

Ток күші мен кернеуді өлшеу. Тұрақты және айнымалы ток тізбектеріндегі қуатты өлшеу Ток пен кернеуді өлшеу әдістері

Ток пен кернеуді өлшеу кең диапазонды жиілігі бар тұрақты және айнымалы ток тізбегінде жүзеге асады. Тұрақты ток тізбектерінде ең жоғары өлшеу дәлдігін алады. Айнымалы ток тізбегінде өлшеу кезінде өлшеу дәлдігі жиілікті жоғарлату арқылы төмендейді, мұнда белгісіз сигналдың әсер етуші, орта және максималды мәндерін бағалағаннан бөлек, көп жағдайда сол сигналдың түрін бақылай отырып, ток пен кернеудің лездік мәндерін білу қажет. Ток пен кернеуді таңдап алу қолданылатын амплитудалы және өлшенетін шама қисығының түрінің жиілікті диапазонымен, ал өлшеу жүретін тізбектің қуатын таңдап алу қажетті өлшеу дәлдігінің қолданатын аспабына және т.б. негізделген. Егер тұтынушы қуаттың жіберген қажетті өлшеу дәлдігі мен басқа талаптар электромеханикалық топтағы амперметрлер мен вольтметрлермен қамтамасыз етіле алса, онда, әрине, осы қарапайым тікелей есептеу әдісін кез-келген басқаға қолданылған жөн.

- **Тұрақты токты өлшеу.** Әртүрлі техника салаларында өлшеу кездестіретін тұрақты ток шамаларының диапазоны аса кең: 10^{-17} А токтан ондаған және жүздеген мың амперге дейін. Сондықтан, әрине, олардың өлшеу құралдары мен әдістері әртүрлі.
- $10^{-12} \div 10^{-6}$ А нүктелерін сезімталдығы жоғары магниттіэлектрлі айналы гальвонометрлер мен гальвонометрлі компенсаторлар арқылы тікелей өлшеуге болады.
- Компенсаторлардың басты элементтері – фотокүшейткіш пен гальвонометр.
- **Магниттіэлектрлі амперметрлермен өлшеу.** Тұрақты токты өлшеу үшін негізінен магниттіэлектрлі жүйедегі амперметрлерді қолданады, олардың өлшеу шектері аспаптың қозғалу бөлігін толық ауытқытуға қажетті токпен анықталады. Бұл ток көбінесе 20-50 мА-ден (оның максималды мәні 300 мА) аспайды. Микро- және миллиамперметрлердің өлшеу тізбектері болып механизмнің шегіғана бола алады.
- Егер өлшенетін I тогы аспаптың қозғалу бөлігін толық ауытқытуға қажетті I_{II} тогынан асып кетсе, онда аспаптың рамкасына параллель, I_{III} токтың қалған бөлігі өткізілетін шунт (резистор) қосылады (сур. 7.1). Шунттың R_{III} кедергісінің шамасын есептеу үшін төмендегі шарт орындалуы қажет

$$I_{II} R_{II} = I_{III} R_{III} = I [R_{III} R_{II} / (R_{III} + R_{II})] = \text{const}, \quad (7.1)$$

мұндағы R_{II} - аспаптың рамка тізбегінің кедергісі.

Егер

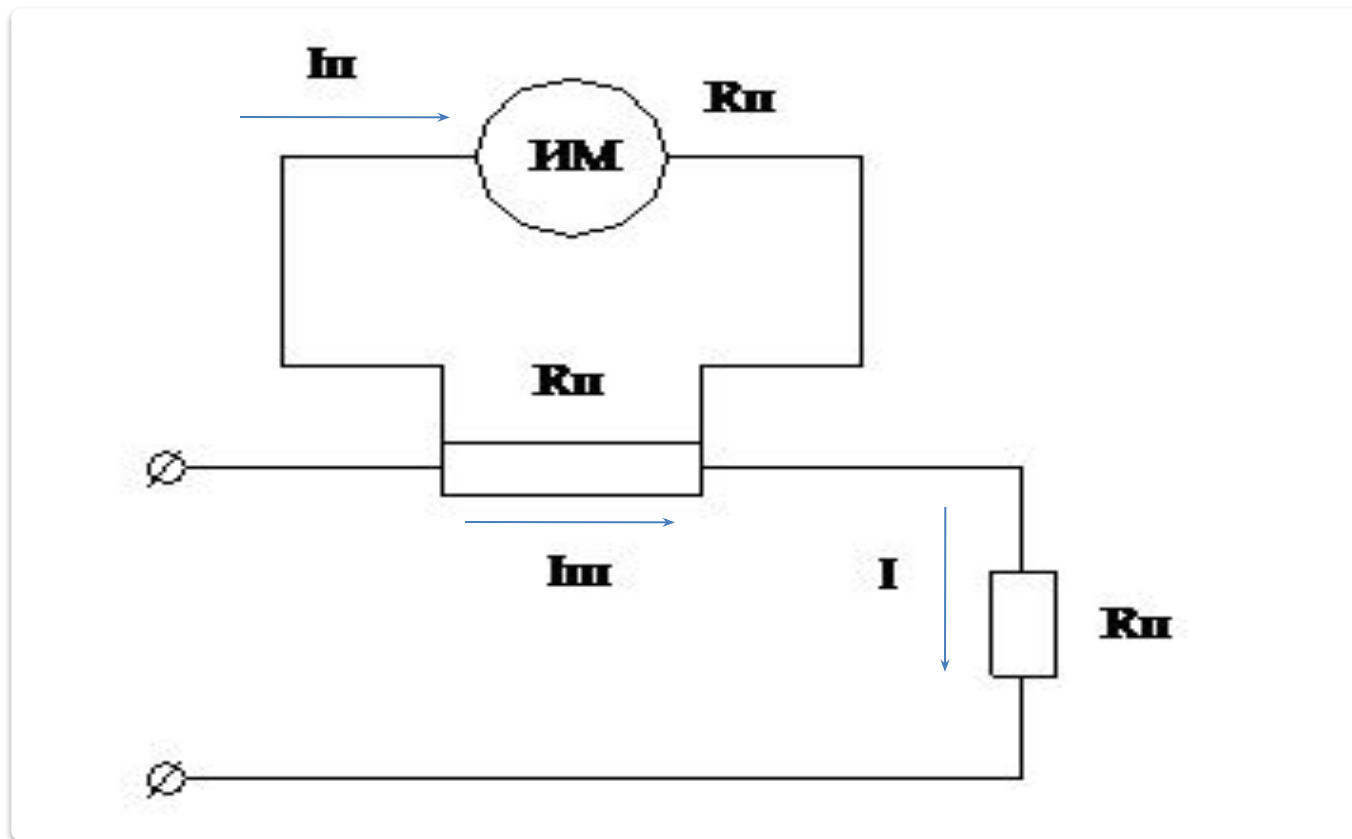
$$I/I_{II} = n,$$

Болса, мұндағы n – шунт коэффициенті, онда

$$R_{III} = R_{II} / (n - 1).$$

$$\text{Шунттың кедергісінің шамасы } 10^{-2} \div 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Сурет 7.1 Шунтты микроамперметрдің схемасы

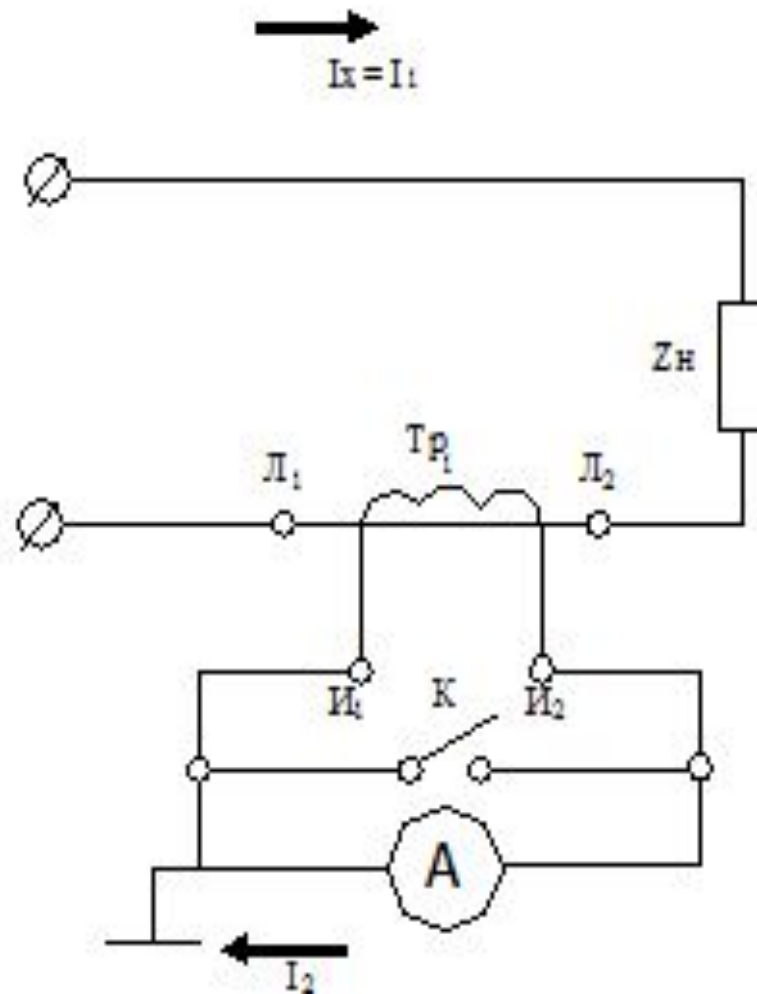


- *Тұрақты ток тізбегіндегі кернеуді өлшеу.* Тұрақты ток тізбегіндегі кернеуді өлшеу тұрақты токта жұмыс істейтін кернеуді кез-келген өлшегішпен өлшеп орыдалуы мүмкін.
- *Кернеуді магниттіэлектрлі вольтметрлермен өлшеу.* Магниттіэлектрлі вольтметрдің өлшеу тізбегі өзінше механизмнің рамкасы мен оған тізбектей қосылған қосымша кедергіден тұрады. Вольтметрдің өлшеу тізбегіндегі өлшенетін кернеуді механизмнің қоғалу бөлігін ауытқыту үшін қажет токқа түрлендіреді. U_V вольтметрдің өлшеу шегі толық ауытқу I_V тогы мен вольтметрдің R_D ішкі кедергісіне тәуелді, яғни аспап рамкасының R_{II} кедергісі мен соңғысының ішінде орналасқан қосымша R_D резисторының қосындысына тең: $R_V = R_{II} + R_D$;
- $$U_V = I_V(R_{II} + R_D) = I_V R_V. \quad (7.2)$$
- (7.2)-ден осы аралықтың қосымша кедергісін анықтайды:
- $$R_D = U_V / I_V - R_{II}. \quad (7.3)$$
- Магниттіэлектрлі вольтметрлердің толық ауытқу тогы шамамен 0,5 – 30 мА.

Айнымалы ток тізбектеріндегі ток күші мен кернеуді өлшеу құралдары

- Өнеркәсіптік жиіліктің *токтарын өлшеуді* негізінен электрмагниттіжүйе аспаптары арқылы, ал жоғары дәлдікте – электродинамикалық жүйе аспаптары арқылы орындайды.
- Электромагнитті жүйенің амперметрлерінің өлшеу шегін ұлғайту үшін шунтты пайдалану рационалды емес, өйткені ол аспаптардың жеке тұтыну энергиясын қолайсыз үлкен етіп, қымбаттығын жоғарлатады. Өлшеу шектерін токтың өлшеу трансформаторлары арқылы ұлғайтады. Ток трансформаторының алғашқы орамасы I өлшенетін ток тізбегіне тікелей қосылып, ал екінші орамасының қысқыштарына A амперметр қосылады (Сур. 7.2).
Схемада: Tr_T – токтың өлшеу трансформаторы, L_1, L_2 – бірінші орама қысқыштары, I_1, I_2 – екінші орама қысқыштары.

Сурет 7.2 Амперметрді тоқтың өлшеу трансформаторына қосу схемасы



- Өлшенетін (алғашқы) I_1 токтың мәні белгілі және амперметр тізбегіндегі I_2 токтан едәуір үлкен болады. Ток трансформаторының екінші орамасы кернеуі $1 \div 10$ В шамаға төмендейтін кедергісі аз (2 Омнан жоғары емес) өлшеу аспабына тұйықталады. Екінші орамадағы осы кернеудің төмендеуін теңестіретін индукциялы э.к.к. E_2 де аз, сәйкесінше
- Магниттелетін Tr_T күштің теңдеуінде
- $I_1 \omega_1 = (-I_2 \omega_2) + I_0 \omega_1$ (7.4)

- Әдетте шамасын қолданбайды, сонда

- $$I_1 \omega_1 \approx -I_2 \omega_2$$
 (7.5)

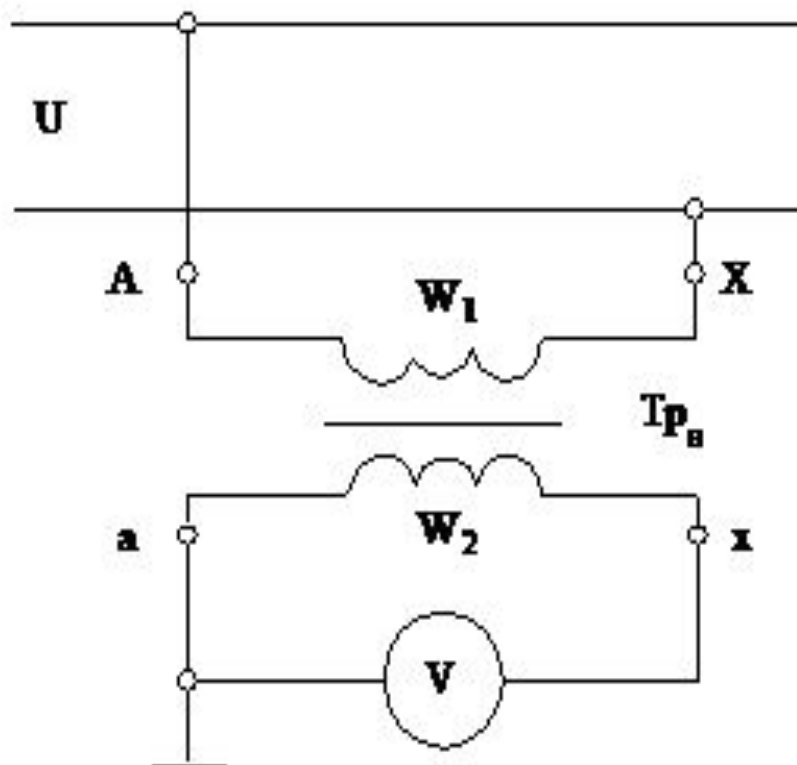
- осыдан өлшенетін токты
$$I_1 = -I_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} = -I_2 k_{I_2}$$
 (7.6)

- амперметрдің I_2 көрсеткішін k_{I_2} номиналды трансформациялау коэффициентіне тікелей көбейту арқылы анықтайды. Токтың трансформаторының екінші орамасын 5А-ге, кейбір жағдайда 1А-ге есептейді. Екінші тізбектің кедергісін жоғарлату нормалы режимді бұзып, магниттелген ампер-витков жоғарлатады.

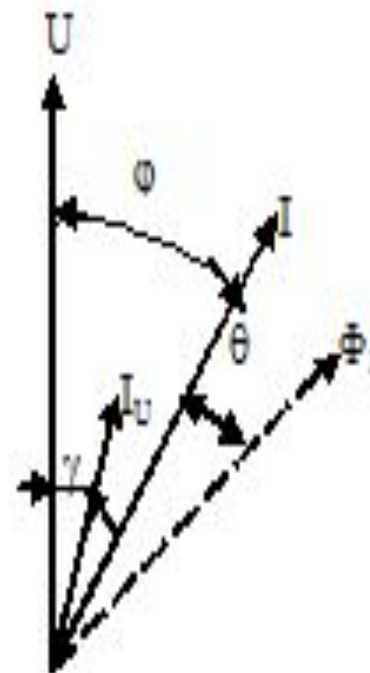
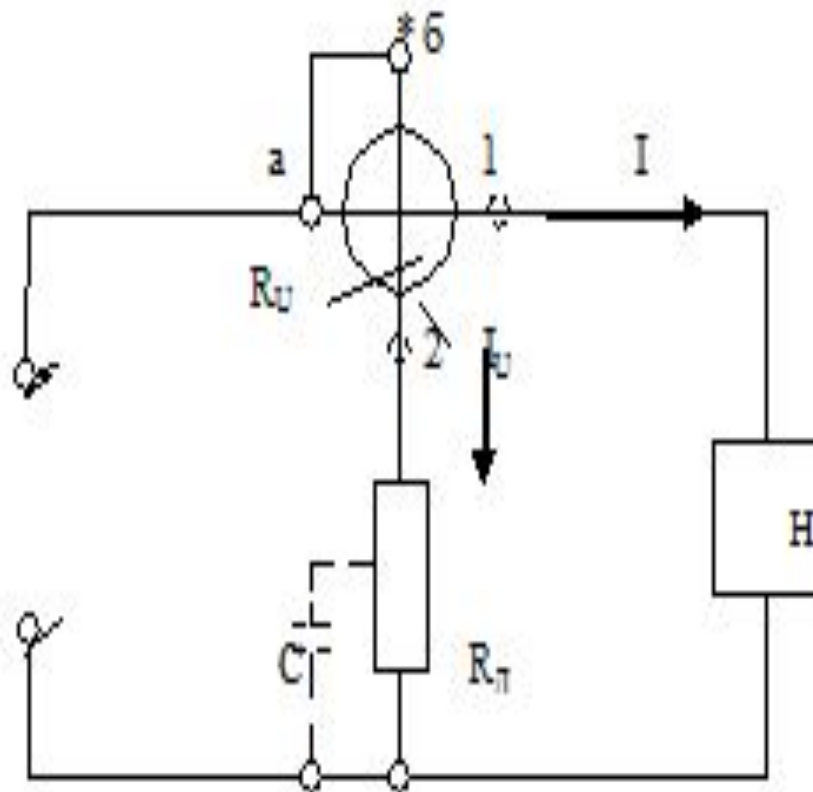
- Тұрақты және айнымалы бірфазалы токтың қуатын есептеу. Тұрақты ток қуатының $P = UI$ теңдеуінен оны амперметр және вольтметрмен жанама әдісімен өлшеуге болатынын көрініп тұр. Дегенмен бұл жағдайда екі аспап бойынша есептеу мен өлшеуді қиындататын және оның дәлдігін төмендететін есепті бірмезгілде жүргізу қажет.
- Тұрақты және бірфазалы айнымалы ток тізбектеріндегі қуатты есептеу үшін ваттметрлер деп аталатын аспаптар пайдаланылады, оларға электродинамикалық және ферродинамикалық өлшеу механизмдерін қолданады. Электродинамикалық ваттметрлер жоғары дәлділік класты (0,1-0,5) тасымалдану аспаптары түрінде шығарылады және өнеркәсіптік пен жоғары жиіліктегі (5000 Гц-ке дейінгі) тұрақты мен айнымалы токтың қуатын дәл өлшеу үшін қолданылады.
- Ферродинамикалық ваттметрлер көбінесе төменгі дәлділік класқа қатысты (1,5 – 2,5) қалқан (щит) тәріздес аспаптар түрінде шығарылады. Оларды, негізінен, өнеркәсіптік жиіліктегі айнымалы ток үшін пайдаланады; тұрақты токта олардың өзекшесінің гистеризісінен пайда болатын едәуір қателіктері болады

- Өнеркәсіптік жиілікте *кернеуді өлшеу* 50 Гц жиілікте жұмыс істейтін кез-келген вольтметрлермен орындалуы мүмкін, бірақ өнеркәсіптік жиіліктегі кернеуді негізінен электромагнитті және элетродинамикалы жүйелерде өлшейді. Вольтметрлердегі толық ауытқу тогы үлкен емес, 25 – 50 мА-ге тең; шаманың өлшеу шегін төмендеткенде ол жоғарлайды да, 15 ÷ 30 В кернеуде 100 ÷ 200 мА-ге жетеді. Қосымша кедергіні көпшекті вольтметрлерде пайдаланады, ең жоғары шегі тікелей өлшеу кезінде 600 В-ге жетеді. Вольтметрдің тұтынатын қуаты 3 ÷ 20 Вт аралықта ауытқиды. Вольтметрдің өлшеу шектері кернеудің өлшеу трансформаторлары арқылы ұлғайтылған. Кернеу трансформаторының алғашқы орамасын ω_1 виток санымен U_1 кернеуі өлшенетін тізбекке параллель қосады да, ал екінші ораманы ω_2 виток санымен U_2 кернеулі вольтметрге қосады.

Сурет 7.3 Вольтметрді кернеудің өлшеу трансформаторы арқылы қосу схемасы



Сурет 7.4 Ваттметрді қосу схемасы (а) мен векторлы диаграммасы (б)



Электронды аналогты аспаптар. Сандық өлшеу аспаптары

Электронды вольтметрлер

- **Жалпы мағлұматтар.** Электронды вольтметрлер (ЭВ) өзінше электронды түрлендіргішінің, көбінесе, магнитті-электрлі жүйенің өлшеу аспаптарымен үйлесімділігін береді. Радиоэлектронды өлшеу тәжірибелерінде ЭВ-ді кеңінен пайдалану келесі себептермен дәлелденген:
 - 1) кең амплитудалы және жиілікті диапазонды (сезімталдығы жоғары және реттелген кезінде ЭВ-нің өлшеу шектері бір микровольт-тан жүздеген вольтқа дейін болады; жиілік диапазондары ондаған герцтен жүздеген мегагерцке шейін созылып жатыр. Транзисторлы түрлендіргіші бар ЭВ-нің жиілік диапазоны $20 \text{ Гц} \div 1 \text{ МГц}$, лампалыныкі - $20 \text{ Гц} \div 500 \text{ МГц}$);
 - 2) өлшеу объектісінен аз қуатын пайдалануда, бірақ өлшейтін шығыс аспаптарын қозғалу әрекетіне келтірудің жеткілікті қуатын дамытады (осы арқылы ЭВ-ге тікелей қуаты аз тізбектерде, олардың жұмыс режимдерін бұзбай өлшейді); бұл сапаны кіріс параметрлерімен сипатталады (ЭВ-де жоғары кіріс кедергілері болады, аз жиілікте $0,5 \div 20 \text{ мОм}$ -ге, арнайы схемаларда – 10^6 мОм -ге, ал жоғары жиіліктерде – бірнеше ондаған килоОмге тең; кішкене аз сыйымдылығы $1 \div 30 \text{ пФ}$);
 - 3) жұмыс кезінде сенімді және жүктемелерді жақсы қабылдайды.

- **Тұрақты тоқтың электронды вольтметрлері.** Электромеханикалы топтың тілшелі вольтметрлерінің тұрақты тоқтың ЭВ-нан (Сур. 8.1) үлкен кіріс кедергісі мен жоғары сезімталдығымен ерекшеленеді.
- Өлшенетін кернеу өзінше резисторларда жоғары омды бөлгіш түріндегі кіріс құрылғыға Кіріс Қ кіреді. Кір.Қ шығысынан кернеу тұрақты тоқты күшейткішіне ТТК түседі.

Рис. 8.1 Тұрақты токтың электронды
вольтметрiнiң құрылымдық схемасы



ЭВ-ні келесі түрде ажыратуға болады:

- тағайындалуы бойынша, тұрақты, айнымалы және импульсті кернеудің, фазолы сезімталды; селективті; универсалды;
- өлшеу әдістері бойынша: тікелей өлшеу мен салыстырып өлшеу;
- өлшенетін кернеудің мәні бойынша: пикті (амплитудалы); әрекет мәнді; орташа мәнді;
- схема орындалған басты электронды аспаптардың түрі бойынша: лампалы, жартылай өткізгішті, интегралды;
- жиілікті диапазоны бойынша: аз жиілікті; жоғары жиілікті; аса жоғары жиілікті;
- кіріс схемасы бойынша (токтың тұрақты құраушысына қатысты): ашық және жабық кіріспен;
- өлшенетін кернеуді есептеу тәсілі бойынша: тілшелі (аналогты) және санды (дискретті).

- **Айнымалы токтың электронды вольтметрлері.** Өлшенетін айнымалы кернеуді тұрақтыға тікелей түрленуіне мүмкіндік беретін схемалар, әдетте сезімталдығы төмен және кернеудің аз шамасын өлшеуге жарамсыз болып келеді. Сондықтан өлшеу аспабы сәйкес күшейткіштен кейін қосылады. Айнымалы токтың детектор-күшейткіші (Д-У) түрдегі электронды вольтметрiнiң құрылымдық схемасы 8.2, а суретте берiлген. Өлшенетiн айнымалы U_x кернеудi кернеудiң бөлгiшiн беретiн Кiр.Қ кiрiс құрылғысы арқылы тiкелей Д детекторға бередi. Д айнымалы кернеудi Д-ның шығысынан ТТК-ға түсетiн тұрақты кернеуге түрлендiредi. ТТК-де кернеу күшейедi де, ӨА өлшеу аспабымен өлшенедi. Схемада қолданылатын детектор – көбiнесе лампалы орындаушы пикалы түрде болып келедi. Д-У схемасы бойынша орындалған вольтметрлердiң жиiлiктi диапазоны кең 20 Гц ÷ 500 МГц, бiрақ сезiмталдығы жеткiлiксiз жоғары. Сондықтан да оларды үлкен кернеулерге (150 ÷ 300 В) қатысты орындайды. Кернеуi аз кезiнде детектор диодын түзету коэффициентiн бередi, өйткенi тура және керi кедергiлер бiртектi болып қалады.
- ЭВ шкаласын терiс керi байланыстың тереңдiгi мен аспаптың шунт кедергiсiн өзгерту жолымен ТТК-ге қосады.

Сандық өлшеу аспаптары жөнінде жалпы мағлұматтар

- ***Негізгі түсініктемелері мен анықтамалары.*** Қазіргі уақытта сандық өлшеу аспаптары (СӨА) кеңінен қолданылады, оның аналогты электр өлшегіш аспаптарымен салыстырғанда, бірқатар ерекшеліктері бар. Сандық-деп көрсеткіштері сан түрінде берілетін, өлшеу ақпараттарының дискретті сигналдарын автоматты түрде өңдейтін аспаптарды айтамыз.
- Сандық аспаптарға сәйкес код – шартты сигналдардың сериясы (әдетте электрлі) немесе СӨА элементтерінің күйі немесе жағдайларының комбинациясы. Код сандық тіркеу құрылғысына, есептеу машинасына немесе басқа да автоматты құралдарға берілуі мүмкін.
- ***Сандық өлшеу аспабының жалпы құрылымдық схемасы.*** *Сандық аспаптар* – бұл әрекет принциптері өлшенетін немесе оған пропорционалды шаманы кванттауға негізделген аспаптар. Мұндай аспаптардың көрсеткіштері сан түрінде берілген. Кванттау операциясының болуы сандық аспаптарда аналогты аспаптармен салыстырғанда метрологиялық сипаттамаларды таңдап алу, талдау, жазу және мөлшерлеудің әртүрлі әдістерін тудыратын өзіне тән қасиеттердің пайда болуына әкеледі.

Сандық вольтметрлер

- Сандық өлшеу аспаптарының ішінен аналогты-сандық түрлендіру әдістерін қолданатын электромеханикалық және электронды топтардағы вольтметрлер ерекше орынды алады.
- ***Кодты-импульсті түрлендіретін электромеханикалық вольтметрлер (разрядты кодтау).*** Разрядты кодтау вольтметрлерін компенсатор мен декадалы есептелген қолмен әрекет ету көпірінде пайдаланылатын теңестіру принципінде құрылған. Декада ішіндегі үлгілі (компенсациялаушы) кернеулердің шамаларын кернеудің барлық мәндерін нақты бір комбинацияда алуға болатындай етіп (мысалы, шамалары нақты 2 : 4 : 2 : 1 қатынасында орналасқан төрт кернеу) таңдап алынады. Кернеудің таңдап алынған тізбегі *код* деп аталады. Үлгілі кернеулерді реле, кадамды іздеуші, электрқозғағыш түріндегі әртүрлі электромеханикалық коммутациялы және қайта қосқыш құрылғыларының көмегімен реттейді. Электромеханикалық вольтметрдің құрылымдық схемасы 8.4 суретте берілген.