

5.1. ЭЛЕКТРЛІК ӨЛШЕУ ҚҰРАЛДАРЫН, ТҮРЛЕРІН ЖӘНЕ ӘДІСТЕРІН ЖІКТЕУ

Электрлік өлшеу деп электрлік шамалардың параметрлерінің мәндерін арнайы құралдар көмегі арқылы тәжірибелік жолмен анықтау.

Өлшеу құралдары. Функционалдық тағайындалымы бойынша өлшеу құралдарын: өлшем, өлшеу құралдары, өлшеуіш түрлендіргіштер, өлшеу жүйелері мен өлшеуіш-есептеуіш кешендер деп ажыратады.

Өлшем, берілген мөлшердегі электрлік шамалардың мәндерін жаңғыртуға арналған.

Өлшеу құралдары, оперторға қол жетімді түрде өлшеніп жатқан шаманың мәндері туралы өлшеу ақпараттарын шығаруға арналған.

Өлшеу құралдарын:

- көрсеткіш, есепті құрылғының тек көрсетулерін ғана санайтын; өлшенетін шама тікелей өлшеммен салыстырылатын, салыстырушы; тіркейтін уақыттың нақты масштабында түрлі тасымалдаушыларда көрсеткіштерді тіркеуге рұқсат ететін, тіркеуші;
- баламалы, олардың көрсеткіштері өлшенетін шаманың мәндерінің үздіксіз функциясы болып табылады, және өлшенетін шаманың мәндері уақттың тең интервалы арасында сандық кодтармен алмастырылатын сандық;
- түрлі тектес электрмеханикалық өлшеу механизмдері негізіндегі электрмеханикалық, және мұндай механизмдері жоқ немесе тек санақ құрылғысы ретінде ғана қолданылатын электрондық;

- қолдану сипатына қарай стационарлық (қалқандық) және ауыспалы деп бөлінеді.

Өлшеуіш түрлендіргіштер өлшенетін шамалардың мәндерін, ары қарай өңдеуге жеңіл, бірақ оператормен тікелей қабылданбайтын шамалардың пропорционалды мәндеріне түрлендіруге қолданылады.

Түрлендірілетін шамалардың сипатына қарай, электр шамаларын электр шамаларына, электрлік емес шамаларды электр шамаларына, магниттік шамаларды (индукциялар, магниттік ағын мен т.б.) электрлік шамаларға және электрлік шамаларды электрлік емес шамаларға (бағыттап көрсеткіштің ауытқуы және т.б.) өлшеуіш түрлендіргіштерді ажыратады.

Өлшеу жүйелері, бір-бірімен байланыс арналары арқылы жалғанған түрлі өлшеу құралдарының жиынтығынан тұрады және өлшемнің көп көлемін жинақтау мен талдауға арналған.

Өлшеуіш-есептеуіш кешені құрамына еркін бағдарламалантын компьютер кіретін өлшеу жүйесін білдіреді.

Өлшеу түрлері. Нәтижені алу әдісіне қарай тікелей, жанама және бірлескен өлшеулер деп бөлінеді.

Тікелей өлшеу кезінде өлшенетін шаманың мәні, межесі сәйкес бірлікте градуирленген, құрал-жабдық көрсетулерімен анықталады.

Жанама өлшеу кезінде өлшенетін шаманың мәні, оның өзі белгілі тәуелділіктермен байланысқан, басқа шамаларды тікелей өлшеуден алынған нәтижелер бойынша есептеледі. Мысалы, $R = U/I$ Ом заңы бойынша тұрақты ток тізбегіндегі резистор кедергісін өлшеу, I тогы мен U кернеуін өлшеу негізінде жүргізіледі.

Бірлескен өлшеу кезінде, өлшенетін шаманың мәні байланысты болатын, шамаларды тікелей немесе жанама өлшеуден нәтижесі алынады. Мысалы, Ом заңы бойынша электр кедергісінің температуралық коэффициентін өлшеу, ток пен кернеуді әртүрлі температуралық жағдайларда тікелей өлшеуге негізделген.

Өлшеу әдістері. Өлшеу құралдарын қолдану амалларына қарай өлшеу әдістерінің екі топқа ажыратады: тіке бағалау және өлшеммен салыстыру.

Өлшенетін шаманың мәнін *тіке бағалау әдісі*, көрсететін құралдың өлшемі көмегімен алдын ала градуирленген межесі бойынша тіке санақ бастаумен анықталады.

Өлшенетін шаманың мәнін *салыстыру әдісі*, өлшеммен қайта жаңғыртылатын аттас шаманың мәнімен салыстырылады. Нөлдік және дифференциалдық салыстыру әдістері деп бөлінеді. Бірінші

әдіспен өлшем мәні өлшенетін шаманың мәніне дейін реттеледі, ал жоғары сезімталдыққа ие өлшеу аспабы көмегімен тепе-теңдігі бекітіледі. Екінші әдіспен өлшенетін шаманың мәні өлшем мәнімен толығымен теңдестірілмейді, ал олардың мәндерінің айырымы тіке санақ жүргізу арқылы өлшенеді.

Салыстыру әдістері және олардың негізінде жасалынған өлшеу құралдары жоғары дәлдікке ие.

5.2.

ӨЛШЕУ ҚАТЕЛІКТЕРІ МЕН ДӘЛДІК КЛАСТАРЫ

Кез-келген физикалық шама мәндерін өлшеу қателіктермен, яғни оның өлшенген және шынайы мәні арасындағы айырмашылықпен бірге жүреді. Қателіктерді абсолюттік, салыстырмалы және келтірілген деп бөледі.

Абсолюттік ΔA және салыстырмалы γ_0 өлшеу қателіктері

$$\left. \begin{array}{l} \Delta A = A_{\text{олш}} - A; \\ \gamma_0 = (\Delta A / A)100\% \end{array} \right\} \quad (5.1)$$

формулаларымен анықталады, мұндағы $A_{\text{олш}}$ және A — өлшенетін шаманың өлшенген және нақты мәндері.

Көптеген жағдайларда абсолюттік қателік өте аз болады және

$$\gamma_0 = (\Delta A / A)100\%$$

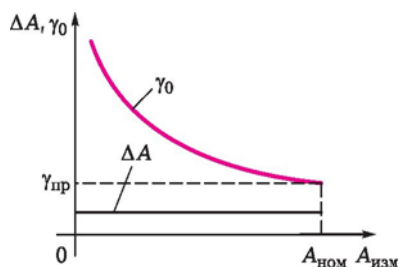
деп қабылдай аламыз.

Абсолюттік және салыстырмалы қателіктер оң және теріс мәндерге ие болуы мүмкін.

Мысалы, егер амперметр $A_{\text{олш}} = 5$ А көрсетсе, ал токтың нақты мәні $A = 4,9$ А болса, онда абсолюттік қателік $\Delta A = 0.1$ А, салыстырмалы қателік $\gamma_0 = (0,1/5)100\% = 2\%$.

Алайда көрсеткіш құралдардың дәлдігін салыстырмалы қателік бойынша көрсету онша қолайлы емес, себебі мұндай құралдардың абсолюттік қателігі барлық меже бойында аз өзгереді. Сондықтан да өлшенетін шаманың мәні кеміген сайын салыстырмалы қателік жылдам арта бастайды (5.1-сурет).

Көрсеткіш құралдардың дәлдігін бағалауға:



5.1-сурет

$$\gamma_{\text{кел}} = (\Delta A / A_{\text{ном}}) 100\% \quad (5.2)$$

келтірілген салыстырмалы қателік қолданылады.

5.1-кесте. Электрмеханикалық көрсеткіш құралдарының межесіндегі шартты белгілер	
Аспаптың атауы	Шартты белгісі
Фазалары біркелкі емес жүктелген үш фазалық тізбекте өлшеу жасауға арналған құрал	
Тура сол, екі элементті өлшеу механизмімен	
Сыртқы магнит өрісіндерден, мысалы 2 мТл қорғаныс	
Сыртқы электр өрістерінен, мысалы 10кВ/м қорғаныс	
Өлшеу диапазонында қателікті пайызбен нормалдау, мысалы 1,5 кезіндегі, дәлдік класы	1,5

Аспаптың атауы	Шартты белгісі
Тура сол, меже ұзындығы, мысалы 1,5 пайызында	
Меженің көлденең орналасуы	
Меженің тік орналасуы	
Деңгейжиегіне қатысты белгілі бір бұрышта, мысалы $\pi/3$, меженің еңкейіп орналасуы	
Жердің магнит өрісінде құралдың бағдарлану бағыты	
Өлшеуші тізбек жақтаудан оқшауланған және кернеумен, мысалы 2 кВ, сыналған	
Құрал оқшаулану беріктігін тексеруге жатпайды	
Абай болыңыз! Жақтауға қатысты өлшеуші тізбектің оқшаулау беркітігі нормаларға сәйкес келмейді (таңба қызыл түспен жазылады)	

мұндағы $A_{\text{ном}}$ — аспап межесіндегі ең үлкен мәнге тең *номиналды мәні*.

Мысалы, егер амперметр межесіндегі номиналды мән $A_{\text{ном}} = 10$ А, ал абсолютті қателік $\Delta A = 0,1$ А болса, онда келтірілген қателік $\gamma_0 = (0,1/10)100\% = 1\%$ болады.

Қателіктер мәні құрылғының өзінің кемшіліктерімен және сыртқы әсерлермен (ферромагнитті материалдардан жасалынған заттардың, магниттік және электрлік өрістер көзінің және т.б. құрылғыға жақын орналасуы) анықталады. Қалыпты жұмыс шарттарында анықталған және тек құрылғының қасиеттеріне ғана тәуелді болатын, келтірілген салыстырмалы қателік, *негізгі қателік* деп аталады.

Өлшеу құралдарын, рұқсат етілген негізгі қателікпен: ,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4 белгіленетін дәлдік кластарына бөледі. *Дәлдік класын* құрылғының беткі жақтамасында көрсетеді; ол меженің барлық бөліктеріндегі құрылғының абсолютті қателігі дәлдік классымен анықталатын мәннен аспайтындығын білдіреді.

Мысалы, егер дәлдік класы 1 болатын амперметр $A_{\text{ном}} = 10 \text{ А}$ номиналды мәніне ие межесі бар болса, онда өлшеулердің меже аясындағы абсолюттік қателігі (5.2) бойынша $\pm \Delta A = \pm \Delta A_{\text{ном}} / 100 = \pm 10 / 100 = \pm 0,1 \text{ А}$ аспайтын болады.

Сыртқы шарттардың қалыпты шарттардан ауытқуы *қосымша қателіктерді* туындатады.

$d\alpha / dA$ шамасы, мұндағы α — көрсеткіш құрылғының межесіндегі бөліктер, оның *сезімталдығы* деп аталады..

5.1-ші кестеде құрылғының жақтауларындағы, олардың йункционалды ерекшеліктері мен қалыпты пайдалану шарттарын білдіретін кейбір шартты белгілер келтірілген.

5.3. ЭЛЕКТР ӨЛШЕУІШ АСПАПТАРДЫҢ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУЫ

Жұмыс істеп тұрған электр өлшеуіш аспап энергия тұтынады және сол арқылы өзі жалғанып тұрған электр тізбегінің жұмыс режиміне өзгерістер енгізеді. Өлшеу нәтижелерін өңдеу кезінде мұны ескеру қажет.

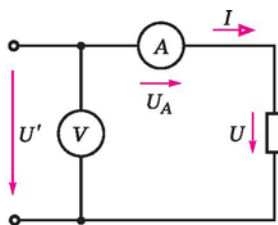
Ом заңы негізінде резистор кедергісінің (тұрақты ток кезінде) амперметр мен вольтметр көмегімен жанама өлшенуін қарастырайық. Аспаптарды қосудың екі схемасы болуы мүмкін.

5.2 суреттегі схемада амперметр R кедергісіне ие резистордағы I тогын, ал вольтметр — резистордағы және амперметр тізбегінің кернеулерінің $U' = U + R_A I$ қосындысын өлшейді, R_A — амперметр тізбегінің кедергісі; U — реистордағы кернеу. Демек, аспаптардың көрсетімдеріне сүйене отырып, Ом заңы бойынша резистор мен амперметр тізбегінің кедергілерінің қосындысы анықталады:

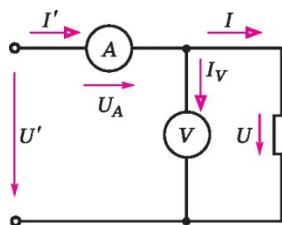
$$U' / I = R' = R + R_A$$

бұл ретте резистор кедергісінің нақты мәні:

$$R = R'(1 - R_A / R')$$



5.2-сурет



5.3-сурет

Амперметр тізбегінің кедергісі аз болған сайын, өлшеу қателігі де аз болады.

5.3-суреттегі схемада вольтметр резистордағы U кернеуін, ал амперметр — резистор мен вольтметр тізбегіндегі $I' = I + I_V$ токтар қосындысын өлшейді. Мұндай жағдайда аспаптар көрсетімдеріне сүйене отырып, Ом заңы бойынша резистор мен вольтметр тізбегіндегі өткізгіштіктер қосындысы анықталады

$$I'/U = 1/R' = 1/R + 1/R_V,$$

яғни

$$R = R'/(1 - R'/R_V),$$

мұндағы R_V — вольтметр тізбегінің кедергісі.

Вольтметр тізбегінің кедергісі аз болған сайын, өлшеу қателігі де аз болады.

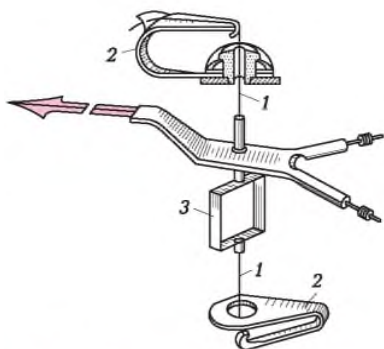
Өлшеуіш аспаптар көмегімен басқарылатын электр тізбектерінің қуаттары аз болған сайын, олардың энергия тұтынуының нәтижелеріне әсері көп болады.

5.4.

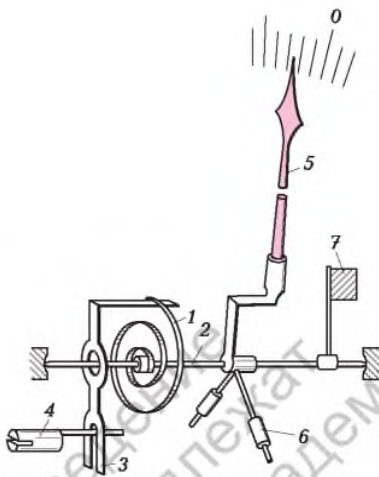
ЭЛЕКТРМЕХАНИКАЛЫҚ КӨРСЕТУШІ АСПАПТАРДЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ТҮЙІНДЕРІ

Электрмеханикалық көрсетуші аспаптарда тікелей өлшеулер жасау үшін оның жылжымалы бөлігі, өлшенетін шаманың мәндеріне пропорционалды күштер әсерінен жылжымайтынға қатысты орын ауыстырады. Санақ құрылғысының құрылысына байланысты, жылжымалы бөлігін кергіге немесе остерге орнатқан кезде тілшелі және жарықтық көрсеткіштерге ие электрмеханикалық аспаптар деп бөлінеді.

Кергілер — бұл бериллиден немесе қалайы-мырышты қоладан жасалынған серпімді таспалар. Аспаптың жылжымалы бөлігі,



5.4-сурет



5.5-сурет

ұштары екі жалпақ серіппеге 2 бекітілетін, екі кергіге 1 (5.4-сурет) ілінеді. Кергілер құрылғының жылжымады бөлігін катушканың 3 жақтауларына ток жеткізу үшін қолданылуы мүмкін. Кергілерді бұрап қою кері әсер етуші моментті қамтамасыз етеді.

Оське жылжымалы бөлікті орнатқан кезде, тіректердегі үйкелісті азайту үшін көлденең орнатылады, ал кері әсер етуші моментті фосфорлы қоладан жасалынатын шиыршықты серіппелер тудырады.

Қалдық деформациялар мен мезаникалық әсер етулер салдарынан жұмыс істемейтін құрылғының тілшелі көрсеткіші нөлдік емес бөлікте орналасуы мүмкін. Оны нөлдік күйіне қайтару үшін корректорды қолданамыз. Кері әсер етуші моментті тудыру үшін (5.5-сурет) серіппенің 1 бір ұшы *корректордың* тізгініне 3, ал екіншісі – жылжымалы бөліктің 2 осыне бекітіледі Тілшелі көрсеткішті 5, құрылғы жақтауындағы бұrandаны айналдырып, тізгін арқылы ығыстырып отыруға болады. Ось маңындағы жылжымалы бөліктің айналу массасы моменттерін теңдестіру үшін оған қарсы салмақ 6 бекітіледі. Мұндай құрылғылардың көрсеткіштері оның орналасуына тәуелді емес деуге де болады.

Серіппесі бар құрылғының жылжымалы бөлігі инерция мен серпімділікке ие. Сондықтан да, өлшенетін шаманың мәндері өзгерген кезде құрылғының жылжымалы бөлігінің тепе-теңдігінің жаңа күйі бірден орнатылмайды, көбінесе бірнеше тербелістерден

кейін ғана орнатылады. Жылжымалы бөліктің кинетикалық энергиясын жұту және өту процесінің уақытын азайту үшін құрылғылар тыныштандырғыштармен жабдықталады.

Магнитті индукциялық және ауа тыныштандырғыштары қолданылады.

Магнитті индукциялық тыныштандырғыш, жылжымалы бөліктің осыне бекітілген және жылжымайтын тұрақты магниттердің магнит өрісінде қозғалатын, алюминий сектордан құралған. Сектор қозғалысы кезінде ЭҚК, және соның әсерінен токтар да индукцияланады. Соңғыларының жылжымайтын тұрақты магниттердің магниттік өрісімен өзара әсерлесуі, жылжымалы бөліктің қозғалысына бөгет жасайтын күштерді тудырады.

Ауа тыныштандырғышы, құрылғының жылжымалы бөлігінің осыне бекітілген, жеңіл 7 алюминийлі «қанат» орналасқан (5.5-суретті қараңыз), жабық камерада тұрады. Тежеуіш ретінде, оның қозғалысы кезінде «қанаттың» екі жағындағы камерадағы қысымдар айырымы қолданылады.

5.5. ЭЛЕКТРМЕХАНИКАЛЫҚ АНАЛОГТЫҚ КӨРСЕТУШІ АСПАПТАР

Электрмеханикалық аналогтық көрсетуші аспаптар электрмеханикалық өлшеу механизмдері мен өлшеу тізбегінен тұрады.

Өлшеу механизмі электр энергиясын, жылжымалы бөліктің және онымен байланысты бағыттауыштың орын ауыстыруының механикалық энергиясына айналдырады.

Өлшеу тізбегі өлшенетін электр шамасының (кернеудің) мәнін, өлшеу механизміне тіке әсер етуші шаманың (токтың) пропорционалды мәндеріне түрлендіреді.

Бірдей өлшеу механизмдері түрлі өлшеу тізбектерімен бірлесіп, әтрүрлі шамаларды өлшеуге қолданыла алады.

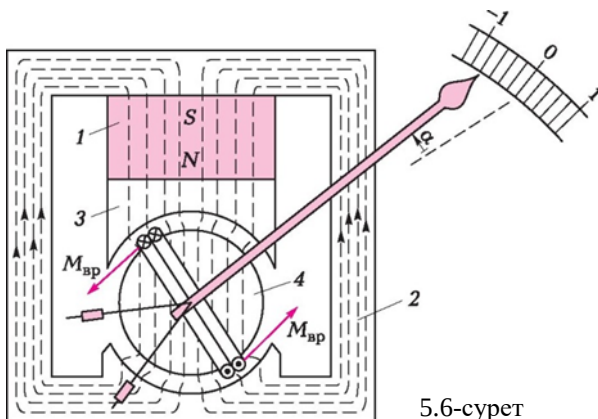
Өлшеу механизмінің әрекет ету принципіне қарай электрмеханикалық баламалы көрсеткіш құрылғылардың бірнеше жүйелерін бөліп ажыратады, олардың шартты белгілері 5.2-кестеде берілген.

5.2-кесте. Баламалы электрмеханикалық көрсеткіштің құрылғының әрекет ету (жүйе) принциптерін шартты белгілеу

Аспап жүйесінің атауы	Шартты белгісі	
	Қарапайым өлшеу механизмі	Логометриялық өлшеу механизмі
Жылжымалы катушкасы бар магнитті электрлік құрылғы		
Жылжымалы магниті бар магнитті электрлік құрылғы		
Электрмагниттік құрылғы		
Электромагнитті поляризацияланған құрылғы		
Электродинамикалық құрылғы		
Индукциялық құрылғы		
Электростатикалық құрылғы		

Магнитті электрлік жүйе. Магнитті электрлік жүйенің өлшеу механизмдерінде айналу моменті, катушкадағы өлшенетін тұрақты токтың тұрақты магниттің магнит өрісіне ие механизммен әсерлесуі есебінен туындайды. Магнитті электрлік жүйелерді жылжымалы катушкалы (жылжымалы жақтаулы) және жылжымалы магнитті деп ажыратады.

Жылжымалы катушкалы магнитті электрлік механизмде (5.6-сурет), соңғысы тірекке орнатылған және магниттік-жұмсақ материалдан және тұрақты магниттен 1 дайындалатын полюстік ұштың 3 және цилиндрлік білігіндегі 4, магниттік өткізгіш 2 құрамындағы магниттік тізбектің бос аралығында айнала алады.



5.6-сурет

Механизмнің жылжымалы бөлігіне

$$M_{\text{айн}} = 2Fwd / 2 = wBl d = k_{\text{айн}} I, \quad (5.3)$$

айналмалы моменті әсер етеді, мұндағы d және l — w орамдардан тұратын, катушка қаңқасының диаметрі мен ұзындығы; $F = BI$ — катушканың әрбір өткізгішіне әсер ететін күш; $k_{\text{айн}} = wBl d$ — айналу моментінің пропорционалдық коэффициенті.

Шиыршық серіппенің кері әсер етуші моменті (5.6-суретте көрсетілмеген) α катушкасының бұрылу бұрышына пропорционалды, яғни $M_{\text{np}} = k_{\text{np}} \alpha$, мұндағы k_{np} — пропорционалдық коэффициенті. $M_{\text{айн}} = M_{\text{np}}$ моменттерінің теңдігінде катушканың бұрылу бұрышы өлшенетін токқа пропорционалды:

$$I = k_{\text{np}} \alpha / k_{\text{айн}} = c_I \alpha \quad (5.4)$$

немесе

$$\alpha = \frac{1}{c_I} I$$

мұндағы c_I — құрылғы тұрақтысы («меже бөліктерінің бағамы»).

Магнитті электрлік жүйенің көрсеткіш құрылғыларының негізгі артықшылықтары — жоғары сезімталдық пен дәлдік класы (0,1-ге дейін) және өрістің магниттік индукциясын өлшеу механизмінің магниттік тізбегінің бос ауа кеңістігінде айтарлықтай (0,35 Тл-ға дейін) және біркелкі үлестірілуі салдарынан тұрақты ток тізбегінде өлшеу кезінде меженің біркелкілігі.

Негізгі кемшілігі – тек тұрақты токтарды ғана өлшеуі.

Синусоидальқ токты өлшеу үшін түрлендіргіштер қолданылады. Мысалы, екі жартылай периодты түзеткіш (5.7-сурет, мұндағы ӨМ – өлшеу механизмі) – тізбектегі i токтың (4.3) орташа мәнін өлшеуге мүмкіндік береді.

Гальванометрлер — межелері градиурленбеген және тұрақты токқа қатты сезімтал магнитті электрлік жүйе құрылғысы.

Электрмагниттік жүйе. Электромагнитті жүйені өлшеу механизмдеріндегі айналу моменті, құрылғының жылжымайтын катушкасындағы өлшенетін токтың магнит өрісінің жылжымалы ферромагнитті тетігіне электрмеханикалық әсерімен шартталған. Механикалық күштер, механизмнің магнит өрісінің энергиясы мүмкіндігінше үлкен болатындай етіп тетікті қозғалтуға ұмтылады.

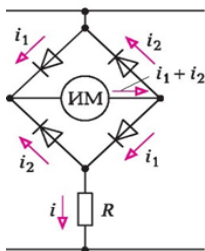
Электрмагниттік механизмде (5.8-сурет) тетік 1, өлшенетін ток тізбегіне кіретін, 2 катушкаға тартылады. Магнит өрісін күшейту және айналу моментінің мәнін басқару үшін жылжымайтын 3 ферромагнитті білік қолданылады.

Кері әсер етуші момент 5 шиыршықты серіппе әсерінен туындайды. Сыртқы магнит өрісіндерден қорғау мақсатында өлшеу механизмі 4 ферромагнитті экранға орналастырылған.

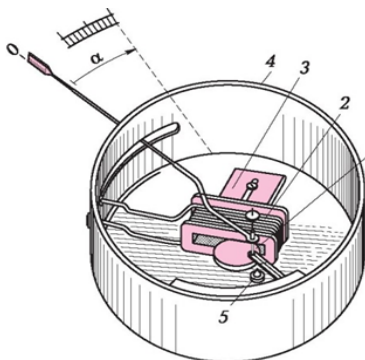
Жалпы жағдайда жылжымалы бөлікке әсер ететін айналу моменті $W_m = L(\alpha)i^2 / 2$ (3.23) магнит өрісі энергиясының α орын ауыстыру координатасы бойынша

$$M_{aйн} = \frac{dW_m}{d\alpha} = \frac{i^2}{2} \frac{dL(\alpha)}{d\alpha} \quad (5.5)$$

туындысына тең, мұндағы $L(\alpha)$ мен i – катушка индуктивтілігі мен тогы.



5.7-сурет



5.8-сурет

Егер катушка тогы $i = I_m \sin \omega t$ синусоидалық болса, онда жылжымалы бөліктің тепе-теңдігі, айналу моменті мен серіппенің кері әсер етуші моментінің мәндерінің периодтағы орташасына тең болуы кезінде орындалады:

$$M_{aин} = \frac{I_m^2}{2\pi} \frac{dL(\alpha)}{d\alpha} \int_0^\pi \sin^2 \omega t d\omega t = \frac{I^2}{2} \frac{dL(\alpha)}{d\alpha} = M_{np} = k_{np} \alpha \quad (5.6)$$

мұндағы I — токтың әрекеттегі мәні.

Демек, өлшенетін токтың әсерлік мәні

$$I = \sqrt{\frac{2k_{np}}{dL(\alpha)/d\alpha}} \sqrt{\alpha} = c_I(\alpha) \sqrt{\alpha} \quad (5.7)$$

тең, немесе

$$\alpha = \frac{1}{c_I^2(\alpha)} I^2.$$

$i = I$ тұрақты токты өлшеу кезінде электромагнитті механизмді осыған ұқсас тәуелділікке ие.

Өлшенетін токқа ие катушканың магниттік өрісі салыстырмалы түрде өте әлсіз, себебі оның магниттік сызықтары жолдарының көп бөлігін ауада өткізеді. Осы себепті электромагнитті жүйенің өлшеу механизмінің сезімталдығы өте аз және оны сыртқы магнит өрісіндерден қорғап тұру қажет немесе астатикалық етіп жасау керек.

Астатикалық өлшеу механизмінде айналу моментінің түзілуіне бірдей мөлшерде қатысатын катушкалар саны екі еселенеді, ал олардың өзіндік магнит өрісіндері қарама-қарсы бағытқа ие болады.

Сыртқы біртекті магнит өрісі бір катушканың магнит өрісін күшейте отырып, өлшеу механизмінің ортақ айналу моментін өзгертпестен екінші катушканың магнит өрісін сондай дәрежеде әлсіретеді.

Электромагнитті жүйенің көрсеткіш құрылғыларының негізгі артықшылықтары — құрылымдарының қарапайымдылығы, жылжымайтын катушканың ток бойынша жүктемелерге орнықтылығы, ток қисығының пішінінен көрсеткіштердің тәуелсіздігі.

Негізгі кемшіліктері — жылжымалы біліктің геометриялық пішінін тандап алу арқылы жартылай жөндеуге болатын, меженің біркелкі еместігі, магнитті гистерезис пен өлшеу механизмінің ферромагнитті элементтерінде энергия жоғалтуы салдарынан, төмен класты дәлдік (1,5-тен жоғары емес).

Электродинамикалық жүйе. Электродинамикалық жүйенің өлшеу механизмінде айналу моментін тудыру үшін өлшенетін токқа ие екі катушканың өзара әсерлесуі қолданылады.

Электродинамикалық механизм жылжымайтын 1 және жылжымалы 2 катушкалардан тұрады (5.9-сурет). Кері әсер етуші моментті серіппе 3 тудырады.

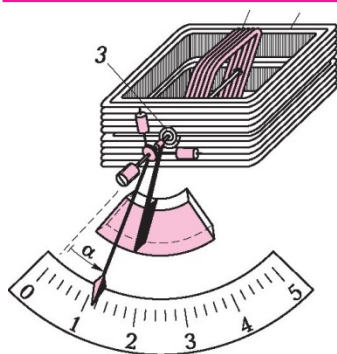
Электродинамикалық механизмнің айналу моменті электромагниттік механизмінің айналу моменті секілді анықталады

$$M_{aин} = \frac{dW_{\text{м}}}{d\alpha} = i_1 i_2 \frac{dM(\alpha)}{d\alpha}$$

мұндағы магнитті өріс өрнегіндегі катушканың α бұрылу бұрышына тек токтар мен жылжымайтын және жылжыйтын катушканың өзара индуктивтілігі - $M(\alpha)i_1 i_2; i_1, i_2$ және $M(\alpha)$ құраушылары ғана тәуелді болады.

Өлшеу механизмінде екі катушканың бар болуы оларды түрлі электрлік тармақтарды өлшеу үшін құрылғыларда қолдануға мүмкіндік береді.

Синусоидалық токтың i әрекеттегі мәнін өлшеу кезінде жылжымалы жәе жылжымайтын катушка параллелді жалғанады (5.10-сурет, a , мұндағы $i_1 = k_1 i, i_2 = k_2 i$ - катушкалар тогы). (5.5) және (5.8) тәуелділіктерін салыстыра отырып, және (5.6)-ға ұқсас түрлендіруді орындап, өлшенетін токтың әсерлік мәнін аламыз:



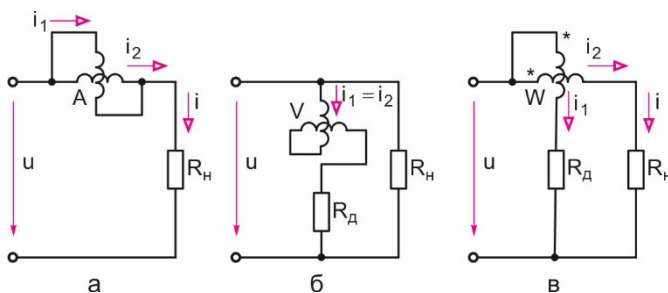
5.9-сурет

$$I = \sqrt{\frac{k_1 k_2 k_{np}}{dM(\alpha)/d\alpha}} \sqrt{\alpha} = c_I(\alpha) \sqrt{\alpha}$$

немесе

$$\alpha = \frac{1}{c_I^2(\alpha)} I^2$$

Өлшеу механизмдері тізбегіндегі түрлі жүйелер құрылғыларының өлшеу шектерін және функционалдық мүмкіндіктерін кеңейту үшін резистор-



5.10-сурет

ларды қосады. Өлшеу механизмінің катушкасымен бірге тізбектей жалғанатын резистор, *қосымша резистор* деп аталады. Өлшеу механизмінің немесе катушка мен қосымша резистордан тұратын тармақ катушкасымен бірге параллелді жалғанатын резистор, *шунт* деп аталады.

5.10, б және в суреттеріндегі схема бойынша электродинамикалық механизмді катушкаларды қосу, синусоидалық ток тізбегіндегі кернеу мен қуаттың әрекеттегі мәндерін өлшеуге мүмкіндік береді

$$U = (R_{\text{кос}} + R_K) \sqrt{\frac{k_{np}}{dM(\alpha)/d\alpha}} \sqrt{\alpha} = c_U(\alpha) \sqrt{\alpha}$$

$$P = UI \cos \varphi = \frac{(R_{\text{кос}} + R_{K1}) k_{np}}{dM(\alpha)/d\alpha} \alpha = c_P(\alpha) \alpha$$

немесе

$$\alpha = \frac{1}{c_U^2(\alpha)} U^2; \quad \alpha = \frac{1}{c_P(\alpha)} P,$$

мұндағы $R_{\text{кос}}, R_{K1}, R_K$ — қосымша резистордың, ваттметр кернеуі тізбегіндегі катушканың және вольтметр тізбегіне тізбектей жалғанған екі катушкалардың кедергілері; φ — кернеу мен ток арасындағы фазалардың ығысу бұрышы.

Амперметр мен вольтметрге қарағанда ваттметрдің жылжымалы және жылжымайтын катушкасының бірі – ток тізбегіне, екіншісі – кернеу тізбегіне қосылатындығын айта кетейік. Сондықтан да ваттметр көрсеткішінің ауытқуының бағыты, яғни өлшенетін қуаттың таңбасы, жұлдызшамен белгіленген катушка шықпаларын, ток пен кернеудің таңдап алынған оң бағыттарына ие тізбекке жалғау тәсіліне байланысты (4.14-бөлімшені қараңыз).

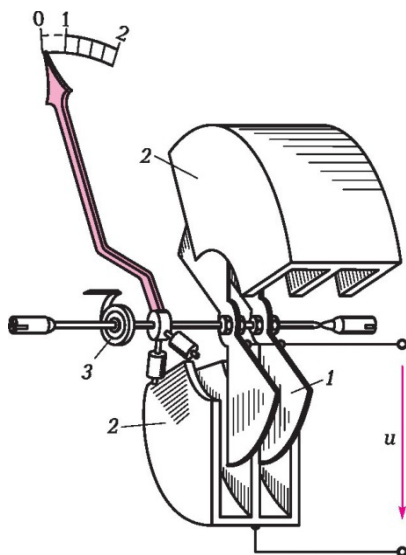
Тұрақты ток тізбегінде аттас шамаларды өлшеу кезінде электродинамикалық механизмдер де осыған ұқсас тәуелділіктерге ие.

Электродинамикалық жүйенің көрсеткіш құрылғыларының негізгі артықшылықтары – жоғары дәлдік класы (0,1-ге дейінгі), көрсеткіштердің өлшенетін ток немесе кернеу қиысығының пішініне тәуелсіздігі.

Негізгі кемшіліктері – катушкалардың магнит өрісінің әлсіз электрмеханикалық әсері салдарынан төмен сезімталдық, ток пен кернеудің әсерлік мәндерін өлшеу кезінде меженің біркелкі болмауы, құрылысының күрделілігі.

Электростатикалық жүйе. Электростатикалық жүйенің өлшеу механизмдерінде, пластиналар арасына салынған өлшенетін кернеудің әсерінен конденсатор пластиналары арасында түзілетін, зарядтардың өзара әсерлесуінің электростатикалық күштері есебінен айналу моменті туындайды.

Электростатикалық механизмдегі (5.11-сурет) айналу моменті, олардың арасындағы электростатикалық өріс энергиясы (1.15) мүмкіндігінше үлкен болатындай, жылжымалы бөлігін 1 оқшауланған жылжымайтын бөлігіне 2 қатысты бұруға тырысады.



5.11-сурет

Жалпы жағдайда айналу моменті $W_{эл} = C(\alpha)u^2 / 2$ (3.23) электр өрісі энергиясының α орын ауыстыру координатасы бойынша

$$M_{айн} = \frac{dW_{эл}}{d\alpha} = \frac{u^2}{2} \frac{dC(\alpha)}{d\alpha} \quad (5.5)$$

туындысына тең, мұндағы $C(\alpha)$ мен u – жылжымалы және жылжымайтын бөлігі арасындағы электрлік сыйымдылық пен олардың арасындағы кернеу.

Осы өрнектерді электрмагниттік механизмдегі айналу моментінің өрнегімен (5.5) салыстыра отырып, u мен i қатысты олар ұқсас екендігін көреміз.

Демек, (5.7)-ге ұқсас серіппенің 3 кері әсер етуші моментін ескере отырып, электростатикалық механизм $u = U_m \sin \omega t$ синусоидалық кернеудің әсерлік мәнін және $u = U$ тұрақты кернеуді өлшеуге мүмкіндік береді

$$U = \sqrt{\frac{2k_{np}}{dC(\alpha)/d\alpha}} \sqrt{\alpha} = c_U(\alpha) \sqrt{\alpha}$$

немесе

$$\alpha = \frac{1}{c_U^2(\alpha)} U^2$$

Электростатикалық жүйенің көрсеткіш аспаптардың негізгі артықшылығы – энергияны аз тұтынуы, жиіліктің кең диапазоны (10МГц-ке дейін), көрсеткіштердің кернеу қиысығының пішіне тәуелсіздігі.

Негізгі кемшіліктері — төмен сезімталдық, меженің біркелкі еместігі. Мұндай аспаптарды жоғары кернеуді өлшеу үшін қолданады.

Индукциялық жүйе. Индукциялық жүйенің өлшеу механизмдерінде айналмалы магнит өрісінің электрмеханикалық әсері қолданылады.

Индукциялық өлшеу механизмдерінде айналу моменті, синусоидалық токтың екі электромагнитінің қорытқы магнит өрісінің жылжымалы бөлікке – осы өріс құйынды токтарды қоздыратын алюминий дискке – әсері арқылы туындайды.

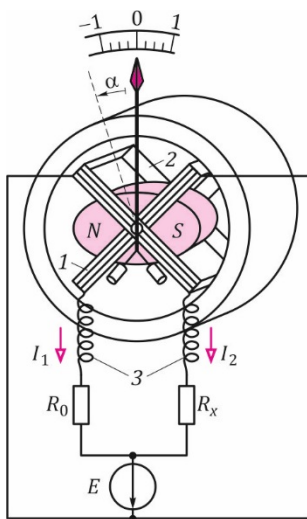
Айналу моментінің мәні электромагниттегі ток мәніне және олардың арасындағы фазалық ығысу бұрышына тәуелді. Индукциялық өлшеу механизмінің бұл қасиеті құрылғыларда синусоидалық ток тізбегіндегі (5.7-бөлімшені қараңыз) қуат пен энергияны өлшеу үшін қолданылады.

Логометр деп жылжымалы бөлігінің орналасуы екі токтың мәндерінің қатынасына тәуелді болатын көрсеткіш құрылғыларды атайды. Оларды электрлік (кедергі, индуктивтілік, фазалардың ығысу бұрышы) және электрлік емес (сұйықтық деңгейі, ылғалдылық және т.с.с.) шамаларды өлшеу үшін қолданады. 5.5-бөлімде қарастырылған кез-келген өлшеу жүйелерінің серіппе туындататын кері әсер етуші моментінің жоқ болуы секілді өзін тән ерекшеліктері бар логометрлік механизмін тұрғызуға болады.

Кедергіні өлшеу үшін магнитті электрлік логометрді қарастырайық. Тұрақты магниттің біртекті емес өрісінде (5.12-сурет) бір-біріне қатысты қозғалмайтын, тілшелі көрсеткіші бар ортақ оське бекітілген 1 және 2 екі катушкалары орналастырылған. Катушканың майысқақ ток өткізгіштері 3 арқылы ортақ көзге жағанады. Катушкаға әсер ететін айналу моменттері олардың біртекті емес магнит өрісінде орналасуына, яғни α бұрышы мен

$$I_1 = \frac{E}{R_0} \text{ және } I_2 = \frac{E}{R_x} \quad (5.9)$$

токтарына тәуелді, мұндағы R_0 және R_x – катушка орамдарының белгілі және белгісіз кедергілері.



5.12-сурет

I_1 және I_2 токтарының бағытын, катушкалардың айналу моменттері бір-біріне қарама-қарсы бағытталған болатындай етіп таңдап алады. (5.3)-те қабылданған белгілеулерді қолдана отырып, жылжымалы бөліктің

$$\begin{aligned} M_{\text{айн1}} &= B_1(\alpha) w_1 I_1 l_1 = \\ &= M_{\text{айн2}} = B_2(\alpha) w_2 I_2 l_2 \end{aligned} \quad (5.10)$$

тепе-теңдік шартын аламыз, мұндағы $B_1(\alpha)$ мен $B_2(\alpha)$ – өрістің магниттік индукциясының α бұрышының мәніне тәуелділігі. (5.10) қатынасы, жылжымалы бөліктің бұрылу бұрышы тек катушкадағы токтардың мәндерінің қатынасына ғана тәуелді екендігін көрсетеді.

(5.9)-дан I_1 және I_2 токтарының өрнегін

(5.10)-ға қойып, өлшенетін кедергі мен жылжымалы бөліктің бұрылу бұрышының мәндері тәуелділікті аламыз.

Жылжымалы бөліктің бұрылу бұрышының ЭҚК мәніне тәуелсіздігі омметрлерде және мегаомметрлерді (10^{14} Ом дейінгі) қолданылады. Соңғыларында электрлік оқшаулауды басқару үшін қол жетегіне ие генераторлар түріндегі (8.9-бөлімшені қараңыз) ЭҚК көздерін (2500 В дейінгі) қолданады.

Логометрлердің негізгі артықшылықтары – көрсетулердің көздегі кернеу мәніне тәуелсіздігі.

Негізгі кемшіліктері – меже біркелкі еместігі, төмен дәлдік класы (1,5-тен аспайды).

5.6. СИНУСОИДАЛЫҚ ТОКТАҒЫ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІНДЕГІ ЭНЕРГИЯНЫ ӨЛШЕУ

$Z_{\kappa c}$ жүктеме кедергісіне ие қабылдағыш тұтынатын активті энергияны өлшеу үшін электр тізбегіне жалғанған, бір фазалық индукциялық есептегіші құралының схемасы 5.13-суретте көрсетілген.

Есептегіштің жылжымалы бөлігі, қабылдағыштың активті қуатына пропорционалды айналу моменті

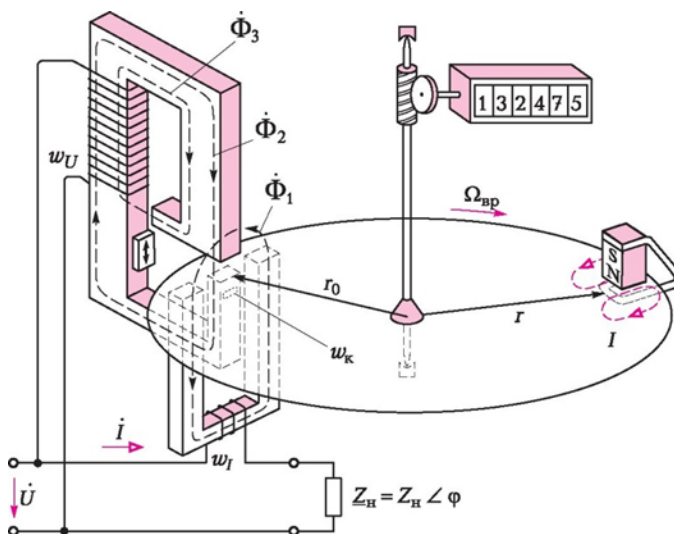
$$M_{a\dot{u}n} = k_{a\dot{u}n} P \quad (5.11)$$

және тежеуіш моменті қарама-қарсы бағыттарда бір уақытта әсер ететін, еркін қозғалатын алюминий дискіден тұрады. Айналу және тежеу моментінің теңдігі кезінде диск тұрақты жиілікпен айналады.

Тежеу моментін тудыру үшін магнитті индукциялық принцип қолданылады. Тұрақты магниттің өрісі айналмалы дискіде ЭҚК индукциялайды, оның мәні тұрақты магниттің Φ ағынына және полюстар арасында орналасқан диск бөлігінің айналуының орташа шеңберлік v жылдамдығына пропорционал:

$$E = k_1 \Phi v = k_1 \Phi 2\pi n / 60 = k_2 \Phi n$$

мұндағы $n = \Omega_{a\dot{u}n} 60 / 2\pi$ — диск айналу жиілігі, айн/мин; r — полюстер арасында орналасқан диск бөлігінің орташа радиусы; $\Omega_{a\dot{u}n} = v / r$ — дискінің бұрыштық айналу жылдамдығы.



5.13-сурет

Осы ЭҚК әсерінен дискте, мәні диск материалының γ меншікті өткізгіштігіне пропорционал ток туындайды:

$$I = k_3 E \gamma.$$

Тұрақты магнит өрісінің дискідегі токпен әсерлесуі ток пен ағынға пропорционалды тежеуіш моментін тудырады:

$$M_{теж} = k_4 I \Phi$$

немесе ток пен ЭҚК арналған өрнекті қойғаннан кейін

$$M_{теж} = k_5 r \gamma \Phi^2 n = k_{теж} n \quad (5.12)$$

мұндағы k_1 — k_5 — пропорционалдық коэффициенті.

Дискінің тұрақты айналу жиілігінде тежеу және айналу моменттері тең, яғни (5.11) мен (5.12)-ден активті қуат:

$$P = k_{теж} n / k_{айн}.$$

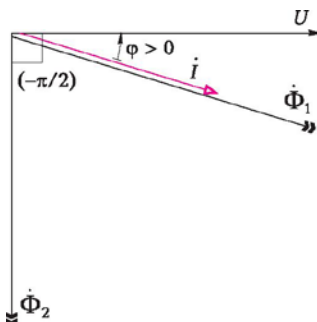
Қуаттан уақыт бойынша интегралы, $t_2 - t_1$ уақыт аралығында басқарылатын тізбекпен алынған электр энергиясына тең:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \frac{k_{теж}}{k_{айн}} \int_{t_1}^{t_2} n dt = \frac{k_{теж}}{k_{айн}} N = c_{ec} N \quad (5.13)$$

мұндағы $N = t_2 - t_1$ уақыт аралығындағы диск айналымдарының қосынды саны; c_{cc} — есептегіш тұрақтысы.

Дисктің N айналымдар санын, оның осымен бұрамдық таратқышпен байланыстырылған, санақ құрылғысы тіркейді.

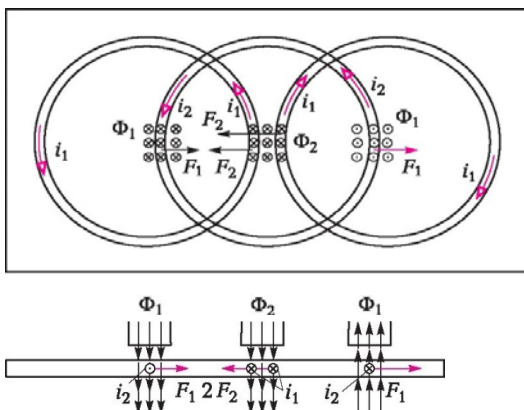
Бұрамдық таратқыштың беретін санын, санақ құрылғысы, жылжымалы бөліктің айналым санын емес, тек киловатт-сағатты көрсететіндей етіп таңдайды.



5.14-сурет

Айналу моментінің өрнегін алу үшін, U кернеу веткорын, яғни нөлдік бастапқы фазасына ие бастапқы вектор ретінде қабылдап, бастапқы есептегіштің ток пен кернеу тізбектерінің векторлық диаграммасына жүгінейік (5.14-сурет). Санғы аз w_l орамдағы $\dot{I}$ ток пен үлкен бос ауа кеңістігіне ие магниттік өткізгіштегі ол қоздыратын $\dot{\Phi}_1$ магниттік ағынының фазалары сәйкес келеді. Шағын бос ауа кеңістігіне ие магниттік өткізгіште орналасқан, орамдар саны өте көп w_v орамадағы шықпалар арасындағы U кернеуінің фазасы осы магниттік өткізгіштегі $\dot{\Phi}_2$ ағын фазасынан $\pi/2$ бұрышына өзгешеленеді.

Есептегіш кернеуінің тізбектегі w_U орамды сейілуінің ағындық ілінісі $w_U \Phi_3$ тең. Оның мәні өте үлкен және аз аралықтарда жылжымалы ферромагниттік пластинамен реттеле алады.



5.15-сурет

Жылжымайтын диск үлгісіндегі процестерді қарастырайық (5.15-сурет). Синусоидалық магнит ағындары

$$\Phi_1 = \Phi_{m1} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$\text{және } \Phi_2 = \Phi_{m2} \sin(\omega t - \pi / 2) \quad (5.14)$$

резистивті жүктемеге ие трансформатордың екінші ретті орамы секілді дискіде құйынды токтарды қоздырады

$$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \pi / 2 - \varphi) \text{ және } i_2 = I_{m2} \sin \omega t$$

және оларға әсер ететін күштер

$$F_1 = k_1 \Phi_1 i_2 \text{ және } F_2 = k_2 \Phi_2 i_1$$

мұндағы k_1 мен k_2 — магниттік жүйенің геометриялық параметрлерін ескеретін тұрақты коэффициенттері.

Осылайша, дискіге әсер ететін айналу моментінің орташа мәнін анықтауға болады

$$M_{\text{айн}} = \frac{2r_0}{T} \int_0^T (F_1 - F_2) dt = k_{\text{айн}} UI \cos \varphi$$

мұндағы r_0 — жүктеме радиусы; $k_{\text{айн}}$ — тұрақты коэффициент, және (5.14) қатынасы мен Φ_1 магниттік ағынның және I тізбек тогының, Φ_2 магниттік ағыны мен U тізбек керенуінің әсерлік мәндерінің арасындағы пропорционалды тәуелділіктер ескерілген.

Есептегіш тогы мен кернеуінің тізбегінің шықпалары ваттметрлерге қабылданған белгісі болуы керек (4.14-бөлімшені қараңыз).

5.8.

КӨПІРЛІК ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІ

Резисторлар, индуктивтілік катушкалары мен конденсатор параметрлерін өлшеу үшін көпірлік әдістерді қолданады. Индуктивтілік катушкалары мен конденсаторлардың параметрлерін өлшеу үшін синусоидалық ток көпірлері қажет. Резистор кедергілерінің мәнін өлшеу үшін тұрақты ток көпірлері қолданылады.

Тұрақты ток көпірі. 5.16-суретте *тұрақты токтың төрт иінді схемасы* келтірілген. Көпірдің бір диагоналіне тұрақты Е ЭҚК-і, екіншісіне K_1 және K_2 кілттерінің көмегімен — G гальванометр жалғанған.

b және d түйіндері арасындағы көпір иініне R_x белгісіз кедергілі резистор қосылған. Көпірдің басқа иіндерінде реттелетін резисторлар — 0,0005-ке дейінгі дәлдік класына ие манганин сымынан (2.1-кестені қараңыз) жасалынған бифилярлы

орамды кедергілердің үлгілік катушкалары жиынынан тұратын, үлгілік кедергілер қорабы тұр.

Көпір тепе-тендігінде b мен c нүктелерінің потенциалдары бірдей ($V_b = V_c$), яғни.

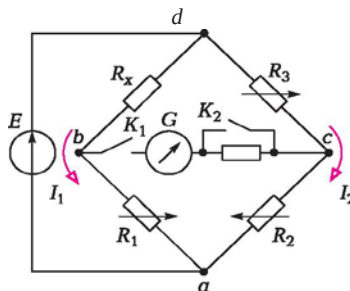
$$R_1 I_1 = R_2 I_2; R_x I_1 = R_3 I_2$$

Бірінші теңдікті мүшелеп жіктеп, өлшенетін кедергінің

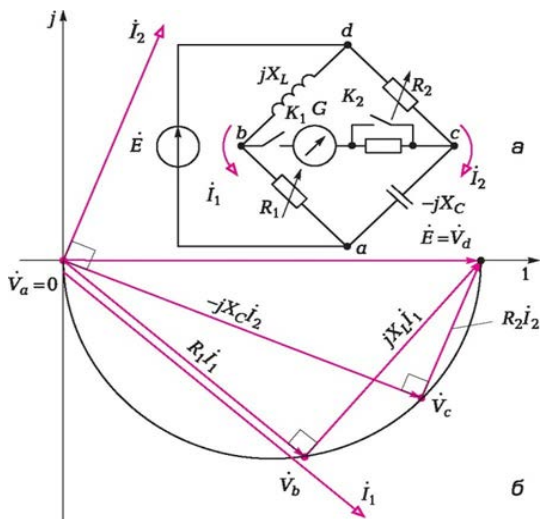
$$R_x = R_1 R_3 / R_2 \quad (5.15)$$

мәнін табамыз.

Синусоидальқ ток көпірі. Синусоидальқ токтың төрт иінді көпірлерінің схемасы әртүрлі. 5.17, a және b суреттерінде синусоидальқ токтың төрт иінді көпірлерінің схемасы және гальванометрдің ажыратылған тізбегі кезіндегі оның векторлық диаграммасы келтірілген. Көпірдің оң (4.24, b суретін қараңыз) және сол (4.23, b суретін қараңыз) тармақтардың кернеулер үшбұрыштары тікбұрышты болғандықтан b және c нүктелерінің кешенді потенциалдарын сипаттайтын векторлардың ұштары, $\dot{E} = E$ ЭҚК-не (ЭҚК-нің бастапқы фазасы нөлдік деп алынған) тең



5.16-сурет



5.17-сурет

жарты шеңбердің диаметрінде орналасқан. Көпірдің реттелетін элементтерінің параметрлерін өзгерте отырып, V_b және V_c потенциалдарының мәндерін өзгертуге болады. Көпірдің тепе-теңдігі ($\dot{V}_b = \dot{V}_c$) гальванометрмен тіркеледі.

Көпір тепе-теңдігі кезінде кернеулер үшбұрышының теңдігінен

$$R_1 \dot{I}_1 = -jX_C \dot{I}_2; jX_L \dot{I}_1 = R_2 \dot{I}_2$$

екендігі шығады.

Бір теңдеуді екіншісіне мүшелеп бөліп, және де $X_L = \omega L$ және $X_C = 1/\omega C$ екендігін ескере отырып,

$$L/R_1 = R_2 C \quad (5.16)$$

аламыз. (5.16)-шы өрнек, егер көпірдің басқа элементтерінің параметрлері белгілі және катушка мен конденсатордағы шығындарды елемеге болатын болса, синусоидалық ток көпірі индуктивті және сыйымдылық элементтерінің параметрлерін өлшеуге мүмкіндік беретіндігін көрсетеді.

0,0001 — 1 Гн аралығындағы үлгілік индуктивтілік катушкалары, мыс сымдары оралған орамаға ие магнитті емес материалдан (көбінесе фарфордан) жасалынған қаңқадан тұрады.

Айнымалы индуктивтіліктің үлгілік өлшемдері ретінде, бірі жылжымалы болып табылатын, тізбектей жалғанған екі катушкадан тұратын *вариометрлер* қолданылады.

Тұрақты (0,01 мкФ-ге дейін) және айнымалы (0,001 мкФ-ге дейін) сыйымдылықтардың үлгілік өлшемдерін ауа конденсаторлары, ал үлкен сыйымдылықты үлгілік өлшемдерін — диэлектригі ретінде слюда қолданылатын конденсаторлардан дайындайды.

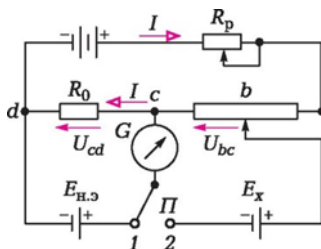
Үлгілік индуктивтілік катушкалары мен түрлі номиналды мәнге ие конденсаторлардың жиынтығы индуктивтілік және сыйымдылық қораптарын түзеді.

5.9.

ӨТЕМДЕУШІ ӨЛШЕУ ӘДІСІ

Өтемдеуші әдіс тұрақты ток тізбектеріндегі кіші ЭҚК мен кернеулерін өлшеу, мысалы термopapa ЭҚК, және электр өлшеуіш аспаптарды градуcтау үшін пайдаланылады.

Кіші E_x ЭҚК-н өтемдеуші әдіспен өлшеуге арналған тізбектің принциптік схемасы 5.18-суретте көрсетілген, мұндағы $E_{кз}$ — күкірт



5.18-сурет

қышқылды кадмийдің қаныққан немесе қанықпаған ерітіндісінен тұратын гальваникалық элемент болып табылатын, *қалыпты элементтің* ЭҚК-і (2.10-суретті қараңыз) 20 °С кезінде 0,0005 (0,002) жоғары дәлдік класына ие қаныққан (қанықпаған) қалыпты элементтердің ЭҚК-нің 1 мкА кем емес ток кезіндегі мәні 1,0185—1,0187 В (1,0188 — 1,0196 В) аралығында болады. Аз дәлдік кезінде қанықпаған элементтер аз ішкі кедергісіне (300 Ом-ға жуық) және ЭҚК-нің температураға аз тәуелділігіне ие.

Алдымен жұмыс тогының калибрленуі жүргізіледі. Ол үшін *П* ауыстырып-қосқышын 1 күйіне келтіреміз және R_p реостат қозғалтқышының орынын ауыстыру арқылы *G* гальванометрде ток болмауына, яғни

$$U_{cd} = R_0 I = E_{н.э.}, \quad (5.17)$$

теңдігіне қол жеткізеді, мұндағы R_0 — үлгілік резистор кедергісі.

Содан кейін E_x ЭҚК-і өлшенеді. Ол үшін *П* ауыстырып-қосқышын 2 күйіне келтіріліп, үлгілік реостаттың қозғалтқышын жылжыту арқылы гальванометрде ток болмауына, яғни

$$U_{bc} = R_{bc} I = E_x$$

теңдігіне тағы да қол жеткізеді, немесе (5.17)-ні ескерсек,

$$E_x = \frac{R_{bc}}{R_0} E_{н.э.}$$

мұндағы R_{bc} — үлгілік реостаттың *b*—*c* бөлігіндегі кедергісі.

Өтемдеуші өлшеу әдісін іске асырушы құрылғылар потенциометрлер деп аталады.

Патонциометрлердің негізгі артықшылықтары – өлшеу нысанынан энергияның іріктелуінің жоқ болуы және жоғары дәлдік класы (0,001-ге дейін).

Негізгі кемшілігі — төмен қуатты тұрақты ток тізбектерінде ғана өлшеу жүргізу.

Электрлік емес шамаларды өлшеуге арналған электрлік құрылғылар екі негізгі бөліктен: электрлік емес шаманың мәндерін электрлік шаманың пропорционал мәндеріне өлшеуіш түрлендіргіштерден (датчиктерден) және электр шамалары мәндерін өлшеу құралдарынан тұрады. Параметрлік және генераторлық өлшеуіш түрлендіргіштерге бөледі.

Параметрлік өлшеуіш түрлендіргіштер. Мұндай құрылғылар өлшенетін электрлік емес шамалардың мәндерін электр тізбегінің бір пассивті (резистивті, индуктивті, сыйымдылық) элементтерінің біреуінің параметрінің мәндеріне түрлендіреді. Олардың жұмыс атқаруы үшін қосымша электр энергиясының көзі қажет.

Реостатты түрлендіргіштерде, басқарылатын нысанның координатына тәуелді жылжымалы байланыстың орыны арқылы ұзындығы анықталатын, өткізгіш бөлігінің кедергісінің тәуелділігі қолданылады. Оларды электрлік емес шамаларды (мысалы, қысымды) сызықтық орын ауыстыруларға түрлендіру үшін пайдаланады.

Термосезімтал түрлендіргіштерде (терморезисторларында) өткізгіш немесе жартылай өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділігі қолданылады.

Жұмыс режимі бойынша қатты қызып кету және әдейі емес қыздыру түрлендіргіштері деп бөледі.

Әдейі емес қыздыру түрлендіргіштеріндегі терморезистор тогы өте аз, және оның температурасы орта температурасымен анықталады. Мұндай түрлендіргіштер температураны өлшеу үшін қолданылады.

-260-тан 1100°C-ке дейінгі температуралар кезінде платина сымынан жасалынған; -200-ден 200 °C-ке дейінгі температураларда – мыс сымынан жасалынған; -60-тан 120°C-ке дейінгі температураларда жартылай өткізгіштер негізіндегі терморезисторларды қолданады.

Қатты қызып кету түрлендіргіштерінде терморезисторды қатты қыздыру салдарынан онда ток пайда болады. Бұл түрлендіргіштерді газ ағынының қозғалыс жылдамдығын (*терманеометрлер*), газ сиретілуі дәрежесін (*вакуумметрлер*), газдық қоспалар құрамын (*газ сараптаушылар*) және т.б. өлшеу үшін қолданады.

Индуктивті түрлендіргіштерде катушкалардың индуктивтілігі немесе өзара индуктивтілігінің магниттік тізбек элементтерінің бір-

біріне қатысты орналасу координаттарына тәуелділігі пайдаланылады. Мысалы, катушка индуктивтілігінің ондағы $L(x)$ біліктің сызықтық орын ауыстыруына немесе остері ортақтастырылып орналастырылған екі катушканың өзара индуктивтілігінің олардың арасындағы $M(x)$ арақашықтыққа тәуелділігі. Түрлендіргіштің индуктивті параметрлерін өлшеу үшін синусоидалық ток көпірлерін қолданады (5.8-бөл. қараңыз).

Сыйымдылық түрлендіргіштерінде конденсатордың C сыйымдылығының (1.11) оның жақтауларының $C = f_1(x)$ бір-біріне қатысты орналасуына және олардың арасындағы $C = f_2(\epsilon_r)$ диэлектриктің ϵ_r салыстырмалы диэлектрлік өткізгіштігіне тәуелділігі. $C = f_1(x)$ тәуелділігі сызықтық және бұрыштық орын ауытсыруларды өлшеу үшін, ал $C = f_2(\epsilon_r)$ тәуелділігі – зат ылғалдығын, диэлектриктен жасалынған бұйым қалыңдығын және т.б. өлшеу үшін қолданылады. Өлшеуіш түрлендіргіштердің сыйымдылығын өлшеу үшін синусоидалық ток көпірлері пайдаланылады (5.8-бөлімшені қараңыз).

Тензометрлік түрлендіргіштерде өткізгіш (кейбір металлдардан жасалынған) пен жартылай өткізгіштердің, мысалы бүгілу немесе бұрау кезінде туындайтын механикалық кернеулерге тәуелділігі пайдаланылады.

Генераторлық өлшеуіш түрлендіргіштер. Мұндай құпрылғылар өлшенетін электрлік емес шаманың мәндерін ЭҚК-нің немесе электр зарядының пропорционалды мәндеріне түрлендіреді. Олар жұмыс жасау үшін электр энергиясы көздерін талап етпейді.

Термоэлектрлік түрлендіргіштер термопараның термоэлектрлік әсеріне негізделген. Термопара, бір ұштарында дәнекерленген түрлі тектес металлдардан жасалынған екі электродтан тұрады. Егер термопарның дәнекерленген ұштарын жоғары температуралы ортаға орналастырсақ, онда термопараның бос (суық) ұштарының арасында термоЭҚК пайда болады. Егер термопараның суық ұштарының температурасы ұдайы ұсталынып тұрса, онда оның мәні орта температурасына тәуелді. Мысал ретінде кеңінен таралған, хромель (90% Ni + 10% Gr) — копель (56% Cu + 44% Ni) материалдары негізіндегі термопараларды келтірейік: өлшенетін температуралардың жоғарғы шегі 600°C, 100°C дәнекерлену және 0 °C бос ұштарының температураларындағы термоЭҚК мәні 6,9 мВ .

Индукциялық түрлендіргіштер $e = -d\psi / dt$ (3.18) электромагниттік заңына негізделген. Оларды сызықтық $v(t)$ жылдамдықтары мен бұрыштық $\Omega(t)$ орын ауыстыруларды өлшеу үшін қолданады. Егер бұл жағдайда, түрлендіргіштің $e(t)$ ЭҚК-нің

лездік мәндерін интегралдасақ және дифференциалдасақ, онда кернеудің алынған мәндері сызықтық және бұрыштық орын ауыстыруға немесе үдеуге пропорционалды болады. Индукциялық түрлендіргіштер бұрыштық жылдамдықты өлшеуге арналған (*тахометрлерде*) құралдарда кең қолданысқа ие болды. Мұндай түрлендіргіштер 100 Вт-қа дейінгі қуатқа ие, тұрақты магниттерден тәуелсіз қоздырылуы орын алатын, тұрақты ток генераторынан тұрады. Генератордың ЭҚК-і зәкірдің бұрыштық жылдамдықтарына және ортақ білікпен механикалық байланыстырылған басқарылатын нысанның айналмалы бөлігіне пропорционалды.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер тұзу пьезоэлектрлік әсерді – кейбір кристаллдардың (кварц, сегнетоэлектрлік тұз және т.б.) беткі қабатында механикалық кернеулер әсерінен электрлік зарядтардың түзілуі әсерін қолдануға негізделген. Кварц, сонымен қатар барий титанатынан жасалынған поляризацияланған керамика негізіндегі түрлендіргіштер ең көп таралымға ие болды.

Пьезоэлектрлік түрлендіргіштер жылдам өзгеретін электрлік емес шамалардың (діріл, айнымалы қысым және т.б.) мәндерін өлшеу үшін пайдаланады.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Қандай өлшеу әдістері мен түрлері бар?
2. Абсолюттік, салыстырмалы және келтірілген қателіктерге анықтама беріңіз.
3. Құрылғының дәлдік класы нені білдіреді?
4. Қосымша кедергілер мен шунттар қандай мақсатта қолданылады?
5. Көпірлік өлшеу әдісінің негізгі қолдану саласы қандай?
6. Өтемдеуші өлшеу әдісінің негізгі қолдану саласы қандай?

ӨЗІНДІК ШЫҒАРУҒА АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕР

1. 0,1 дәлдік класына ие амперметрдің өлшейтін тогының номиналды мәні $I_{ном}=5A$ болғандағы ΔI абсолюттік қателігі неге тең?
Жауабы: 5 мА.
2. Абсолюттік қателігі $\Delta U = \pm 10 мВ$ аспайтын 15 В тұрақты кернеуді өлшеу қажет. Магнитті электрлік вольтметрдің өлшейтін кернеуінің номиналды мәні $U_{ном}=20V$ болғандағы, қажетті дәлдік класын таңдаңыз.
Жауабы: 0,05-тен төмен емес.