введение в измерительную технику. – М.: Мир, 1999.
6. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: ДМК Пресс, 2001.
7. Сергеев А.Г. Метрология. – М.: Логос, 2004.
8. Бурсан Э.В. Физические приборы. – М.: Просвещение, 1984.
9. Макешева К.К. Стандартизация, сертификация и технические измерения. Мет. указания к практ. занятиям. – Алматы: КазНТУ, 2006.
10. Қожаспаев С., Кешиев С., Мұхитов И. Электро-техника. – Алматы: РБК, 1996.
11. Нұрманов М.Ш. Автоматиканың электрондық құрылғылары. – Алматы: КазПТИ, 1993.
12. Бекбаев А., Сүлеев Д., Хисаров Б. Сызықты және бейсызықты жүйелердің автоматты реттеу теориясы. – Алматы: «Эверо», 2005.
13. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. –Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
14. Шоланов К.С. Основы автоматики. – Алматы: «Эвро», 2009
15. Новожиллов О.П. Основы микропроцессорной техники. – В 2-х томах. – Т 1. – М.: Радио Софт, 2011., – 432 с.
16. Зайцев С.А., Грибанов Д.Д., Толстов А.Н., Меркулов Р.В. Контрольно-измерительные приборы и инструменты. – М.: Академия, 2009.– 684 с.

17. *Шишмарев В.Ю.* Измерительная техника. – М.: Академия, 2012. – 284 с.
18. *Панфилов В.А.* Электрические измерения. М.: Академия, 2012, – 288 с.
19. *Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Душин Е.М.* и др. Основы метрологии и электрические измерения. – Л.: Энергоатомиздат: 1987. – 480 с.
20. *Гвоздев В.Д.* Прикладная метрология: Величины и измерения. – М.: МИИТ, 2011.
21. *Класен К.Б.* Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Академия, 2006. – 316 с.
22. *Назаров В.Н., Карабегов М.А., Мамедов Р.К.* Основы метрологии и технического регулирования. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 110 с.
23. *Левшина Е.С., Новицкий П.В.* Электрические измерения физических величин М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
24. *Хрусталева З.А., Парфенов С.В.* Электрические и электронные измерения в задачах, вопросах и упражнениях. – М: Академия, 2009. – 176 с.
25. *Bakshi U.A., Baksh A.V i.* Electrical Measurements and Measuring Instruments. Technical Publications, 2009. – 716 p.
26. *Никитин В.А., Бойко С.В.* Методы и средства измерений, испытаний и контроля: Учеб. Пособие. – 2-е изд. перераб. и доп. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 462 с.
27. *Зайцев С.А., Грибанов Д.Д., Толстов А.Н.* Контрольно-измерительные приборы и инструменты М.: Академия 2002. – 465 с.
28. *Дьяконов В.П., Афонский А.А.* Измерительные приборы и массовые электронные измерения. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 541 с.
29. *Вафин Д.Б., Абдуллин А.М., Шарипов М.Р.* Электроизмерительные приборы, электростатика: Метод. указания. Казань: – КГТУ, 2008 г.
30. *Андреев А.Н., Гаврилов Е.В.* Оптические измерения: Учеб. пособие. – М.: Логос, 2007 г.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе.....	3
1. Физикалық шамаларды өлшеудің техникалық негіздері.....	4
1.1. Өлшеу құралдарының жіктелуі.....	4
1.2. Өлшеу құралдарының метрологиялық сипаттамалары....	8
1.3. Өлшеу жүйелері. Өлшеу жүйесінің (ӨЖ) негізгі бөліктері.....	13
1.4. Қателіктердің жіктелуі.....	19
1.5. Жүйелік қателіктер.....	26
1.6. Кездейсоқ қателіктер.....	29
1.7. Өлшеу нәтижелерін жазу түрлері.....	39
2. Электрлік емес шамаларды өлшеу.....	41
2.1. Өлшеу түрлендіргіштерінің негізгі сипаттамалары.....	41
2.2. Өлшеу құралдарының қосылу сұлбалары.....	46
2.3. Өлшеу құралдарының динамикалық қасиеттері.....	58
2.4. Өлшеу түрлендіргіштерінің жіктелуі.....	63
3. Параметрлік түрлендіргіштер.....	68
3.1. Фотоэлектрлік түрлендіргіштер.....	68
3.2. Сыйымдылықтық түрлендіргіштер.....	76
3.3. Жылулық түрлендіргіштер.....	81
3.4. Иондық түрлендіргіштер.....	89
3.5. Реостаттық түрлендіргіштер немесе белсенді кедергі датчиктері.....	94
3.6. Тензорезисторлық түрлендіргіштер.....	98
3.7. Индуктивтік түрлендіргіштер.....	102
3.8. Магнитсерпімді түрлендіргіштер.....	111
3.9. Электролиттік кедергі түрлендіргіштер.....	115
3.10. Полярографиялық түрлендіргіштер.....	121
4. Генераторлық түрлендіргіштер.....	127
4.1. Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер.....	127
4.2. Индукциялық түрлендіргіштер.....	133
4.3. Жылу электрлік түрлендіргіштер.....	139

4.4.	Жылуэлектрлік пирометрлер.....	145
5.	Құралдардағы микропроцессорлер.....	150
5.1.	Бағдарламаланатын құралдар.....	150
5.2.	Микропроцессорлық жүйелердің негізгі элементтері.	153
5.3.	Микропроцессор.....	156
5.4.	Мәліметтердің жиын жүйесі.....	161
	Библиографиялық тізім.....	166
	Мазмұны.....	168

Оқулық басылым

Түсеев Тұрғара
Макешева Күләш Қонысбайқызы

БАҚЫЛАУ-ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫ

Оқу құралы

РБ бастығы

З.А. Ғұбайдулина

Редакторы

К. Мүптекеқызы

Компьютерде беттеген

А.Б. Аришова

Басуға қол қойылды 20.02.2013 ж.

Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84 1/16. №1 баспаханалық қағаз.

Көлемі 10,6 есепті б.т. Шартты б.т. 9,8. Тапсырыс № 17.

Бағасы келісімді.

Қ.И. Сәтбаев атындағы

Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы,
Ақпараттық-баспа орталығы, Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-492-8



9