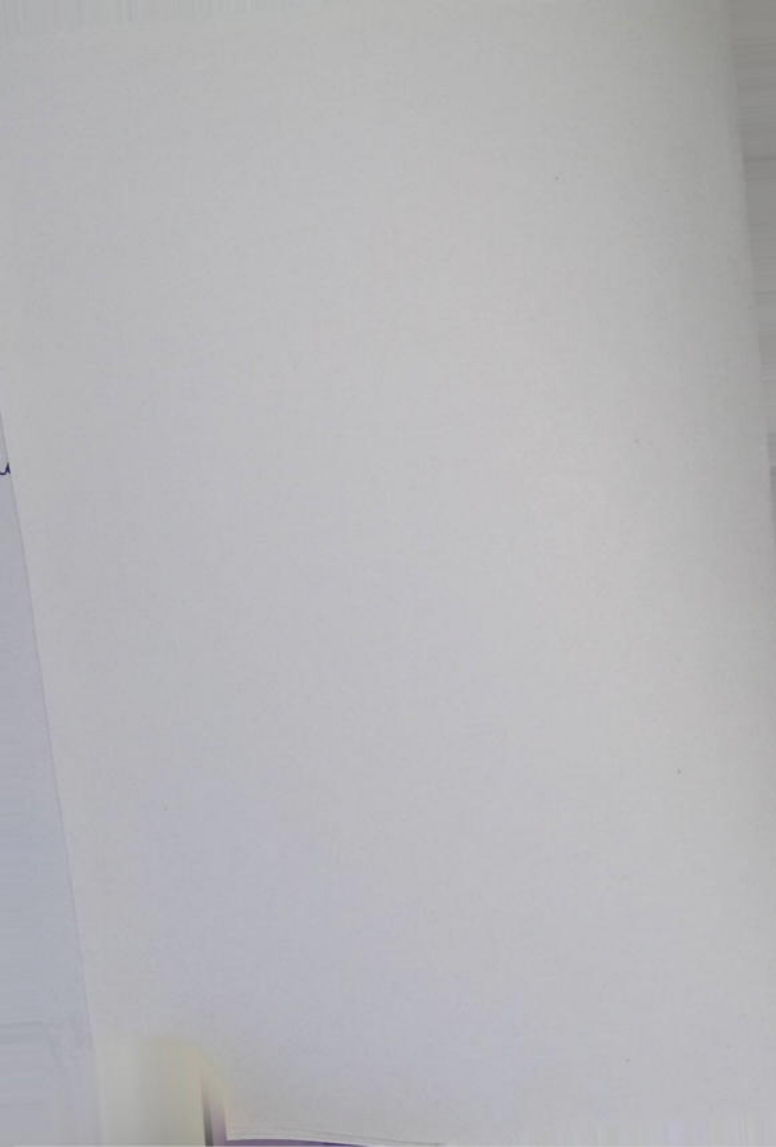


**S.F. AMIROV, M.S. YOQUBOV,  
N.G'. JABBOROV**

# ELEKTR

**O'LCHASHLAR**





629.3/07)

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM  
VAZIRLIGI

S.F. AMIROV, M.S. YOQUBOV, N.G'. JABBOROV

## ELEKTR O'LCHASHLAR

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi  
uzuridagi ilmiy – uslubiy birlashmalar faoliyatini muvofiqlashtiruvchi  
engash 5520200, 5521300, 5521400, 5521500, 5521600, 5521700,  
5521800, 5522000, 5522800, 5630200 bakalavr ta'lim yo'nalishlari  
alabalari uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etgan

TOSHKENT 2007

621.317(075)

A-60

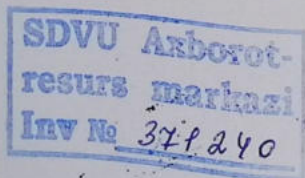
621  
A60

O'quv qo'llanmada o'lchovshunoslik va elektr o'lchashlar sohasiga oid asosiy ta'riflar, tushunchalar, o'lchash usullari va turlari hamda turli elektr o'lchash asboblari va vositalari, shu jumladan, zamonaviy mikroprotsessorli o'lchash vositalari to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan bo'lib, undagi har bir bob tegishli masalalar, mustaqil tayyorlanishga doir referat mavzulari va o'z-o'zini sinash cavollari bilan to'ldirilgan.

O'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi uzluksiz ta'lim Davlat standartlari va fan dasturiga moslashtirilgan holda yozilgan bo'lib, u energetika, elektrotexnika, avtomatika, radiotexnika va elektr aloqa sohalariga oid ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun mo'ljallangan. Undan ishlab chiqarish sohalarining mutaxassislari, muhandislar, magistrantlar va ilmiy-texnik xodimlar ham foydalanishlari mumkin.

Mas'ul muharrir: texnika fanlari nomzodi, dotsent Ahrorov N.A.

Taqrizchilar: Toshkent davlat texnika universiteti "Metrologiya, standartlash va sertifikatlash" kafedrasini mudiri t.f.d. prof. Ismatullayev P.R., shu kafedra professori t.f.d. Azimov R.K., Toshkent temir yo'l muhandisligi instituti "Elektr aloqa va radio" kafedrasini mudiri t.f.d. prof. Xoliqov A.A.



637577



## So'z boshi

So'nggi yillarda Oliy o'quv yurtlari dasturlariga jiddiy o'zgarishlar kiritildi. Oliy va o'rta maxsus o'quv yurtlarida elektrotexnika fanlarini, xususan, elektr o'lchashlar fanini o'qitish va uning uslubiyatiga yangi pedagogik texnologiyalar joriy etildi.

Ishtab chiqarishning texnik darajasi o'sishi natijasida, texnologik jara-yonlarni samarali boshqarishda yangi turdagi mashinalar, apparatlar va o'lchash vositalaridan foydalanilmoqda.

O'quv qo'llanma 5 bobdan iborat bo'lib, har bir bobda mavzuga tegishli o'lchash asboblari va vositalarining tuzilish hamda ishlash asoslari bayon etilgan.

Ushbu o'quv qo'llanmada metrologiya asoslari, elektrik, noelektrik kattaliklarni o'lchash usullari, texnik vositalarning tuzilishi, ishlash asosi, asosiy metrologik xossalari, afzalliklari hamda ularning kamchiliklarini bartaraf etish yo'llari batafsil yoritilgan.

Mazkur qo'llanmadagi ma'lumotlar hozirgi zamon metrologiyasi hamda elektr o'lchashlariga doir bo'lib, ularning texnik yechimlari xalq xo'jaligida keng qo'llanilayotgan axborot-o'lchash tizimlari va majmualaridagi elektrik va noelektrik kattaliklarni o'lchashda ishlatilayotgan birlamchi o'lchash o'zgartkichlari – datchiklarning xossalari, ularning o'ziga xos xususiyatlarini o'rganishga bag'ishlangan.

Amaliy va laboratoriya ishlari nazariy bilimlarning mazmun-mohiyatini yanada chuqurroq tushunishga hamda mustahkamlashga imkon beradi. O'z-o'zini sinash savollari, masalalar, referativ mavzular talabalarining mustaqil ta'lim olishi va fikrlash qobiliyatini oshirishga xizmat qiladi.

Talabalarni O'zbekistonda elektr o'lchashlar yo'nalishida olib borilayotgan ilmiy-tadqiqot ishlaridan ma'lum darajada xabardor qilish maqsadida mavzuga tegishli fan dasturi doirasidagi umumiy ma'lumotlardan tashqari o'zbekistonlik olimlar yaratgan o'lchash o'zgartkichlari va asboblarning konstruksiyalaridan namunalar berib borilgan. Bundan tashqari, qo'llanmaning so'nggida O'zbekistonda elektr o'lchashlar sohasini rivojlanishiga ma'lum darajada hissa qo'shgan olimlar-to'g'risida qisqacha ma'lumotlar keltirilgan. Bu ma'lumotlar talabalarimiz ongida milliy iftixor tuyg'usini shakllanishiga ko'maklashadi, degan umiddamiz.

Mualliflar o'quv qo'llanmaning dastlabki nusxasini o'qib chiqib, uning sifatini yaxshilash bo'yicha o'z fikr—mulohazalarini bildirgan Toshkent davlat texnika universiteti "Metrologiya, standartlash va sertifikatlash" kafedrasini mudiri t.f.d., professor Ismatullayev P.R.ga, shu kafedra professori, t.f.d. Azimov R.K.ga, Toshkent temir yo'l muhandislari instituti "Elektr aloqa va radio" kafedrasini mudiri, t.f.d., professor A.A. Xoliqovga va texnika fanlari nomzodi, dotsent Ahrorov

N.A.ga hamda qo'l yozma materialni kompyuterda terishda yaqindan yordam bergan aspirant N.E. Balgayevga samimiy minnatdorchiilik bildiradilar.

O'quv qo'llanma tasdiqlangan fan dasturi doirasida yozilganligi bois ko'p mavzular hajmi chegaralangan va elektr o'lchashlar fanidan davlat tilida, lotin alifbosida yozilgan dastlabki qo'llanmalardan biri bo'lganligi sababli kamchiliklardan holi emas. Soha mutaxassislari, talabalar va umuman o'quvchilar fikr—mulohazalari asosida qo'llanmaning keyingi nashrlari mukammalroq bo'ladi,— degan umiddamiz.

## **Elektr o'lashlar fanining maqsad va vazifalari**

Sanoat, transport, qishloq va suv xo'jaligi, kimyoviy texnologiya va boshqa sohalaridagi ishlab chiqarishning barcha bosqichlarida texnologik, agrokimyoviy va biologik nazorat bilan birga turli o'lash ishlari ham olib boriladi. Shuning uchun ishlab chiqarilayotgan mahsulotning sifati boshqarishda qo'llanilayotgan nazorat va o'lash vositalariga bevosita bog'liq. Har bir yetuk mutaxassis o'z ish joyida texnologik jarayon parametrlarini, ularning o'lash usullarini, o'lash asboblari va qurilmalarining texnik xarakteristikalarini bilishi kerak. Bakalavriatni tugatgan har bir kishi o'lash asboblari bilan ishlashda o'lash sxemalari va asboblarini ishlatish bilan bog'liq bo'lgan bilim va malakaga ega bo'lishi, elektr, magnit, noelektrik kattaliklarni bilishi, ularni o'lashi, nazorat qilishi, o'lash asboblarini to'g'ri tanlay olishi, xatoliklarning sababini aniqlashi lozim.

Transport, issiqlik texnikasi, elektroenergetika, qishloq va suv xo'jaligi, geologiya va geofizika, tibbiyot, biologiya, atrof-muhit ekologiyasi sohalarida yuzaga keladigan muammolarni yechishda turli parametrlarni o'lash va axborot olish sezilarli darajada murakkablashib bormoqda. Bu holat yangi o'lash usullari va vositalarini yaratishni va birlamchi o'lash o'zgartkichlari – datchiklarga, umuman olganda, o'lash texnikasiga bo'lgan talabni kuchaytirmoqda. Shuning uchun o'lash asboblarining texnik imkoniyatlarini hisoblash, texnika vositalari yordamida kengaytirish va turli sharoitlarga moslashtirish hozirgi o'lash texnikasining dolzarb masalasi bo'lib qolmoqda.

«Elektr o'lashlar» fani talabalarga elektromagnit hodisasi va jarayonlarini, elektr, magnit kattaliklar va parametrlarini hamda texnologik jarayonlarni boshqarishda yuzaga keladigan muammolarni hal etishga imkon beradi.

Metrologiya va elektr o'lashlardan olingan bilim va ko'nikmalar kasb-hunar kollejlarning elektrotexnik yo'nalishdagi talabalariga «Sanoat korxonalarining elektr jihozlari va qurilmalari», «Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish», «Elektrotexnologiya» va boshqa fanlarni o'zlashtirishlarida yordam beradi. «Elektr o'lashlar» sanoat, qishloq va suv xo'jaligi hamda boshqa sohalar yo'nalishida bakalavr va mutaxassislar tayyorlashda o'qitilishi lozim bo'lgan fandir. Davlat ta'lim standartlari, «Kadrlar tayyorlash milliy dasturi» talablaridan kelib chiqqan holda, bu fan kollej talabalarida metrologiya va elektr o'lashlar bo'yicha zarur va yetarli bo'lgan bilim hamda ko'nikmalarni shakllantiradi.

O'quv qo'llanmaning maqsadi elektrotexnika, elektroenergetika, radiotexnika va avtomatika sohalariga oid ta'lim yo'nalishida elektrik bakalavrlarni tayyorlashga ko'maklashishdir. Talabalar fanni o'qish jarayonida elektr o'lovlar, o'lash asboblarining tuzilishi, ularning ishlatilishi va ta'mirlashning asosiy masalalarini o'rganadilar. Asboblarning texnik

xarakteristikalari va xususiyatlari, ularning qiyoslash usullari hamda qoidalari bilan tanishadilar.

«Elektr o'lchashlar» fanini o'rganish natijasida talabalar olgan bilimlari hamda tajribalarini ishlab chiqarishda qo'llashlari lozim bo'ladi.

Har bir talaba bilimlarini respublikamiz oldida turgan o'ta muhim masalalarni yechishga, jahon andozalariga mos keluvchi texnologik jarayonlarni samarali boshqarish hamda mahsulotlarni ishlab chiqarishga safarbar etishi kerak.

### **Elektr o'lchashlarning fan va texnikadagi ahamiyati**

Moddiy dunyoni bilish usullaridan biri – o'lchashdir. «Har qanday fan o'lchashdan boshlanadi», – degan edi buyuk rus olimi D.I.Mendeleyev. Bizga ma'lum bo'lgan tabiiy fanlardagi barcha qonunlar zamirida o'lchash yotadi.

Elektrik va noelektrik kattaliklarni elektrik usul bilan o'lchashlar katta ahamiyatga ega. Elektr o'lchash usullari boshqa o'lchash turlaridan soddaligi, ishonchliliigi, aniqligi, sezgirligi, qayta o'zgartirish va uzoq masofaga uzatish imkoni bilan ajralib turadi.

Elektr o'lchashlar yer qatlamining namligi, sho'rlanishi, zichligini aniqlashda, shuningdek, yer osti ruda konlarini samolyotdan turib magnit usullar bilan razvedka qilishda qo'llaniladi. Hattoki sayyoralar va yulduzlar sirtidagi harorat ham fotoelementlar yordamida elektrik usul bilan aniqlanadi.

Murakkab ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish ko'p jihatdan elektr o'lchashlarga tayanadi, chunki ular o'lchash qurilmasi bilan bevosita ishlab chiqarish obyektlariga avtomatik ravishda ta'sir etish, o'lchangan kattaliklar ustida bajariladigan har bir amallarni avtomatik bajarish imkonini beradi.

Ishlab chiqarishning barcha sohalarida mexanizatsiyalashtirish, elektrlashtirish va avtomatlashtirishni yuqori darajaga ko'tarish uchun hozirgi zamon talablariga javob beradigan sodda, puxta, mukammal, arzon, yuqori aniqlik va sezgirlikka ega, har qanday sharoitda o'z ish qobiliyatini saqlab turadigan o'lchov asboblarni loyihalashtirish, ishlab chiqarish va ulardan to'g'ri foydalanish zarur. Shu bilan birga, ishlab chiqarishni jadallashtirish, mahsulotlarni ko'paytirish va sifatini oshirish uchun davlat tizimiga tegishli metrologik birlik va metrologik ta'minot tizimini qonun talablari darajasida ishlab chiqish zarur.

### **O'lchashlar fanining rivojlanish tarixidan qisqacha ma'lumotlar**

O'lchovshunoslik fani ming yillik tarixga ega, chunki ibtidoiy odamlar ham o'z ehtiyojlariga ko'ra masofa, yer maydoni, ishlatgan uy-ro'zg'or asbob-

uskunalarining o'lchamlarini antropometrik, ya'ni o'zining muayyan a'zolari yoki tabiiy o'lchovlarni qo'llagan holda o'lchay boshlaganlar. Misol uchun: qarich, quloch, qadam va hokazo tarzda.

Tabiiy o'lchovlardan qimmatbaho toshlarning o'lchov birligi sifatida «no'xatcha» ma'nosini anglatuvchi «karat», «bug'doy doni» ma'nosini anglatuvchi «gran» yuzaga kelgan. Astronomlarning Quyosh, Yer va Oyni ko'p yillik kuzatishlari natijasida vaqt birligi sifatida yil, oy, soat, minut va sekund birliklari shakllangan.

Sanoat, qishloq xo'jaligi, ilm-fanning rivojlanishi ularga bog'liq bo'lgan maxsus texnika, o'lchash usullari va vositalarini ham kashf etishga sabab bo'ldi.

Metrologiya xizmati va metrologik ta'minotning dastlabki shakllari turli tarzda vujudga kela boshlagan. Masalan, rus knyazi Svyatoslav Yaroslavichning oltin kamaridan uzunlikni namunaviy o'lchashda foydalanilgan. O'rta asrlarda Italiyada mamlakat cherkov va butxonalarida saqlanadigan marvarid donalaridan sochiluvchan moddalarning hajmi va massa birliklari o'lchangan.

Ishlab chiqarish, tovar ayirboshlash, tabiat va koinot hodisalarini kuzatish hamda tahlil qilish sohalari zahirida o'lchovshunoslik, o'lchov vositalari va usullarini yaratish, taklif etish, ularni takomillashtirish borasida Sharq, xususan, Markaziy Osiyo olimlarining hissasi ulkan.

VIII-XI asrlarda yashab ijod qilgan al-Xorazmiy, Ahmad Farg'oniy, Ibn Sino va Abu Rayhon Beruniy kabi buyuk vatandoshlarimiz o'lchovshunoslik va o'lchash birliklariga oid asarlar yozib qoldirganlar. Al-Xorazmiy «O'lchashlar haqida»gi risolasida uzunlik, yuza, hajmlarni hisoblash va o'lchash usullarini amalda qanday qo'llashni bayon etgan. Buyuk alloma «Quyosh to'g'risida»gi risolasida vaqtni aniq o'lchashga katta ahamiyat bergan. Hamyurtimiz Ahmad Farg'oniy dunyoda birinchi bo'lib 861- yilda Nil daryosi sathini o'lchaydigan asboblarni kashf qilgan va daryo suvi sathini o'lchash natijalariga ko'ra qishloq xo'jalik ekinlarining u yoki bu turini ekish bo'yicha tavsiyalar bergan, ya'ni suv sathi maxsus belgidan past bo'lganda kam suv talab qiladigan ekinlar, belgi ichida bo'lganda o'rtacha suv talab qiladigan o'simliklar va belgidan yuqori bo'lganda ko'p suv talab qiladigan ekinlar ekish tavsiya qilingan. Davlat tomonidan dehqonlarga soliq belgilashda ham ushbu asbob ko'rsatkichlariga asoslanishgan. Bu asbob puxtaligi va aniqligi jihatidan hozirgi zamon asboblardan sira qolishmaydi.

Bundan tashqari, Ahmad Farg'oniy «Quyosh soatini yasash haqida kitob» asarida o'lchovshunoslikka oid muhim ma'lumotlar bergan. Uning astronomik kuzatishlar uchun mo'ljallangan o'lchash asbobi – usturlob yasash va undan foydalanish, quyosh tutilishini oldindan bashorat qilish va boshqa muhim kashfiyotlari o'z davrida o'lchovshunoslik fanini rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etgan.

Alloma Abu Rayhon Beruniy birinchi bo'lib tajribalar asosida Yer sharining radiusini o'lchagan.

Buyuk faylasuf va tabib Abu Ali ibn Sinoning «Tib qonunlari» asarida dori-darmon tayyorlash uchun tavsiya etilgan miqdor va hajm birliklaridan Sharq va G'arb davlatlarida XVII-XVIII asrlargacha foydalanib kelingan. Yusuf Xos Xojib 1069- yilda o'z asarlarining birida metrologiya sohasi haqida fikr yuritib, qimmatbaho metall sofligini sinash, bozordagi tosh va tarozilarning to'g'riligini, muomaladagi pullarning sofligi va og'irligini kuzatib turish kerakligini qayd etgan.

Falakiyot qonunlarini o'rganishda, unga tegishli o'lchashlarni takomillashtirishda Mirzo Ulug'bekning hissasi nihoyatda ulkandir. Uning astrolyabiya yordamida o'z rasadxonasida amalga oshirgan astronomik o'lchashlari natijasida tuzgan «Ziji jadidi Ko'ragoniy» asaridagi ma'lumotlar hozirgi zamonada qo'llanilayotgan ma'lumotlardan juda kam farq qiladi.

O'lchash texnikasining asosiy tarkibiy qismlaridan bo'lgan elektr o'lchash usullari va asboblarni yaratishda G'arb olimlarining hissaları kattadir. 1745-yilda M.V.Lomonosovning safdoshi, akademik G.R.Rixman atmosfera elektrlanishini ta'biq qilish uchun birinchi bo'lib potentsiallar farqini o'lchovchi elektrometr yasadi.

XVIII asrning oxirida A.Volta va L.Galvani tomonidan elektr toki kashf etilganidan so'ng tok kuchini o'lchash zarurati paydo bo'ldi. X.Ersted kashf etgan elektr tokining magnit ta'siridan foydalanib, nemis fizigi G.Om 1826-yilda o'tkazgichdan o'tadigan tok kuchi va magnit maydoni ta'sirida turgan strelkaning og'ishi orasidagi bog'lanishni e'tirof etdi va shu prinsip asosida asbob yaratib, o'z nomiga qo'yilgan qonunga ta'rif berdi.

XIX asrning ikkinchi yarmida elektr mashinalari yaratildi. Ularning elektr o'lchash asboblari asosiy amaliyotga ta'biq etilishi mumkin emas edi. Bunday asboblari (elektromagnit ampermetrlar va voltmetrlar, vattmetrlar va fazometrlar) yaratilishida ayniqsa rus muhandisi O.M.Dolivo-Dobrovolskiyning hissasi katta. 1872-yilda magnit maydon kuchlanganligi va materialni magnit singdiruvchanligi orasidagi bog'lanishni kashf etgan rus fizigi A.G.Stoletov magnit kattaliklarini o'lchovchi asboblarni yaratdi va takomillashtirdi.

Rus olimi, akademik B.S.Yakobi elektr zanjirning parametrlarini o'lchaydigan qator usullar va asboblari kashf etdi hamda elektrik kattaliklarni o'lchashda o'lchash birligi tizimini ta'minlash kerakligini asoslab berdi. Bunday tizim 1881-yili Parijda o'tkazilgan birinchi xalqaro elektrotexnik kongressda tasdiqlandi.

Rus olimi D.I.Mendeleyev o'lchov va vaznlar sohasida 1892-yilda fundamental ishlarni amalga oshirdi, uning tashabbusi bilan Rossiyada metrik tizimni ta'biq etish olg'a surildi.

Elektr o'lchov texnikasi elektronikaning element bazasi hamda avtomatika va hisoblash texnikasiga asoslangan holda qator texnologik masalalarni muvaffaqiyatli yechish zamirida tez sur'atlar bilan rivojlandi va takomillashtirildi. Misol uchun, o'lchash asboblari (ampermetr, voltmetr va hozkazlar)ning harakatlanuvchi qismini kernlarda mahkamlash o'rniga tortkichi

(rastyajka)dan foydalanish ularning sezgirliigi va aniqligini sezilarli darajada oshirdi.

Mikroelektronikaning element bazasidan foydalanish analogi harakatlanuvchi qismi bo'lmagan elektr o'lchash asboblari ishlab chiqarish imkonini berdi.

O'tgan asrning 50- yillarida o'lchov asboblari yaratilishida keskin burilish yasaldi – hisoblash texnikasi asosida raqamli o'lchash asboblari ishlab chiqildi. Ular yuqori aniqligi, tezkor ishlashi, o'lchanayotgan obyektidan kam quvvat olishi va avtomatlashtirilgan tarmoqlarga bevosita ulanishi bilan ajralib turadi.

O'lchash asboblarning keyingi yillardagi takomillashishi mikroprotessorlarni qo'llash bilan bog'liqdir.

XX asrning 70- yillarida sobiq Ittifoqda ko'zga ko'ringan olimlardan B.N.Sotskov, K.B.Karandeyev, L.F.Kulikovskiy, D.I.Ageykin, F.B.Grinevich, V.Yu.Kneller, N.Ye.Konyuxov, M.A.O'rakseev va boshqalar elektrik va noelektrik kattaliklarning avtomatik o'lchash nazariyasiga asos soldilar va analog hamda raqamli o'lchash vositalarini ommaviy (seriyaviy) ravishda ishlab chiqarishga ko'maklashdilar. Bu asboblari ishlab chiqarish va ilmiy-tadqiqotlar o'tkazishda keng ishlatiladi.

O'zbekistonda ham bu sohada keng ilmiy-tadqiqot ishlari olib borildi. Ayniqsa, elektroenergetik tizimlar ish faoliyatlarini tavsiflovchi kattaliklarni shakllantirish va o'lchash bo'yicha akademiklar H.F.Fozilov va J.A.Abdullayevlarning ishlari diqqatga sazovordir. Shu bilan birga, respublikamizda parametrlari tarqoq bo'lgan tizimlarning nazariyasi, uring bazasida elektr va magnit kattaliklarni o'lchash usullari hamda birlamchi o'zgartkichlarni yaratish bo'yicha ilmiy maktab asoschisi professor M.F.Zaripov, standartlashtirish, metrologiya va sertifikatlashtirish hamda fizik-kimyoviy jarayonlar parametrlarini va gidravlik kattaliklarni o'lchashda, o'lchash bo'yicha mutaxassislarni tayyorlashda faol qatnashgan akademik N.R.Yusupbekov, professorlar P.R.Ismatullayev, R.K.Azimov, A.A. Azimov, dotsent A.A.A'zamovning tadqiqotlari, elektrik va noelektrik kattaliklarning chastotasi avtomatik ravishda o'zgaradigan o'ta sezgir muvozanatlanuvchi ko'priklar sxemalarini taklif etgan Sh.Sh.Zohidovlarning ishlari, O'lchovshunoslik va elektr o'lchashlarga oid o'zbek tilida o'quv adabiyotlari yaratgan dotsent N.A.Ahrorov ishlari e'tiborga loyiqdir.

O'zbekiston Respublikasida mustaqillikning dastlabki yillaridayoq korxonalarining metrologik ta'minoti, ularni standartlashtirish, sertifikatlashtirishga doir huquqiy va me'yoriy hujjatlar qabul qilindi. Mamlakatimizda xalqaro hujjatlar bilan uyg'unlashtirilgan 50 dan ortiq asosiy hujjatlar, 85 dan ortiq mahsulotlarni sertifikatlashtirish bo'yicha tashkilot va idoralar, 250 dan ziyod laboratoriyalar ishlamoqda.

Hozirgi vaqtda mamlakatimizda bir necha million o'lchash asboblari foydalanilmoqda. Ularning har biri bilan har kuni ko'plab o'lchash ishlari bajariladi. Bunday sharoitda o'lchash birligini ta'minlash katta iqtisodiy

ahamiyatga ega. Bu masalalar bilan O'zbekiston Respublikasi Davlat standartlashtirish idorasi va uning tizimlari shug'ullanadi. 1993- yilning 28-dekabrda O'zbekiston Respublikasida «Standartlashtirish to'g'risida», «Mahsulotlar va xizmatlarni sertifikatlashtirish to'g'risida» hamda «Metrologiya to'g'risida» Qonunlar qabul qilindi. Natijada barcha o'lchovlar va o'lchash asboblari ustidan davlat nazorati o'tmatildi, o'lchovlarning kerakli darajada, aniq va sifatli o'lchanishiga kafolat berildi.

1996–2003- yillar davomida 24 ta davlat etaloni, 85 ta yuqori aniqlikka ega bo'lgan I va II darajali o'lchash vositalari, 46 ta namunaviy o'lchovlar va uskunalar o'tmatilib, xalq xo'jaligida foydalaniladigan o'lchash asboblarning davlat metrologik xizmati bilan ta'minlandi. O'zbekiston Respublikasi Milliy etalon bazasi yaratildi.

O'zbekiston Respublikasi 1994- yil 1-yanvardan Xalqaro standartlashtirish tashkilotiga a'zodir. Bu faoliyat respublikaning xalqaro miqyoslarda tovar ayirboshlashini ta'minlab, mamlakatni dunyo ko'lamida standartlashtirishni rivojlantiradi.

## I bob. METROLOGIYA ASOSLARI

### 1.1. Metrologiyadagi asosiy ta'riflar va atamalar

*Metrologiya* – yunoncha soʻz boʻlib, «metron» – oʻlchash va «logos» – mantiq, fan, taʼlimot maʼnosini anglatadi.

Oʻzbekiston Respublikasi standartlarining asosiy birliklarida quyidagi taʼrif keltirilgan:

*Metrologiya* – oʻlchashlar, ularning birligini taʼminlash usullari va vositalari hamda kerakli, talab etilgan aniqlikka erishish yoʻllari haqidagi fan hisoblanadi.

Bu fan quyidagi masalalar bilan shugʻullanadi:

- oʻlchashlarning umumiy nazariyasi;
- kattaliklar birliklari va ularning tizimlari;
- oʻlchash usullari va vositalari;
- oʻlchashlar aniqligini topish usullari;
- oʻlchashlar birligi va oʻlchash vositalarining bir xilligini taʼminlash asoslari;
- etalon yoki namunaviy oʻlchash vositalari yordamida ishchi vositalarga birliklar oʻlchamlarining uzatish usullari.

Mazkur standartga koʻra **oʻlchash** – maxsus texnik vositalar yordamida tajriba yoʻli bilan fizik kattalikning qiymatini aniqlash.

Fizik kattalikni esa quyidagicha taʼriflash mumkin:

**Kattalik** – sifat tomonidan koʻpgina fizikaviy obyektlarga nisbatan umumiy boʻlib, miqdor tomondan har bir obyekt uchun xususiy boʻlgan xossadir.

Barcha oʻlchashlar ularni joyi va vaqtdan qatʼiy nazar, oʻlchash birligini taʼminlashi lozim. *Oʻlchash yagonaligi* – qonunlashtirilgan birliklar asosida ifodalangan va oʻlchash xatoliklari belgilangan ehtimol bilan aniqlangan oʻlchash holatidir.

*Fizik kattalikning asosiy xossasi uning oʻlchamligidir. Kattalikning oʻlchamligi deb, shu kattalikning tizimidagi asosiy kattaliklar bilan bogʻliqligini koʻrsatadigan va proporsionallik koeffitsiyenti 1 ga teng boʻlgan ifodaga aytiladi.*

*Fizik kattalikning birligi deb, taʼrif boʻyicha son qiymati 1 ga teng qilib olingan kattalik tushuniladi. Maʼlum bir fizik kattalikning birliklari oʻzaro oʻlchamlari bilan farqlanishi mumkin. Misol tariqasida km/soat, m/s tezlikning birligi boʻlib, quyidagi har xil oʻlchamga ega:*

$$1 \text{ km/soat} = \frac{1000}{3600} = 0,278 \text{ m/s}$$

*Oʻlchashning texnik vositasi deb, oʻlchashda qoʻllaniladigan va meʼyorlangan metrologik xossaga ega boʻlgan vositaga aytiladi. Qoʻllanishiga qarab oʻlchash vositalari turlicha boʻladi. Oʻlchash vositalariga quyidagilar*

kirishi mumkin: *o'lchovlar, o'lchash asboblari, o'lchash o'zgartkichlari, o'lchash qurilmalari, o'lchash tizimlari.*

**Standart namunalari va namunaviy moddalar** ham o'lchovlar turkumiga kiradi.

O'lchovlar *bir qiymatli* (normal element, tarozi toshi va hokazo) va *ko'p qiymatli* (o'zgaruvchan qarshilik, sig'im va hokazo) turlarga bo'linadi.

O'lchovlarning bir turiga *namunaviy o'lchash vositasi* kiradi. U namunaviy o'lchash asbobi yoki o'lchash uzatkichi ko'rinishida tasdiqlanadi, boshqa o'lchov vositalari u bilan qiyoslanadi.

Fizik kattaliklarni o'lchash uchun o'lchash asboblardan foydalaniladi. *O'lchash asbobi deb, o'lchash ma'lumoti signalini kuzatuvchi uchun qulay ko'rinishda ishlab chiqarilgan o'lchash vositasiga aytiladi.* O'lchash asboblari prinsipiga qo'yilgan fizik hodisalariga ko'ra turlicha bo'ladi.

*O'lchash axboroti signalini uzatish, o'zgartirish, ishlov berish va saqlash uchun qulay, lekin kuzatuvchini bevosita qabul qilishga noqulay bo'lgan ko'rinishda ishlab chiqarishga mo'ljallangan o'lchash vositasi o'lchash o'zgartkichi deb ataladi.* Vazifasiga ko'ra *o'lchash o'zgartkichlari birlamchi, oraliq, uzatish va masshtab o'zgartkichlariga bo'linadi.*

O'lchashlarda turli *yordamchi vositalardan* foydalaniladi. Ular asosiy o'lchash vositalarining metrologik xossalari ta'sir etadi. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlar taraqqiyoti o'lchash-axborot tizimlariga bog'liq. *O'lchash-axborot tizimi - ishlov berishga qulay bo'lgan o'lchash axborotini avtomatik ravishda hosil qilishga mo'ljallangan o'lchash vositalari (o'lchovlar, o'lchash asboblari va o'lchash o'zgartkichlari) va yordamchi qurilmalarining bir-biriga kanallar yordamida bog'langan tizimidir.*

Turli sohalarda foydalaniladigan barcha o'lchash vositalari belgilangan talablarga javob berishi kerak. Bu holat o'lchash vositalarining bir xilligi bilan ta'minlanadi, ya'ni o'lchash vositalari shkalasi tasdiqlangan birliklarda darajalangan va ularning metrologik xossalari me'yorga mos kelgan bo'ladi.

*O'lchash vositalari yordamida olingan o'lchanayotgan fizik kattaliklar to'g'risidagi axborot o'lchash axborotini deb ataladi.*

## 1.2. Elektr va magnit kattaliklar birliklarining o'lchovlari

Qabul qilingan birliklar tizimiga muvofiq o'lchashning texnik ta'minoti sifatida *o'lchovlardan* foydalaniladi. Aniqligiga, ishlatilishiga ko'ra o'lchovlar *etalon, namunaviy va ishchi o'lchovlarga bo'linadi.*

Fizik kattalik birligini yuqori aniqlik bilan qaytara oladigan va uni saqlash uchun mo'ljallangan o'lchash vositasi **birlik etaloni** deyiladi.

Vakolat berilgan milliy organing qarori bilan u yoki bu davlat hududiga o'lchov birligining o'lchami sifatida e'tirof etilgan etalon **davlat etaloni** deb ataladi.

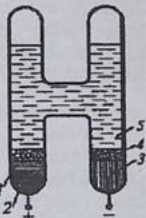
Namunaviy o'lchovlar ishchi o'lchovlarini va o'lchash asboblari qiyoslash (ishonchlash) uchun ishlatiladi. Ba'zi bir o'lchashlarda namunaviy o'lchovlar bevosita qo'llaniladi.

Ishchi o'lchovlar bir xil kattaliklardagi qator o'lchamlarni takror ko'rsatish uchun ko'p hollarda ko'p qiymatli qilib yasaladi.

Elektr kattaliklarning o'lchovi sifatida elektr yurituvchi kuch (e.yu.k.) elektr qarshiligi, induktivligi va o'zaro induktivligi hamda sig'im o'lchovi qo'llaniladi.

Magnit kattaliklarning o'lchovi sifatida esa magnit oqimi, magnit maydon kuchlanganligi va magnit induksiya o'lchovlaridan foydalaniladi.

E.yu.k.ning namunaviy va ishchi o'lchovlari sifatida normal elementlar xizmat qiladi, u juda barqaror qiymatli e.yu.k. hosil qiluvchi galvanik elementdan iborat. Normal elementlar to'yingan va to'yinmagan holda yasaladi, ular bir-biridan konstruksiyasi va hosil qiluvchi e.yu.k.ning barqarorligi darajasi bilan farq qiladi. To'yingan normal element (1.1- rasm) H simon idishning bitta shisha nayiga musbat elektrod vazifasini o'tovchi simob 2 quyilgan. Ikkinchi trubkaning tagida manfiy elektrod 3 vazifasini o'tovchi kadmiyning simobdagi eritmasi bor. Simob ustiga simob sulfat oksidi va kadmiy sulfat aralashmasidan iborat pasta 1 qatlam joylashtirilgan. Simob 2 sulfat oksidi depolyarizator, ya'ni qutblanish hodisasini qaytarish vazifasini o'taydi. Idishning yuqori qismiga kadmiy sulfatning to'yingan eritmasi 5 quyiladi. Eritmaning to'yinishini ta'minlash uchun elektrodlar ustidan kadmiy sulfatning kristallari 4 joylashtirilgan. Bu



1.1- rasm. To'yingan normal element

tirsaklarning pastki qismini normal elementni o'lchash zanjiriga ulash uchun plastinadan yasalgan elektrodlar kavsharlangan. Shisha idish yaxshi izolyatsiyalangan quti ichiga joylashtiriladi, unda termometr uchun teshik bor (rasmda ko'rsatilmagan).

To'yingan normal elementning harorati  $20^{\circ}\text{C}$  bo'lganda, e.yu.k. (1,0185 – 1,087 V oraliqda bo'lishi va bir yil vaqt ichida 5 mV dan o'zgarishsizligi lozim. Bu elementlar 0,0005, 0,0012, 0,002 va 0,005 aniqlik klasslari bo'yicha ishlab chiqariladi. To'yingan normal elementlarning ichki qarshiligi 500 – 1000 Om ni tashkil etadi.

To'yinmagan elementlarning aniqlik klassi 0,002 dan oshmaydi,  $20^{\circ}\text{C}$  haroratdagi e.yu.k. 1,0186 – 1,0194 V oraliqida ichki qarshiligi 600 Om gacha bo'ladi. Bir yil vaqt mobaynida elementning e.yu.k.i 20 mV gacha o'zgarishi mumkin. To'yinmagan elementlarning aniqlik klassi

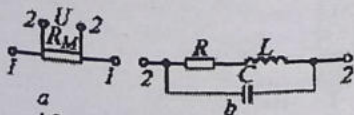
yuqori bo'lmasa-da, ularda e.yu.k.ning haroratga bog'liqligi juda kam. Bu turdagi normal elementlar ko'chma o'lchash qurilmalarida ishlatiladi.

Elementlarni silkinish, to'ntarilish, quyosh nuri, isituvchi va boshqa qurilmalar ta'siridan saqlash lozim. Ulardan o'tayotgan ishchi tok miqdori 1 mA dan ortmasligi kerak. Bu kabi omillar elementning e.yu.k. ini o'zgartirishi yoki uni ishdan chiqarishi mumkin.

So'nggi yillarda e.yu.k.ning ishchi o'lchovlari sifatida o'zgarmas kuchlanish kompensatsion mo'tadillagichlari keng ishlatilmoqda. Bu qurilmalarda mo'tadillovchi element sifatida kremniy stabilitron - diod qo'llaniladi. Kompensatsion mo'tadillagichlar 0,001% °C ga teng bo'lgan harorat koeffitsiyenti bilan katta yuklama toklarida ham kuchlanish mo'tadilligini ta'minlash imkonini beradi.

**Elektr tokining o'lchovi** bo'lib, massa o'lchovi bilan tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sir kuchi muvozanatlashadigan tokli tarozi xizmat qiladi. Ma'lumki, tok kuchining birligi amper bo'lib, bu tok vakuumda joylashgan va cheksiz uzunlikka ega hamda bir-biridan o'zaro 1 metr masofada bo'lgan ikkita ingichka o'tkazgichdan o'tganda, ular o'rtasida har metr uzunlikda  $2 \cdot 10^{-7}$  H kuch hosil bo'ladi. Elektr qarshiligining namunaviy va ishchi o'lchovlari g'altaklar ko'rinishida yasalanadi. Ko'p qiymatli o'lchovlarda bir necha g'altaklar birgalikda qarshiliklar magazinini hosil qiladi. G'altaklar, asosan, manganin (mis, marganes, nikel, aluminiy va teller qorishmasi simi yoki tasmasidan o'ralgan) bo'lib, u katta solishtirma qarshilikka ( $0,45 \text{ Om mm}^2/\text{m}$ ), kichik harorat koeffitsiyentiga ( $10^{-5}$  °C) ega va mis bilan birikkanda juda oz ( $1^\circ\text{C}$  da 2 mV) termo e.yu.k. yuzaga keladi.

**Qarshilikning o'lchovlari** O'zRSTga ko'ra  $R = 10^n \text{ Om}$  ga teng qiymatida yasalanadi, bunda  $n$ -5 dan +10 gacha bo'lgan butun son. Atrofdagi havo harorati  $20^\circ\text{C}$  bo'lganda, g'altak qarshiligining haqiqiy qiymati uning nominal qiymatidan eng ko'p yo'l qo'yiladigan o'zgarishga qarab o'lchash g'altaklari 0,001, 0,002, 0,005, 0,01, 0,02, 0,05, 0,1 va 0,2 aniqlik klassiga bo'linadi.



1.2- rasm. Qarshilikning o'lchovlari

Qarshilikli g'altakning shartli belgisi va ekvivalent sxemasi 1.2- rasmda keltirilgan. O'tish qarshiliklarining ta'sirini kamaytirish maqsadida qiymati  $10^4 \text{ Om}$  dan kichik bo'lgan o'lchovlar to'rt qisqichli qilib yasalanadi. Ikkita 1-1 qisqich g'altakning tok zanjiriga ulash uchun (1.2- a rasm) xizmat qiladi va tok qisqichlar deb ataladi, boshqa ikkitasi (2-2 qisqichlar) esa g'altakdagi

kuchlanish pasayishini o'lchash uchun (1.2- b rasm) xizmat qiladi va *potensial qisqichlar* deb ataladi. O'lchovning ekvivalent sxemasidan ko'rinib turibdiki, g'altak chulg'ami faqat aktiv qarshilik  $R$  ga ega bo'lmay, balki induktivlik  $L$  va o'ram orasida shuntlovchi sig'im  $C$  ga ham ega. O'zgaruvchan tok zanjirida g'altak reaktiv elementlarining tok qiymatiga ta'siri vaqt doimiysi bilan tavsiflanadi. Bu doimiy  $\tau = (L/R) - CR$  ifoda bilan aniqlanadi. Vaqt doimiysi qancha kichik bo'lsa, g'altakning sifati shuncha yuqori bo'ladi. Shu maqsadda g'altak chulg'amlari sodda bifilyar, ya'ni simni ikki buklab o'rash, ikki qavatli ketma-ket – bifilyar o'ramlı (qarshiligi 100-300  $\Omega$  gacha bo'lgan o'lchovlarda) va parallel – bifilyar o'ramlı (yuqori  $\Omega$  li o'lchovlarda) usulda yasaladi.

**Induktivlik va o'zaro induktivlikning namunaviy hamda ishchi o'lchovlari** xuddi qarshilik o'lchovlari kabi ayrim g'altaklar ko'rinishida yoki magazinlar ko'rinishida yasalishi mumkin. Ularga *qo'yiladigan asosiy talablar* – *induktivlikning vaqt o'tishi bilan o'zgarmasligi, aktiv qarshiligining kichik bo'lishi hamda induktivlik qiymatining undan o'tayotgan tok qiymatiga va atrof-muhit haroratiga bog'liq emasligidir*. Shuning uchun ham chulg'am izolyatsion materialdan (odatda, chinnidan) yasalgan asosga o'raladi. Induktivlik va o'zaro induktivlik o'lchovlarining sifati g'altakning aslligi  $Q$  ga ko'p jihatdan bog'liq bo'ladi ( $Q = \omega L/R$ ).

Induktivlik o'lchovlari 0,0001, 0,001, 0,01, 0,1 va 1,0  $G\Omega$  ga teng bo'lgan nominal qiymatlarda ishlab chiqariladi.

O'zaro induktivlikning namunaviy o'lchovlari bitta umumiy asosda joylashtirilgan ikkita chulg'amdan iborat bo'lib, ikkita juft qismaga ega.

*O'zgaruvchan induktivlik va ishchi o'lchovlari induktivlikning namunaviy hamda ishchi o'lchovlari sifatida variometrlar qo'llaniladi*. Variometrlar – har biri o'zgarmas qiymatli induktivlikka ega va biri ikkinchisiga nisbatan qo'zg'aluvchan bo'lgan ikkita g'altak ko'rinishidagi qurilmadir. O'zgaruvchan induktivlik – g'altaklarning to'plami ko'rinishida, shuningdek, induktivlik magazinlar ko'rinishida yasalishi ham mumkin.

Induktivlik va o'zaro induktiv g'altaklar chastotasi 10  $kGs$  gacha bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlatish uchun mo'ljallangan.

**Sig'imning namunaviy va ishchi o'lchovlari sifatida o'zgarmas va o'zgaruvchan sig'imli havo yoki boshqa turdagi dielektrikli (slyuda) kondensatorlar** xizmat qiladi. Sig'im o'lchovlariga qo'yiladigan asosiy talablar – chastota va haroratning o'zgarishi hamda vaqt o'tishi natijasida sig'imning kam o'zgarishi, dielektrik isrofini tavsiflovchi isrof burchagi tangensining kichikligi, izolyatsiya qarshiligining kattaligi va bardoshlilikidir. Bu talablarga ko'p jihatdan havo dielektrikli kondensatorlar javob bersa-da, sig'im qiymatining kichikligi tufayli geometrik o'lchamlari nisbatan katta bo'ladi. Slyuda dielektrikli kondensatorlarda sig'im qiymati nisbatan katta (1  $mkF$  gacha) bo'lsa-da, uning mo'tadilligi ancha past bo'ladi. Alohida sig'im o'lchovlari bilan bir

qatorida sig'im magazinlari ham ishlatiladi. Bu magazinlar yordamida 0,0001...1000  $mkF$  oralig'idagi sig'implarni olish mumkin.

**Magnit oqimining ishchi o'lchovlari sifatida** aktiv qarshiligi, induktivligi va o'ramlararo sig'imi kichik bo'lgan o'zaro induktiv g'altaklar ishlatiladi. O'zRST 8.030-92 ga muvofiq bu o'lchovning qiymati 0,01  $Vb$  qilib belgilangan.

**Magnit maydon kuchlanganligining namunaviy va ishchi o'lchovlari** tokli induktiv g'altaklar ko'rinishida yasaladi. O'zRST 8.097-73 ga ko'ra ushbu o'lchamlarning nominal qiymatlari 0,01...30  $MGs$  chastota kengligida  $2 \cdot 10^{-3}$  dan  $0,5 \cdot 10^{-5}$   $A/m$  gacha qilib belgilangan.

**Magnit induksiyasining namunaviy va ishchi o'lchovlari** kvars asosga o'ralgan induktiv g'altak bo'lib, u toki 1  $A$  bo'lgan zanjirga ulanadi. Bu o'lchovlar  $10^{-10}$  dan  $5 \cdot 10^{-2}$   $Tl$  gacha bo'lgan magnit induksiyasini 0,0005 foizgacha bo'lgan xatolik bilan hosil qilish uchun qo'llaniladi.

Elektr va magnit kattaliklari o'lchovlarining asosiy parametri bo'lib ularning nominal va haqiqiy qiymatlari xizmat qiladi. O'lchovning pasportida keltirilgan qiymati *nominal*, aniq o'lchash sharoitidagi qiymati esa uning *haqiqiy qiymatlari* deb ataladi. Xatoliklarining qiymatlariga qarab o'lchovlar *aniqlik klasslariga* bo'linadi. O'lchovlarning aniqlik klasslari ularning umumlashgan tavsifi hisoblanadi.

### 1.3. O'lchash turlari va usullari

Har qanday kattalikning sonli qiymatini o'lchash amali bilan topish, ya'ni ushbu kattalikni birga teng deb olingan shu xildagi kattalikdan necha marta katta yoki kichik ekanligini aniqlash mumkin.

*O'lchash deb, o'lchanadigan kattalikni fizikaviy kattalik yordamida xuddi shu turdagi birlik sifatida qabul qilingan miqdor bilan taqqoslash natijasiga aytiladi. Har qanday o'lchash o'lchanayotgan kattalikning ishlatish, o'zgartirish, uzatish yoki qayta ishlashlar uchun qulay shakldagi ifodasini aniqlashdir.*

**O'lchash turlari.** O'lchash natijasini hosil qilish usuliga ko'ra *bevosita, bilvosita, jamlangan va birgalikda o'lchash turlari* mavjud. *Bevosita o'lchash* turida o'lchanayotgan kattalikning qiymati bevosita tajriba natijasida topiladi. Masalan, tokni ampermetr, quvvatni vattmetr, haroratni termometr yordamida o'lchash. Taqqoslash asboblari yordamida noma'lum kattalik qiymatini o'lchash ham bevosita o'lchash turiga kiradi. *Bilvosita o'lchashda o'lchanayotgan kattalikning qiymati u bilan ma'lum bir bog'lanishda bo'lgan boshqa bir kattaliklarni bevosita o'lchash natijasiga ko'ra aniqlanadi.* Bu o'lchash turida o'lchanayotgan kattalikning qiymati quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

bu yerda:  $Y$  – o'lchanayotgan kattalikning qiymati,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – asboblarning yordamida bevosita o'lchangan kattaliklar qiymatlari.

O'zgarmas tok zanjirining quvvati  $P$  ni ampermetr va voltmeter yordamida o'lchangan tok  $I$  va kuchlanish  $U$  qiymatlariga ko'ra  $P = UI$  ifoda yordamida topish yoki o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligini uning asboblarning yordamida o'lchangan qarshiligi, uzunligi va ko'ndalang kesimi yuzasi asosida aniqlash bilvosita o'lchash turiga misol bo'la oladi.

**O'lchash usullari:** o'lchash usullari ikki guruhga bo'linadi: *bevosita baholash usuli* va *taqqoslash usuli*.

**Bevosita baholash usulining mohiyati** shundan iboratki, o'lchanayotgan kattalikning qiymati bitta yoki bir nechta asbobning ko'rsatishi bo'yicha bevosita aniqlanadi. Bunda ishlatilayotgan asbobning darajasi o'lchanayotgan kattalik yoki unga bog'liq bo'lgan boshqa bir kattalik o'lchov birligi bo'yicha darajalangan bo'ladi. Bu usulga zanjirdagi tokni ampermetr, kuchlanishni voltmeter bilan o'lchash misol bo'la oladi.

**Taqqoslash usulida** o'lchanayotgan kattalik qiymati avvaldan ma'lum bo'lgan o'lchov bilan taqqoslanadi. Bu usulning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, o'lchash jarayonida o'lchov bevosita ishtirok etadi.

*Taqqoslash usuli nol, differensial, qarama-qarshi qo'yish, almashlash va mos tushish usullariga bo'linadi.*

**Nol usuli** o'lchanayotgan kattalikni o'lchov bilan bir vaqtda yoki davriy ravishda taqqoslovchi usul bo'lib, unga ko'ra muvozanat ko'rsatkichi (nol-indikator)ga ta'sir etuvchi natijaviy taqqoslanish samarasi nolgacha kamaytiriladi. Bu usulga elektr qarshiligining to'la muvozanatlanishiga asoslangan ko'prik sxemasi bilan o'lchash misol bo'lishi mumkin. Ko'prik sxemasidagi o'lchovning aniqligi juda yuqori va nol-indikatorning sezgirligi katta bo'lganligi sababli o'lchash aniqligi yuqori bo'ladi.

**Differensial usulda** asbob o'lchanayotgan kattalik bilan o'lchov qiymatlari farqini ko'rsatadi. Bu usulning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, o'lchash jarayoni mobaynida o'lchanayotgan kattalikning qiymati o'lchov qiymati bilan qisman muvozanatlashadi. Qarshilikni muvozanatlashmagan ko'prik sxemasi yordamida o'lchash differensial usulga misol bo'la oladi. Bu usulning aniqligi o'lchanayotgan kattalik va o'lchovning bir-biridan qancha farq qilishiga bog'liq. Ushbu farq qancha kam bo'lsa, qaralayotgan usulning aniqligi shuncha yuqori bo'ladi.

**Qarama-qarshi qo'yish usulida** o'lchanayotgan kattalik va o'lchov qiymatlari bir vaqtda taqqoslash qurilmasiga ta'sir etadi. Agar aniqligi yuqori bo'lgan ko'p qiymatli o'lchov va soddaroq tuzilishga ega bo'lgan taqqoslash qurilmasi bo'lsa, bu usul qulay hisoblanadi.

**Almashlash usulida** o'lchanayotgan kattalik va o'lchov qiymatlari ketma-ket bitta asbob bilan o'lchanadi. Ikkita o'lchash natijasi bo'yicha hisoblash yo'li bilan o'lchanayotgan kattalikning izlanayotgan qiymati topiladi. Qarshilikning qiymatini rostlanuvchi o'lchov (qarshiliklar magazini) va o'zgarmas tok ko'prigi

SDVU Arbobot-  
resurs markazi  
17  
Inv № 371 240

yordamida o'lchash bu usulga misol bo'lishi mumkin. Bunda avval qiymati o'lchanayotgan qarshilik ko'prik yelkasiga ulanib, muvozanat holatiga keltiriladi. Keyin qarshilik o'rniga rostlanuvchi o'lchov ulanadi va uning qiymatini rostlab, ko'prik yana muvozanatga keltiriladi. Rostlanuvchi o'lchov qiymati noma'lum qarshilikning qiymatiga teng bo'ladi.

**Mos tushish usuliga** ko'ra o'lchanayotgan kattalik va o'lchov qiymatlarining farqi asbob darajasidagi yoki davriy signalidagi belgiga mos kelishi asosida o'lchanadi. Bu usul noelektrik kattaliklarni o'lchashda keng qo'llaniladi. Bunga uzunlikni noniusli shtangensirkul, jism aylanish chastotasini stroboskop yordamida o'lchash misol bo'la oladi.

O'lchanayotgan kattalikning o'lchash jarayonida o'zgarish xususiyatiga ko'ra *statik* va *dinamik* o'lchashlarga ajratiladi.

**Statik o'lchashlarga** qiymati o'lchash jarayoni mobaynida o'zgarmaydigan kattaliklarni o'lchashlar kiradi. Bunga o'zgarmas kattaliklarni o'lchashdan tashqari, davriy o'zgaruvchan kattaliklarning turg'un holatidagi o'lchashlar ham kiradi. Masalan, o'zgaruvchan kattalikning amplituda, effektiv va boshqa qiymatlarini turg'un holatida o'lchash.

**Dinamik o'lchashlarga** qiymatlari o'lchash jarayonida o'zgarib turadigan kattaliklarni o'lchashlar kiradi. Masalan, vaqt bo'yicha o'zgaradigan kattalikning oniy qiymatini o'lchash dinamik o'lchashga kiradi.

#### 1.4. O'lchash vositalari, ularning turlari va asosiy metrologik xarakteristikalari

*O'lchash vositalari standartlashtirilmagan, standartlashtirilgan, avtomatik, avtomatlashtirilgan va intellektual o'lchash vositalariga bo'linadi.*

**Standartlashtirilmagan** o'lchash vositasiga texnikaviy yoki metrologik xossalari davlat standarti talablariga muvofiq bo'lmagan o'lchash vositalari kiradi. Bunday vositalar ishlab chiqarishning ichki ehtiyojlarida qo'llanilishi mumkin.

Standartlashtirilgan vositalar Davlat standart talablariga muvofiq bo'ladi.

**Avtomatik o'lchash** vositasi bevosita o'lchash hamda o'lchash natijalarini hisoblash, qayd qilish, uzatish va boshqaruvchi signallarini ishlab chiqarish bilan bog'liq barcha ishlarni avtomatik tarzda o'zi bajaradigan intellektual o'lchash vositasi bo'lib, xotiraga ega bo'ladi va o'lchash vaqtida berilgan dastur bo'yicha tanlashni, o'lchash natijalariga ishlov berishni, ularni baholashni, shuningdek, boshqa vazifalarni mustaqil ravishda avtomatik tarzda bajaradi.

Ma'lumotlar belgilanishiga ko'ra o'lchash vositalari quyidagicha klassifikatsiyalanishi mumkin:

- 1) *shkalali o'lchash vositalari;*
- 2) *raqamli o'lchash vositalari;*
- 3) *o'ziyozar o'lchash vositalari.*

O'lchash vositalarining metrologik xarakteristikalarini O'zRST 8.009-94 da keltirilgan bo'lib, o'lchash vositalarini tanlashda o'ta zarur omillardan hisoblanadi. Shuning uchun ham quyida amalda keng qo'llanuvchi boshqa metrologik xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz.

**Xatolik.** Xatolik o'lchashning asosiy xarakteristikalaridan hisoblanadi. GOCT (Davlat standarti) 1626-3-70 ga ko'ra o'lchash xatoligi o'lchash natijalarining o'lchanayotgan kattaliklarining haqiqiy qiymatlaridan og'ishidir. O'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati uchun namunaviy o'lchash vositalari yordamida aniqlash mumkin bo'lgan qiymat qabul qilinadi. Ba'zan o'lchash vositalari xatoliklarini nolga yaqin ekanligini ko'rsatuvchi va ularning sifatini aks ettiruvchi o'lchash vositalarining aniqligi tushunchasi qo'llaniladi.

O'lchash vositalarining xatoligi ifodalanish usuliga ko'ra *absolut, nisbiy va keltirilgan xatoliklarga* bo'linadi.

O'lchanayotgan kattalikning o'lchash asbobida o'lchangan qiymati  $x_{o'l}$  bilan shu kattalikning namuna asbob yordamida aniqlangan haqiqiy qiymati  $x_h$  orasidagi farq o'lchash asbobining *absolut xatoligi* deb ataladi va quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta = x_{o'l} - x_h.$$

O'lchash asbobining *absolut xatoligi o'lchanayotgan kattalik birligida ifodalanadi. Absolut xatolikning teskari ishorasi bilan olingan qiymati tuzatma deb ataladi.* Absolut xatolik o'lchash aniqligini yetarli darajada baholay olmaydi. Haqiqatan ham absolut xatolikka ega bo'lgan 5 A va 1 A li ampermetrlar har xil aniqliklarga ega. O'lchash aniqligi to'g'risida to'laroq ma'lumotni nisbiy xatolik tushunchasi beradi.

Absolut xatolikni o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati  $x_h$  ga nisbati *nisbiy xatolik* deb ataladi va  $\delta$  harfi bilan belgilanadi:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_h} \cdot 100\% = \frac{x_{o'l} - x_h}{x_h} \cdot 100\%.$$

Ammo nisbiy xatolik o'lchash asboblari aniqligini o'lchash diapazonining faqat berilgan nuqtasidagina baholaydi. O'lchash asbobining butun ishchi doirasi bo'yicha aniqligini baholash uchun esa keltirilgan xatolik tushunchasidan foydalaniladi. *Keltirilgan xatolik  $\gamma$  harfi bilan belgilanadi va absolut xatolikni o'lchanayotgan kattalikning normallashtirilgan qiymati  $x_n$  ga nisbati bilan aniqlanadi:*

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_n} \cdot 100\% = \frac{x_{o'l} - x_h}{x_n} \cdot 100\%.$$

O'lchash asbobining *normallashtirilgan qiymati* deganda uning ishchi doirasidagi yoki shkalasidagi eng katta qiymati tushuniladi. Masalan, voltmترلarning o'lchash chegarasi 0 - 50 V bo'lsa, bunday voltmetr uchun  $x_n =$

50 V ga teng, bordiyu boshqa bir voltmetrning o'lchash chegarasi  $-3$  V dan  $+3$  V gacha bo'lsa, bunday voltmetr uchun  $x_n = 6$  V ga teng bo'ladi.

Keltirilgan xatolikning ruxsat etilgan qiymati bo'yicha barcha o'lchovlar va o'lchash asboblari aniqlik klassiga bo'linadi. *Aniqlik klassi* esa o'z navbatida son bilan belgilanib, bu son *keltirilgan xatoliku*ning eng katta ruxsat etilgan qiymatini ifodalaydi. Keltirilgan xatolikning yana bir qulayligi shundan iboratki, u ko'p chegarali o'lchash vositalari uchun ham bir xil qiymatga egadir. Shuning uchun ham bu xatolik o'lchash vositalari xossalari normallashtirishda qulay hisoblanadi.

O'lchash vositalarining xatoligi o'lchanayotgan kattalikning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatiga qarab *statik* va *dinamik xatoliklarga* bo'linadi. Vaqt bo'yicha o'zgarmaydigan kattaliklarni o'lchashda yuzaga keladigan xatolik *statik xatolik* deb ataladi. Dinamik holatdagi xatolik bilan o'lchanayotgan kattalikni berilgan vaqt paytidagi o'lchash statik xatoligi orasidagi farq *dinamik xatolik* deb ataladi.

O'lchash vositalari xatoliklarning o'zgarish xususiyatiga ko'ra *muntazam* va *tasodifiy xatoliklarga* ajratiladi. O'zgarmaydigan yoki ma'lum qonuniyat bilan o'zgaradigan xatoliklar *muntazam*, tasodifiy qonuniyat bilan o'zgaradigani esa *tasodifiy xatoliklar* deb ataladi.

Yuzaga kelish sharoitlariga ko'ra xatoliklar *asosiy* va *qo'shimcha xatoliklarga* ajratiladi. Normal sharoitlarda foydalanilayotgan o'lchash vositalarining xatoligi *asosiy*, o'lchash vositasi ish faoliyatiga ta'sir ko'rsatadigan omillarning birontasining normal qiymatidan og'ishi natijasida yuzaga keladigan xatoligi esa *qo'shimcha xatolik* deb ataladi.

O'lchash vositalari xatoliklari o'lchanayotgan kattalikka bog'liqligiga qarab *additiv* va *multiplikativ xatoliklarga* bo'linadi. O'lchanayotgan kattalikning o'zgarishiga bog'liq bo'lmagan o'lchash vositasining xatoligi *additiv* (lotincha *additio* - yig'indi) yoki *nol xatolik*, o'lchanayotgan kattalikning o'zgarishiga mutanosib o'zgaradigan xatolik *multiplikativ* (lotincha *multiplicatio* - ko'paytma) *xatolik* yoki *sezuvchanlik xatoligi* deb ataladi.

Bundan tashqari xatoliklar *instrumental* - qo'llanilayotgan o'lchash vositasi xatoligiga bog'liq bo'lgan va *metodik* (usul) - qo'llanilayotgan o'lchash usulining takomillashmaganligi tufayli yuzaga keladigan xatoliklarga bo'linadi.

Asosiy xatolik umumiy holda berilgan turdagi o'lchash vositalarining metrologik xarakteristikalarini aks ettirish kerak. Mavjud o'lchash asbobi asosiy xatoligini aniqlashda xatolik modelidan foydalaniladi.

Model sifatida ko'pincha quyidagi ifoda qo'llaniladi:

$$\Delta_{a,x}(t) = \Delta_{m,x}(t) + \dot{\Delta}_{l,s,j}(t) + \Delta_{t,k},$$

bunda  $\Delta_{a,x}(t)$  - asosiy xatolik;  $\Delta_{m,x}(t)$  - o'lchash vositasining muntazam xatoligi;  $\dot{\Delta}_{l,s,j}(t) = \dot{\Delta}_{k,l,e}(t) + \dot{\Delta}_{k,p,l,e}(t)$  - keng spektrli tasodifiy turg'un jarayon

xatoligi;  $\Delta_{k.l.e}(t)$  - xatolikni korrelyasiyalanmagan yuqori chastotali tashkil etuvchisi;  $\Delta_{k.p.l.e}(t)$  - xatolikni korrelyasiyalangan past chastotali tashkil etuvchisi;  $\Delta_{l.k}$  - gisterezis hodisasini hisobga oladigan tasodifiy kattalik.

Ketma-ket ulangan  $n$  ta o'zgartkichlardan iborat murakkab o'lchash vositasining asosiy xatoligini hisoblash uchun, ularning mos ravishda bir xil sharoitlardagi  $f_r(x)$  haqiqiy o'lchash o'zgartirish xarakteristikasidan  $f_i(x)$  ideal xarakteristikasi ayiriladi (agar asbobning chiqishiga keltirilgan xatolikni aniqlash kerak bo'lsa):

$$\Delta_0 = f_r(x) - f_i(x).$$

*Qo'shimcha xatolikni* o'lchash shartlariga va qo'llanilyotgan vositalariga ko'ra analitik yoki tajriba yordamida aniqlash mumkin. Xatolikning bu tashkil etuvchisi tashqi omillar va o'lchash axborotiga ega bo'lmagan parametrlar o'zgarishini aks ettirganligi sababli, har bir omilni normal sharoitdagi qiymatidan og'ishi natijasida yuzaga keladigan qo'shimcha xatolikning mumkin bo'lgan eng katta qiymati  $\Delta_q(x, \zeta)$  ta'sir funksiya deb ataluvchi  $\psi(x, \zeta)$  funksiyaning maksimumi ko'rinishida aniqlanadi, ya'ni

$$\Delta_q(x, \zeta) = \max \psi(x, \zeta),$$

bunda  $x$  - o'lchanayotgan kattalikning qiymati;  $\zeta$  - ta'sir etuvchi omil.

*Dinamik xatolikni* umumiy holda quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin:

$$\Delta_{din}(t) = y_r(t) - y_i(t),$$

bunda  $y_r(t)$ ,  $y_i(t)$  - haqiqiy va ideal o'lchash vositalarining signallari.

Dinamik xatolik natijalariga o'lchash vositasining kirish va chiqish signallari orasidagi vaqt siljishi keskin ta'sir etadi. Agar bu siljish e'tiborga olinmasa, u holda dinamik xatolik quyidagi ifoda yordamida hisoblanishi mumkin:

$$\Delta_{din}(t) = y_r(t + t_k) - y_i(t),$$

bunda  $t_k$  - avvaldan ma'lum kechikish vaqti.

O'zaro ta'sir xatoligini aniqlash uchun o'lchash asbobi yoki o'zgartkichining kirishidagi  $x(t)$  signal ifodasi quyidagi ko'rinishga keltiriladi:

$$X^*(j\omega) = X(j\omega) \frac{Z_{kir}(j\omega)}{Z_{kir}(j\omega) + Z_{chiq}(j\omega)},$$

bunda  $X(j\omega)$  - o'lchanayotgan kattalik;  $Z_{kir}(j\omega)$  - asbob (o'zgartkich)ning kirish qarshiligi;  $Z_{chiq}(j\omega)$  - axborot manbaining chiqish qarshiligi. Bunda o'zaro ta'sir xatoligi

$$\Delta_{o'z} = X^*(j\omega) - X(j\omega).$$

O'lchash vositasining ishlash asosida yotgan fizik hodisaning xususiyatlaridan kelib chiqqan holda, uning o'zgartirish funksiyasi nohiziq bo'lishi mumkin, bu esa nohiziqlik tufayli yuzaga keladigan xatolikka olib keladi. Agar o'lchash vositasining haqiqiy xarakteristikasi

$$f_r(x) = \sum_{j=1}^n a_j x^{j-1},$$

bo'lib va uni approksimatsiyalash natijasida olingan ideal xarakteristikasi  $f_i(x) = ax$  ma'lum bo'lsa, u holda nohiziq xatolik quyidagi ifoda yordamida aniqlanishi mumkin:

$$\Delta_N = \sum_{j=1}^n a_j x^{j-1} - ax.$$

Davlat standarti (GOST) bo'yicha me'yorlangan metrologik xarakteristikalariga ko'ra aniq ishlatish (ekspluatatsiya) sharoitlaridagi o'lchash vositasining xatoligi ikki bosqich (etap) da aniqlanadi. Birinchi bosqichda asosiy xatolikning matematik kutilishi  $m[\Delta_K]$  va dispersiyasi (sochilishi)  $D[\Delta_K]$  aniqlanadi:

$$m[\Delta_K] = M[\Delta_{K.C}];$$

$$D[\Delta_K] = D[\Delta_{K.C}] + D[\Delta_{\kappa}] + D[\Delta_V] + D[\Delta_{dr}],$$

bunda  $D[\Delta_V]$  va  $D[\Delta_{dr}]$  - mos ravishda variatsiya va parametrlar barqarorsizligi (dreyfi) xatoliklarining dispersiyalari.

Ikkinchi bosqichda qo'shimcha xatolikning matematik kutilishi va dispersiyasi hisoblanadi:

$$m[\Delta_d] = \sum_{j=1}^n M[f(\xi_j)];$$

$$\sigma^2[\Delta_d] = \sum_{j=1}^n D[f(\xi_j)],$$

bunda  $n$  - ta'sir etadigan omillar soni.

*Natijaviy xatolikni* aniqlash uchun yuqoridagi formulalar asosida hisoblangan xatoliklar tashkil etuvchilarini qo'shish lozim. Bu muammo barcha omillar ta'sirini yoki bilvosita o'lchash xatoliklarini baholashda paydo bo'ladi. Xatoliklarni qo'shganda matematik kutilishlar algebraik qo'shiladi, dispersiyalar esa tashkil etuvchi(asosiy va qo'shimcha)larning korrelyatsiyalanganligini hisobga olgan holda qo'shiladi. Keyin umumiy xatolikning boshqa tashkil etuvchilarining matematik kutilishlari va dispersiyalari aniqlanadi va nihoyat, natijaviy xatolikning matematik kutilishi va dispersiyasi qo'shiladi. Bunda barcha o'zgartkich (o'lchash asbob)lar ketma-ket ulangan deb olinadi. O'zgartkichlarni o'zaro boshqacha ulanishida ularning ulanish sxemasi e'tiborga olinadi.

O'lchash vositalarining aniqlik klasslari bitta son yoki kasr ko'rinishida ifodalanishi mumkin. Additiv xatoligi multiplikativ xatoligidan sezilarli darajada ortiq bo'lgan o'lchash vositalarining aniqlik klasslari  $1 \cdot 10^n$ ,  $1,5 \cdot 10^n$ ,  $2 \cdot 10^n$ ,  $2,5 \cdot 10^n$ ,  $4 \cdot 10^n$ ,  $5 \cdot 10^n$ ,  $6 \cdot 10^n$  sonlar qatoridan biri ko'rinishida ifodalanishi mumkin. Bu asboblarda o'lchash doirasidagi foizlarda ifodalangan asosiy keltirilgan xatolik uning aniqlik klassiga mos keladigan qiymatdan oshmasligi kerak. Bu asboblarga ko'pgina qayd etuvchi va analogli asboblir kiradi.

Additiv va multiplikativ xatoliklari bir-biriga yaqin bo'lgan o'lchash vositalarining aniqlik klasslari egri chiziq bilan ajratilgan ikkita son ko'rinishida ifodalanadi. Bunda o'lchash vositasining asosiy keltirilgan xatoligining chegaraviy qiymati O'zRST 8.401-80 ga ko'ra quyidagi ifoda yordamida hisoblanishi mumkin:

$$\delta_{\max} = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{x_k}{x_y} \right| - 1 \right) \right],$$

bu yerda:  $X_k$  – o'lchash doirasining oxirgi qiymati,  $c$  va  $d$  – nisbiy xatolik qiymatlariga proporsional bo'lgan o'zgarmas musbat sonlar.  $c/d$  nisbat o'lchash vositasi aniqlik klassini ifodalaydi.

Bitta kattalikni o'lchayotgan ko'p doirali o'lchash vositasi bir nechta aniqlik klassiga, masalan: 0–10, 0–20 va 0–50 A doirali ampermetr har bir o'lchash doirasi uchun alohida aniqlik klassiga ega bo'lishi mumkin.

**O'lchash vositasining o'zgartirish funksiyasi yoki statik xarakteristikasi.** O'lchash vositasining o'lchash ma'lumotini beruvchi kirish va chiqish kattaliklari orasidagi funksional bog'lanish uning *o'zgartirish funksiyasi* yoki *statik xarakteristikasi* deb ataladi.

**O'lchash vositalarining kirish va chiqish to'la qarshiliklari** ham uning metrologik xarakteristikasi turkumiga kiradi. Kichik quvvatli zanjirlarda o'lchash vositasi zanjirining ish rejimiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi va qo'shimcha xatoliklarni yuzaga keltiradi. O'lchash vositasining chiqish to'la qarshiligining qiymatiga qarab unga ulanish mumkin bo'lgan yuklama qiymati belgilanadi.

**O'lchash vositasi chiqish signali (ko'rsatishi)ning variatsiyasi(ko'rfasi)** uning muhim xarakteristikasi hisoblanadi. Tashqi sharoit o'zgaragan holda o'lchanayotgan kattalikning bitta qiymatini qayta o'lchashda yuzaga keladigan farq o'lchash vositasi ko'rsatishining variatsiyasi deb ataladi. Amalda variatsiya tekshirilayotgan asbob darajasining bir belgisiga to'g'ri keladigan, o'lchanayotgan kattalikning ortuvchi va kamayuvchi tomonlari bo'yicha o'lchab aniqlangan haqiqiy qiymatlari farqi bilan aniqlanadi.

**O'lchash vositalarining dinamik xarakteristikalari** ham uning metrologik xarakteristikalari turkumiga kiradi. Dinamik xarakteristika o'lchash vositasi energetik xossalarini ifodalaydi va o'lchash vositasi chiqish signalini vaqt bo'yicha o'zgarayotgan kirish signali parametrlari, tashqi ta'sir kattaligi va yuklama bilan bog'liqligini aniqlaydi. O'lchash vositasining dinamik xarakteristikalari uning dinamik xatoligini aniqlashga yordam beradi. O'lchash vositasi dinamik xossalarining berilishiga qarab *to'liq* va *qisman* dinamik

xarakteristikalariga bo'linadi. To'liq dinamik xarakteristikalariga: *differensial tenglamalar, impuls xarakteristika, o'tkinchi xarakteristika, uzatish funksiyasi, amplituda va faza chastota xarakteristikalari* majmuasi kiradi. Qisman dinamik xarakteristikalariga to'liq dinamik xarakteristikalarning ayrimlari kiradi. Masalan, o'lchash vositasi ko'rsatishining *tinchlanish vaqti*.

**O'lchash vositasining sezgirligi.** O'lchash vositasining chiqish kattaligi ortirmasining shu ortirmanini hosil qilgan kirish kattaligining o'zgarishiga nisbati o'lchash vositasining sezgirligi deb ataladi. Sezgirlik  $S$  harfi bilan belgilanadi va quyidagicha ifodalanadi:

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$$

Statik xarakteristikasi chiziqli bo'lgan o'lchash vositasining sezgirligi o'zgarmas, nochiyiq statik xarakteristikasiga ega o'lchash vositasining sezgirligi esa o'zgaruvchan bo'ladi.

**O'lchash vositasining doimiysi.** Sezgirlikka teskari bo'lgan miqdor - daraja bir bo'lagining qiymati yoki o'lchash vositasining doimiysi deb ataladi:

$$C = 1/S.$$

**O'lchash vositasining boshlang'ich sezgirligi.** O'lchayotgan kattalikning o'lchash vositasi yordamida o'lchash mumkin bo'lgan eng kichik o'zgarishi o'lchash vositasining boshlang'ich sezgirligi yoki sezgirlik ostonasi deb ataladi.

**O'lchash vositasining o'lchash doirasi.** O'lchayotgan kattalikning yo'l qo'yilgan xatoligi normallashtirilgan qiymatlari sohasi o'lchash vositasining o'lchash doirasi deyiladi.

O'lchash vositasi metrologik xossalarning vaqt o'tishi bilan o'zgarishlik xususiyati uning mo'tadilligidir.

Zanjirga ulangan o'lchash asbobi ma'lum miqdorda quvvat iste'mol qiladi va kichik quvvatli zanjirlarda uning ish holatini o'zgartiradi hamda qo'shimcha xatolikni yuzaga keltiradi. O'lchash asbobi iste'mol qilayotgan quvvat uning kirish qarshiligining qiymati bo'yicha belgilanadi.

**O'lchash vositasining ishonchliligi** uning asosiy xarakteristikalari normallashtirilgan qiymatlarining belgilangan vaqt oralig'ida ishlash mobaynida saqlanishi bilan belgilanadi. Ishonchlilik son jihatdan belgilangan tashqi sharoit va vaqt oralig'i mobaynida o'lchash vositasining normal ishlash ehtimoli bilan tavsiflanadi.

## 1.5. Amplituda-chastotaviy xarakteristika parametrlarini o'lchash usullari

To'rtqutbliklarning amplituda-chastotaviy xarakteristika (AChX) lari parametrlarini ikkita usul yordamida o'lchash mumkin: 1) uzatish koeffitsiyenti modulini chastotaga bog'lanishini nuqtalab olish va keyin AChX egri chizig'ini

interpolyasiya qilish; 2) chastotasi o'zgaruvchi generator(ChO'G) va indikatorli qurilma(IQ) yordamida AChXning panoramali tasvirini hosil qilish.

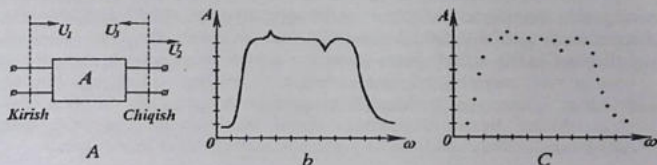
Birinchi usul sinusoidal signal generatori, voltmetr yoki quvvat o'lchagichdan foydalanishga asoslangan. Tadqiq qilinadigan to'rtqutblik kirishiga generatordan ma'lum chastotali signal uzatiladi. Bunda to'rtqutblikning kirishi va chiqishidagi signal o'lchanadi (1.3 - rasm). Uzatish koeffitsiyenti quydagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$A = U_2 / U_1; \quad U_3 = 0.$$

Bu usul bir qator kamchiliklarga ega:

AChXni nuqtalab olish ko'p vaqtni talab etadi;

AChXning diskret qiymatlari olinganligi cababli o'lchash oraliqlaridagi egri chiziqning keskin o'zgarishlari tushib qolishi mumkin (1.3 - rasm, a va b)



1.3 - rasm. a - To'rtqutblik sxemasi; b - AChX ning haqiqiy egri chizig'i; c - AChXning nuqtalab olingan qiymatlari.

O'lchash natijalariga AChX haqiqiy egri chiziqning buzilishiga tashqi muhit harorati va manba kuchlanishining o'zgarishi ta'sir qilishi mumkin.

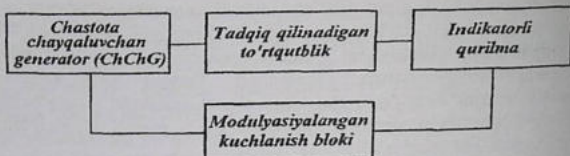
AChX parametrlarini o'lchashning ikkinchi usuli yuqorida ta'kidlangan kamchiliklardan holi. Lekin bu usulda AChXning har bir nuqtasida o'lchash jarayoniga ketadigan vaqt qisqa bo'lganligi sababli o'lchash aniqligi nisbatan past. Ikkinchi usulni qo'llashda ma'lum diapazonda chastotasi bir tekis o'zgaradigan generator va AChX egri chizig'ini tiklaydigan indikator kerak bo'ladi. Bu indikator sifatida ossillografik qurilmadan yoki ikki koordinatali o'ziyozar asbobdan foydalanish mumkin.

AChX avtomatik o'lchagichning funksional sxemasi (1.4 - rasmda keltirilgan).

ChO'Gdan olinadigan signal tadqiq qiladigan to'rtqutblikka uzatiladi. To'rtqutblikning uzatish koeffitsiyentining moduli chastotaga bog'liq bo'lganligi sababli uning chiqishidagi signal modulyasiyalangan bo'ladi.

ChO'G chastotasini va indikator nurining gorizontal og'ishini sinxron boshqarish vazifasini modulyasiyalangan kuchlanish bloki bajaradi.

Bu sxema asosida ishlaydigan AChX parametrlarini o'lchagichda indikator ekranidagi nurning gorizontal holati tadqiq qilinadigan to'rtqutblik kirishidagi chastotaga mos, vertikal holati esa - shu chastotadagi uzatish koeffitsiyenti



1.4 – rasm. AChX avtomatik o'lchagichning funksional sxemasi

modul qiymatiga mos. Shunday qilib, indikator ekranida avtomatik ravishda tadqiq etilayotgan to'rtqutblik AChX egri chizig'i chiziladi.

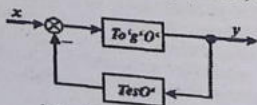
Modulyasiyalangan kuchlanishni shakli ixtiyoriy (arrasimon, uchburchak, sinusoidal va sinusoidal) bo'lishi mumkin. Lekin muhimi shuki, chastotaning o'zgarish qonuniyati indikator nurining gorizonttal chiziq bo'yicha o'zgarish qonuniyatiga mos kelishi lozim. Chastota qiymatini sanab olish uchun ko'pincha hollarda ChO'G signali kvartsiy generator signali bilan qo'shib beriladi. Uzatish koeffitsiyenti modulini o'lchash uchun indikatorning vertikal og'ishini qiymatlash avvaldan o'lchangan kuchlanish yordamida darajalanadi. ChO'G chastotaning o'zgarishining butun diapazonida signal amplitudasini o'zgarish qiymatlash ushlab turish uchun amplitudani avtomatik rostdlash bloki xizmat qiladi.

### 1.6. O'lchash xatoliklarini kamaytirish usullari

Analog o'lchash vositalari xatoliklarini kamaytirish usullariga asosan quyidagilar kiradi: haqiqiy o'zgartirish xarakteristikasini mo'tadillash, xatoliklarni kompensatsiyalash va korreksiyalash; xatoliklarni filtrlash konstruktiv usullar.

**Real o'zgartirish xarakteristikasini mo'tadillash.** Bu usulga muvofiq o'lchash vositasida manfiy teskari bog'lanish qo'llaniladi (1.5 - rasm).

Bu sxemada ikkita o'zgartkich ishlatiladi – to'g'ri yo'nalishdagi ( $To'g'O'$ ) va teskari yo'nalishdagi ( $TesO'$ ) o'zgartkichlar. Bu universal usul bo'lib, teskari bog'lanish yordamida har xil tashqi omillarning o'lchash vositasi ish rejimiga ta'siri kamayadi. Teskari bog'lanishli o'lchash vositas chiqishidagi signali quyidagicha aniqlanadi:



1.5 – rasm. Mafiy teskari bog'lanishli o'lchash vositasi

bu yerda:  $S_{tes}$  – teskari bog'lanish zanjirining sezgirligi.

$$y = \frac{x}{S_{tes}}$$

**Xatoliklarni kompensatsiyalash.** Elektr o'lchash asboblari xatolikni kompensatsiyalash maqsadida xatoligi o'lchash asbobi xatoligi bilan korrelyatsiyalangan qo'shimcha qism kiritiladi. Natijaviy xatolik quyidagicha topiladi:

$$\Delta_{a-H}(\xi) = \Delta_a(\xi) - \Delta_k(\xi),$$

bu yerda:  $\Delta_{a-H}(\xi)$  – tashqi omillar ta'siridagi natijaviy asosiy xatolik;  $\Delta_a(\xi)$  – o'lchash asbobining asosiy xatoligi;  $\Delta_k(\xi)$  – o'lchash asbobi xatoligi bilan korrelyatsiyalangan tashqi omillar xatoligi.

Xatoliklarni kompensatsiyalash usulining kamchiligi xatolikni kompensatsiyalovchi qo'shimcha qism parametrlarini tanlashning murakkabligidir.

**Xatoliklarni korreksiyalash(tuzatish).** O'lchash vositalari xatoliklarini kamaytirish maqsadida oddiy va avtomatik korreksiyadan keng foydalaniladi. Bular: kalibrovka, tuzatma kiritish, o'z-o'zini rostlash, iteratsiya, adaptatsiya, namuna signallari yordamida kamaytirish va boshqalar.

O'lchash vositasi kalibrovkasining nisbiy xatoligi umumiy holda quyidagi tashkil etuvchilardan iborat:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_0 + \delta_x + \delta_{y_0} + \delta_y + \delta'_0$$

bu yerda:  $\delta_0$  va  $\delta_x$  – mos ravishda nolni o'rnatish va namuna signali manbai chiqish signalining xatoliklari;  $\delta_{y_0}$  va  $\delta_y$  – mos ravishda nolni o'rnatish va sezgirlik xatoliklari;  $\delta'_0$  – additiv xatolikni to'la yo'qotilmaganligi tufayli yuzaga kelgan o'lchash asbobining qo'shimcha xatoligi.

O'lchash vositasining xatoligini tuzatma kiritish usuli bilan korreksiyalashda uning o'zgartirish funksiyasini siljitish bilan amalga oshirish mumkin. Buning uchun ko'pincha teskari o'zgartkichdan foydalaniladi. Kirish va teskari o'zgartkich signallarining farqi o'lchash vositasiga tuzatma kiritish uchun ishlatiladi.

O'lchash vositasining xatoligini korreksiyalashda iteratsiya usulini qo'llash sxemada qo'shimcha imkoniyatlar yaratadi hamda tezkorlik yuqori bo'lishini ta'minlaydi. Buning uchun o'lchash vositasida vaqt va fazaviy kanallar ajratiladi. Kanallari vaqt bo'yicha ajratilgan o'lchash vositasining to'g'ri yo'nalishdagi o'zgartkich chiqishiga hisoblash qurilmasi ulanadi. Bu qurilmaning kirish qismiga teskari yo'nalishdagi o'zgartkich signali ham beriladi. To'g'ri va teskari yo'nalishdagi signallar farqi hisoblangandan keyin o'lchash natijasiga birinchi tuzatma (birinchi korreksiya) kiritiladi. Keyin xuddi shunday usul bilan ikkinchi tuzatma kiritiladi va hokazo.

Tuzatma kiritish (iteratsiya) jarayoni tugagandan keyin, o'lchash xatoligi ancha kamayadi. Kanallari fazaviy ajratilgan o'lchash vositalarida xatolikni korrektirovka(to'g'rilab turishni tashkil) qilish uchun to'g'ri va teskari

yo'nalishdagi o'zgartkichlardan foydalaniladi. Bunda barcha teskar yo'nalishdagi o'zgartkichlar namuna o'zgartkichlar bo'lishi kerak. Bunday hollarda o'lchash vositasining xatoligi asosan oxirgi o'zgartkichning additiv xatoligi bilan aniqlanadi.

Namuna signallari yordamida xatolikni korreksiyalashda o'lchash vositas yuqori tezkorlikka ega bo'lishi kerak. O'lchash vositasi struktura sxemasida namuna elementlar to'plami va o'lchanayotgan hamda namuna signallarini navbatma-navbat ulash uchun tezkor uzgich-ulagich kiritiladi. O'lchanayotgan va namuna signallar ayirmasi hisoblash qurilmasi yordamida har bir o'lchash natijasiga ko'ra aniqlanadi. Bu additiv va multiplikativ xatoliklarni kamaytirish imkonini beradi. Bundan tashqari, korreksiyalashning bu usuli nochiqiq xarakteristikali o'lchash vositalari xatoliklarini kamaytirish imkonini ham beradi. Shunday hollarda hisoblash qurilmasi nochiqiq tenglamalar tizimini yechishga mo'ljallangan bo'lishi kerak.

**Dinamik o'lchashlarda** xatolikni korreksiyalash usullaridan biri – o'lchash vositasi chiqish signaliga ko'ra uning kirish signalini tiklashdir.

Xatolikni korreksiyalashning ilg'or usullaridan biri – o'lchash vositasi strukturasiga hisoblash qurilmalarini, ya'ni mikroprotsektorlarni kiritishdir. Bunda korreksiyalash jarayoni avvaldan ko'zda tutilgan dastur asosida bajariladi.

Xatoliklarni korreksiyalash usullarini qo'llashning murakkabligi, asosan o'lchash vositasining turg'un ishlashini ta'minlashga bog'liq.

O'lchash amaliyotida xatolikni kamaytirish uchun signalni *filtrlash* va *konstruktiv* (ekran, yerga ulash, izolyatsiya va hokazo) usullaridan ham keng foydalaniladi.

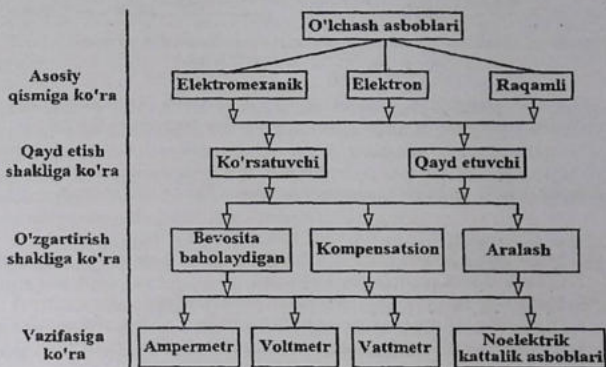
### 1.7. O'lchash asboblarning klassifikatsiyasi

O'lchash asboblari asosiy qismi, qayd etish shakli, o'zgartirish shakli va vazifasiga ko'ra klassifikatsiyalanadi (1.6-rasm).

Tarkibida *elektron* (elektrovakuum, ion va yarim o'tkazgichli) qismlar bo'lmagan o'lchash asboblari *elektromexanik* asboblardan tarkibida elektron qismlari bo'lgan o'lchash asboblari esa *elektron o'lchash asboblari* deb ataladi. Ko'rsatuvchi o'lchash asboblari o'lchash natijasini qayd etadi. Bevosita baholaydigan asboblarda o'lchanayotgan kattalik boshqa kattalikka bir yo'nalishda o'zgartiriladi. Kompensatsion asboblarda o'lchanayotgan kattalik qiymati uning o'lchovi bilan taqqoslanadi.

Bu asboblarda o'lchash zanjiri butunlay teskari bog'lanish zanjiri ta'sirida bo'ladi. Aralash o'zgartirish usuliga asoslangan asboblarning o'lchash zanjirining bir qismi teskari bog'lanish zanjiri ta'sirida bo'ladi. Vazifasiga ko'ra o'lchash asboblari *elektrik* (*tok, kuchlanish, quvvat, chastota va boshqalar*) va

noelektrik (mexanik, gidravlik, issiqlik, optik va boshqalar) kattaliklarni o'lchovchi asboblarga bo'linadi.



1.6 – rasm. O'lchash asboblarning klassifikatsiyasi

Masala. Yuqori o'lchash chegarasi 10 A bo'lgan ampermetr shkalasining 2, 4, 6, 8, 10 A nuqtalariga mos ravishda 2,041; 3,973; 6,015; 8,026; 9,976 A to'g'ri kelsa, asbobning aniqlik klassini toping.

**Yechish.** O'lchash asbobining asosiy o'lchamlari 2, 4, 6, 8, 10 A lardagi o'lchashning absolut xatoligini  $\Delta x_i = x_k - x_x$  hisoblaymiz:

$$\Delta x_2 = 2 - 2,041 = -0,041 \text{ A}; \quad \Delta x_4 = 4 - 3,973 = 0,027 \text{ A};$$

$$\Delta x_6 = 6 - 6,015 = -0,015 \text{ A}; \quad \Delta x_8 = 8 - 8,026 = -0,026 \text{ A};$$

$$\Delta x_{10} = 10 - 9,976 = 0,024 \text{ A}.$$

Nisbiy xatoliklarni hisoblaymiz:

$$\delta_2 = \frac{-0,041}{2,041} \cdot 100\% = -2,05\% \quad ; \quad \delta_4 = \frac{0,027}{3,973} \cdot 100\% = 0,63\% ;$$

$$\delta_6 = \frac{-0,015}{6,015} \cdot 100\% = -0,25\% \quad ; \quad \delta_8 = \frac{-0,026}{8,026} \cdot 100\% = -0,326\% ;$$

$$\delta_{10} = \frac{0,024}{9,976} \cdot 100\% = 0,24\%$$

Keltirilgan xatoliklar:  $\gamma = (\Delta x_i / x_x) \cdot 100\%$

$$\gamma_2 = \frac{-0,041}{10} \cdot 100\% = -0,41\% ; \quad \gamma_4 = \frac{0,027}{10} \cdot 100\% = 0,27\% ;$$

$$\gamma_4 = \frac{-0,015}{10} \cdot 100\% = -0,15\% ; \quad \gamma_8 = \frac{-0,026}{10} \cdot 100\% = -0,26\% ;$$

$$\gamma_{10} = \frac{0,024}{10} \cdot 100\% = 0,24\% .$$

O'lchash asbobining aniqlik klassi keltirilgan xatolikning eng katta qiymatining katta tomonga yaxlitlangan qiymatiga teng, ya'ni 0,5.

### 1- amaliy ish

Absolut, nisbiy va keltirilgan xatoliklarni aniqlashga doir masala.

#### Referat mavzulari

1. Metrologiya hamda elektr o'lchashlarning fan va texnikadagi ahamiyati.
2. O'zbekistonda metrologik ta'minot.
3. Elektr o'lchashlarning xususiyatlari va afzalliklari.
4. O'lchash xatoliklari, ularning klassifikatsiyasi va kamaytirish usullari.
5. O'lchash asboblarning asosiy xarakteristikalari va parametrlari.

#### O'z-o'zini sinash savollari

1. Elektr o'lchashlar fani nimalarni o'rganadi, uning mazmuni va vazifalari nimalardan iborat?
2. Elektr o'lchashlarning fan va texnikadagi ahamiyatini gapirib bering.
3. O'rta asrlarda Sharqda dastavval o'lchashlarga doir qanday ishlar bajarilgan?
4. O'lchash, o'lchash asbobi, o'lchov, o'lchash o'zgartkichi, o'lchash tizimi deb nimalarga aytiladi?
5. O'lchash umumbirligi qanday bajariladi?
6. SI tizimining asosiy birliklari qaysilar?
7. O'lchash xatoliklari to'g'risida nimalarni bilasiz?
8. O'lchash xatoliklarini qanday kamaytirish usullarini bilasiz?
9. E.yu.k. elektr qarshilik, sig'im va induktivlik o'lchovlari qanday tuzilgan?
10. Aniqlik klassi ta'rifini bering. U qanday aniqlanadi?

## II bob. ELEKTR KATTALIKLARNI O'LCHOVCHI ASBOBLAR

### 2.1. Analog elektromexanik asboblari

#### 2.1.1. Analog o'lchash asboblari turlari, tuzilishi, xossalari va qismlari

Bevosita o'lchovchi elektromexanik asbob analog asbob bo'lib, undagi qo'zg'aluvchan qismning holati o'lchanayotgan kattalikning qiymatiga bog'liq. Vazifasi va ishlash asosidan qat'iy nazar *elektromexanik asboblari o'lchash zanjiri* (*O'Z*), *o'lchash mexanizmi* (*O'M*) va *qayd qilish qurilmasi* (*QQQ*) dan tashkil topgan bo'ladi. 2.1- rasmda bevosita o'lchovchi elektromexanik asboblari umumlashgan blok-sxemasi keltirilgan.

**O'lchash zanjiri (O'Z)** – asbobning bir necha qismidan iborat bo'lib, o'lchanayotgan kattalik  $x$  ni o'lchash mexanizmiga bevosita ta'sir etuvchi elektr kattalik  $y$  ga o'zgartirish uchun xizmat qiladi.

**O'lchash mexanizmi (O'M)** – asbobning bir qismidan iborat bo'lib, u elektr (magnit) energiya qo'zg'aluvchan qismni siljituvchi mexanik energiyasiga o'zgartiradi. Aksariyat o'lchash mexanizmlarida qo'zg'aluvchan qismning siljishi ma'lum o'q atrofida  $\alpha$  burchakka burilishdan iborat bo'ladi.

**Hisoblash yoki qayd qilish qurilmasi (QQQ)** – asbob konstruksiyasining bir qismi bo'lib, ko'rsatkich va shkaladan tuzilgan. U qo'zg'aluvchan qismning burchak siljishini ko'rsatkich siljishiga o'zgartirib beradi.



2.1- rasm. Elektromexanik asboblari umumlashgan blok-sxemasi.

Elektr o'lchash asboblari sezgirligi

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{d\alpha}{dy} \cdot \frac{dl}{d\alpha} = \frac{dl}{dx}$$

bo'lib, bu yerda:  $S_1 = \frac{dy}{dx}$ ,  $S_2 = \frac{d\alpha}{dy}$ ,  $S_3 = \frac{dl}{d\alpha}$  – mos ravishda

*o'lchash zanjiri*, *o'lchash mexanizmi* va *qayd etish qurilmasining sezgirligi*. Analog o'lchash asboblari bajaradigan funksiyasi bo'yicha ikki guruhga bo'linadi: *o'lchash axborotini olish*, *qayta ishlash* va *foydalanishda qulay shaklga keltirish hamda o'lchash apparaturasini shahodatlash (attestatsiyalash)* va *qiyoslash* (poverka). Natijalarni *taqdim qilish bo'yicha* o'lchash asboblari ko'rsatuvchilarga va ro'yxatlovchi (qaydlovchi)lar; *o'lchash usuli bo'yicha* bevosita baholovchi va solishtiruvchi; *qo'llash usuli* va *konstruksiyasi bo'yicha* shitli, ko'chiriladigan va ko'chmaydigan (stasionar); *aniqlik bo'yicha* xatoligi me'yorlangan asboblarga va indikatorlar (xatoligi me'yorlanmaydi)

ga bo'linadi. *Ishlash asosiga ko'ra asboblarni elektromexanik, issiqlik va boshqalarga bo'lish mumkin. Vazifasi bo'yicha o'lchash asboblari elektr, magnit, issiqlik, kimyoviy va boshqa (noelektrik) kattaliklarni o'lchovchi asboblarga bo'linadi. Tashqi sharoit ta'siridan himoyalaniishi bo'yicha asboblarning o'zaro ta'siri bo'yicha asboblarga bo'linadi. Tashqi sharoit ta'siridan himoyalaniishi bo'yicha asboblarga bo'linadi.*

Barcha elektr o'lchov asboblarning umumiy texnik talablarga javob berishi GOST 22261-82 bilan me'yorlangan. Elektr o'lchov asboblarga qo'yiladigan shartli belgilar GOST 23217-78 bilan aniqlangan.

Elektromexanik analog asboblarning umumiy qismlariga *quti, qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan qismlar, teskari ta'sir etuvchi moment hosil qiluvchi qurilma, tinchlantirgich, qayd etuvchi qurilma* va boshqalar kiradi.

*Asbobning qutisi* uning barcha qismlarini mahkamlash va tashqi ta'sirdan saqlash uchun xizmat qiladi. Quti metall yoki plastmassadan har xil shaklda yasalanadi.

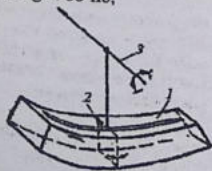
*Qo'zg'almas qism* ko'pgina asboblarda magnit o'zakka o'ralgan yoki o'zaksiz g'altakdan iborat bo'ladi. Ayrim asboblarda qo'zg'almas qism doimiy magnit yoki elektr o'tkazuvchi plastinka ko'rinishida bo'lishi mumkin.

Asboblarning *qo'zg'aluvchan* qismi doimiy magnit, g'altak, elektr o'tkazuvchi disk, ferromagnit o'zak yoki elektromagnit ekran (to'siq) vazifasini bajaruvchi qisqa tutashtirilgan bir o'ramli g'altak ko'rinishida bo'ladi. Qo'zg'aluvchan qism o'z o'qi atrofida burilishi uchun u *tayanch, tortqi* yoki *osmalarga* o'rnatiladi.

*Teskari ta'sir etuvchi moment* hosil qilish uchun *spiral* yoki *tasmasimon prujinalardan* foydalaniladi.

Tinchlantirgich asbob zanjiriga ulanganda yoki o'lchanayotgan kattalikning qiymati o'zgarganda, qo'zg'aluvchan qismni tezroq tinchlantirish uchun xizmat qiladi. Elektromexanik asboblarda *havoli, magnitoinduksiya va suyuqlik tinchlantirgichlar* ishlatiladi.

**Havoli tinchlantirgich** (2.2- rasm) yopiq bo'lma (kamera) 1 shaklida yasalgan bo'lib,



2.2- rasm. Havoli tinchlantirgich

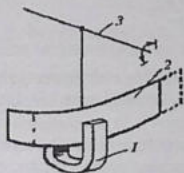
uning ichiga aluminijdan yasalgan yengil qanot 2 joylashtirilgan. Bu qanot qo'zg'aluvchan qism o'qi 3 bilan tutashtirilgan. Qo'zg'aluvchan qismning tinchlanish samarasi qanot harakatlanganda hosil bo'luvchi bosimlar farqi hisobiga bo'ladi.

**Magnitoinduksiya tinchlantirgich** (2.3- rasm) doimiy magnit 1, uning qutblari orasiga joylashtirilgan va asbob qo'zg'aluvchan qismiga mahkamlangan elektr o'tkazuvchi nomagnit plastinka 2 hamda o'q 3 dan iborat. Bu

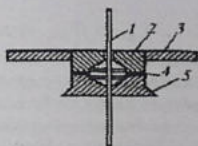
tinchlantirgichning ishlashi tebranayotgan plastinkada doimiy magnit maydoni hosil qilgan uyurmaviy toklar maydonini o'zini yuzuga keltirgan maydonga

tortilishiga asoslangan. Bunday tinchlantirgichlar oddiy va ishonchli, lekin ular doimiy magnit maydoni asbobning asosiy ishchi maydoniga ta'sir ko'rsatmaydigan hollarda qo'llaniladi.

**Suyuqlikli tinchlantirgichlarning** ishlashi. suyuqliklarni qovushqoqlik xususiyatlariga asoslangan (2.4- rasm).



2.3- rasm. Magnitoinduksiya tinchlantirgich



2.4- rasm. Suyuqlikli tinchlantirgich

Bunday tinchlantirgichlar ikkita disk(lappak) 2, 5 dan iborat bo'lib, ulardan biri 5 asbobning qo'zg'aluvchan qismi 1 o'qqa, ikkinchisi 2 esa uning qo'zg'almas qismi panel 3 ga mahkamlanadi. Bu disklar oralig'i millimetrning bir necha ulushiga teng bo'lib, u polimetilsiloksan suyuqlik 4 bilan to'ldirilgan. Suyuqlikli tinchlantirgichlar yengil va o'lchamlari kichik bo'lganligi sababli amaliyotda keng qo'llaniladi.

Elektromexanik asbobning qayd qilish qurilmasi bir yoki bir nechta daraja va ko'rsatkich (mil)dan iborat. O'lchash asbobining vazifasi, ishlash prinsipi va konstruksiyasiga ko'ra har xil darajalar va ko'rsatkichlar bo'ladi. Darajalar nomlangan, ya'ni, o'lchanuvchi kattaliklar birliklarida darajalangan yoki shartli nomlangan; shakliga qarab: to'g'ri chiziqli – gorizontaal yoki vertikal; yoysimon (yoy burchagi 180° gacha bo'lganda) – gorizontaal, vertikal yoki qiya; aylanma (yoy burchagi 180° dan ko'proq bo'lganda) bo'ladi.

Belgilarning shkalada joylashish xususiyatiga qarab: tekis – (aylantiruvchi momentning o'lchanayotgan kattalikka bog'liqligi chiziqli bo'lganda), notekis – (yuqoridagi bog'liqlik nochiziqli bo'lganda) bo'ladi. Nolning joylashish o'rniga qarab: bir tomonli (nol darajaning boshlanishida joylashgan), ikki tomonli (nol darajaning o'rtasida joylashgan) darajalar farqlanadi.

Qayd qilish qurilmasiga nisbatan kuzatuvchi kishi ko'zining noto'g'ri holati hisobiga hosil bo'ladigan, ya'ni parallaks xatolikni kamaytirish maqsadida, o'lchash asboblarning darajasi ko'zguli qilinadi. Bunda qayd qilish qurilmasiga shunday qarash kerakki, ko'rsatkich ko'zguda o'z aksini berkitsin.

Ko'rsatkichlar turli shakllarda yasalishi mumkin: yoysimon, nurli va raqamli.

Elektromexanik asboblarning qo'zg'aluvchan qismlariga har xil momentlar ta'sir qiladi. O'lchash asbobida o'lchanayotgan kattalik ta'sirida hosil

bo'ladigan va qo'zg'aluvchan qismni ma'lum burchakka buradigan momentni aylantiruvchi moment deb ataladi. Bu moment umumiy holda o'lchanayotgan kattalik  $x$  va qo'zg'aluvchan qism burilish burchagi  $\alpha$  ning funksiyasi bo'lib o'lchash mexanizmidagi to'plangan elektromagnit energiyaning  $\alpha$  burchak bo'yicha o'zgarishi bilan tavsiflanadi:

$$M_{\text{ayl}} = F(x, \alpha) = \frac{dW_{EM}}{d\alpha}, \quad (2.1)$$

bu yerda:  $M_{\text{ayl}}$  va  $W_{EM}$  aylantiruvchi moment va elektromagnit energiya.

Aylantiruvchi momentni hosil qilish usuliga ko'ra elektromexanik asboblarni magnitoelektrik, elektromagnit, elektrodinamik, ferrodinamik, elektrostatik va induksion guruhlarga bo'linadi.

Agar asbobning qo'zg'aluvchan qismiga faqat aylantiruvchi moment ta'sir qilsa, asbob ko'rsatkichi o'zining maksimal qiymatigacha burilib, o'lchanayotgan kattalik qiymatiga proporsional bo'lmaydi. Qo'zg'aluvchan qismning burilishi o'lchanayotgan kattalik qiymatiga proporsional bo'lish uchun teskari ta'sir etuvchi moment mavjud bo'lishi va uning qiymati o'lchash burchakka bog'liq ravishda o'zgarishi lozim.

Elektromexanik asboblarda teskari ta'sir etuvchi moment ikki xil usulda hosil qilinadi.

1. Mexanik usul – spiral prujina tortqi yoki osma shaklda bo'lib, uning bir uchi asbob qo'zg'aluvchan qismiga, ikkinchi uchi esa qo'zg'almas qismga mahkamlanadi. Bunda teskari ta'sir etuvchi moment quyidagicha aniqlanadi:

$$M_T = \alpha W,$$

bu yerda:  $W$  – prujinaning solishtirma teskari ta'sir etuvchi momenti bo'lib, qiymati prujinaning o'lchamlari va materialiga bog'liq.

2. G'altaklar magnit maydonlarining o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladigan moment (logometrlarda).

Asbob ko'rsatkichining turg'un holatida aylantiruvchi va teskari ta'sir etuvchi momentlar tenglashadi, ya'ni:

$$M_{\text{ayl}} = M_T \quad (2.2)$$

bo'ladi.

O'lchash asbobining dinamik ish holatida, ya'ni qo'zg'aluvchan qismning harakati paytida unga  $M_{\text{ayl}}$  va  $M_T$  momentlardan tashqari boshqa momentlar ham ta'sir qiladi. Bu momentlar qo'zg'aluvchan qismning havoga ishqalanishi, tayanchlardagi ishqalanishlar va inersiya momentlari tufayli yuzaga keladi hamda asbob xatoligini oshiradi.

Elektromexanik asboblarda qo'zg'aluvchan qismli o'lchash mexanizmining sifatini baholashda asllik koeffitsiyenti tushunchasidan keng foydalaniladi. Bu koeffitsiyent ishqalanishdan yuzaga keladigan keltirilgan xatolikka teskari proporsionaldir. Asllik koeffitsiyenti ko'pchilik mexanizmlar uchun quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

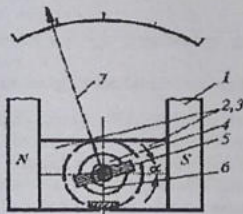
$$A = \frac{M_{(90^\circ)}}{G^{1.5}},$$

bu yerda  $G$  - qo'zg'aluvchan qism massasi, kg;

$M_{(90^\circ)}$  -  $90^\circ$  burchakka keltirilgan aylantiruvchi moment, N·m.

## 2.1.2. Magnitoelektrik asboblari

Qo'zg'aluvchan g'altakli magnitoelektrik asboblari yuqori aniqlikka va sezgirlikka ega bo'lganligi sababli juda keng tarqalgan. Bunday asboblarning o'lchash mexanizmi (2.5- rasm) *doimiy magnit 1, uning qutb boshmoqlari 2, 3 orasiga ma'lum masofada joylashtirilgan ferromagnit silindrsimon o'zak 4, uni o'rab turuvchi qo'zg'aluvchan g'altak - ramka 5, bir uchi ramkaga mahkamlangan spiral prujina 6 hamda ko'rsatkich 7 dan tashkil topgan.*



2.5- rasm. Magnitoelektrik asbob o'lchash mexanizmi

ramkaning radiusi,  $l$  - ramkaning uzunligi;  $w$  - ramkadagi chulg'amning o'ramlar soni;  $I$  - ramka chulg'amidagi tok;  $s = 2rl$  - ramka chulg'amining aktiv yuzi.

Magnitoelektrik asbobning statik xarakteristikasi

$$\alpha = \frac{Bsw}{W} I$$

bo'lib, bu yerda: - ramkaning burilish burchagi. Magnitoelektrik asboblari faqat o'zgarmas tokda ishlaydi. Demak, asbob ko'rsatkichi kerakli tomonga burilishi uchun uni zanjirga ulashda o'lchanayotgan kattalik (tok, kuchlanish) ning ishorasi (+, -) ga e'tibor berish kerak.

Asbobning sezgirligi

$$S = \frac{Bsw}{W}$$

burilish burchagiga bog'liq emas, shuning uchun ham bunday asboblarning darajasi tekis.

Toshkent politexnika institutida professor Zaripov M.F. tomonidan tavsiya etilgan qo'zg'aluvchan qismining burilish burchagi katta va o'lchash doirasida sezgirligi doimiy bo'lgan magnitoelektrik o'lchash asbobiining konstruktiv sxemasi 2.6-rasmda keltirilgan.

O'roqsimon o'zaklarning solishtirma magnit qarshiliklarini o'zaklar uzunliklari bo'yicha o'zgarishlari quyidagi tenglamalar yordamida aniqlanadi:

$$r_{\mu i} = \frac{\rho_{\mu}}{h_i b} = \frac{\rho_{\mu} l_m}{h_m b l},$$

$$r_{\mu T} = \frac{\rho_{\mu}}{h_i b} = \frac{\rho_{\mu} l_m}{h_m b (l_m - l)},$$

bu yerda  $\rho_{\mu}$  - o'zaklar materialining solishtirma magnit qarshiligi;  $h_i = \frac{h_m l}{l_m}$ ,

$h_i = \frac{h_m}{l_m} (l_m - l)$  - ichki va tashqi o'zaklarning qalinliklari;  $l_m$  - o'zakning maksimal uzunligi;  $h_m, b$  - mos ravishda o'zakning maksimal qalinligi va eni.

Bu asbobda qo'zg'aluvchan qismning burilish burchagi  $330^{\circ}$  gacha yetishi mumkin. Bu o'lchash doirasida magnit oqimlari yo'lidagi magnit qarshilik bir xil bo'lganligi sababli ishchi havo oralig'idagi magnit maydonining induksiyasi bir xil qiymatga ega, qutb boshmoqlardagi oqimlarning asbob qo'zg'aluvchan qismi burilish burchagi  $\alpha$  bo'yicha taqsimlanish qonuniyati esa chiziqli bo'lganligi sababli asbobning sezgirligi butun o'lchash doirasida o'zgarmasdir.

Magnitoelektrik asboblarda o'lchash aniqligi yuqori bo'lgan asboblarga kiradi. Ular 0,1 aniqlik klassigacha yasalishi mumkin. Ishchi havo tirqishida magnit maydonining bir tekis taqsimlanganligi darajalash (graduirovka) xatoligini kamaytiradi. O'zining magnit maydoni kuchli bo'lganidan tashqi maydonlarning ta'siri sezilarsiz. Haroratning o'zgarishi tufayli yuzaga keladigan xatolik maxsus sxemalar yordamida kompensatsiyalanishi mumkin.

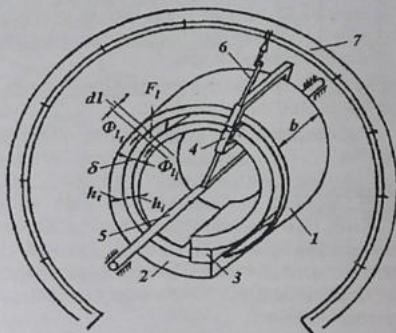
Magnitoelektrik asboblarning afzalliklaridan yana biri ularning yuqori sezgirligidir. Sezgirligi bo'yicha ular bosniqa asboblardan ustun turadi, misol uchun 0,1 mA gacha to'la og'ishli magnitoelektrik mikroampermetr mavjud (M 95 rusumli, aniqlik klassi 1,0). Quvvat iste'moli juda kam, yuqori o'lchash chegarasi 5 A bo'lgan ampermetr 0,3 Vt ga yaqin quvvat iste'mol qiladi.

Yuqorida qayd etilgan afzalliklarga ko'ra, magnitoelektrik asboblarga o'zgaruvchan tok zanjirlarida ham ishlatiladi. Magnitoelektrik o'lchash asboblarning kamchiliklariga:

- konstruktiv tuzilishining nisbatan murakkabligi; narxining qimmatligi;

– o'ta yuklanishga chidamsizligi (odatda tok o'tadigan prujinalar yoki teskari ta'sir etuvchi moment hosil qiluvchi tortqilar kuyadi);

– qo'shimcha o'zgartkichlarsiz o'zgaruvchan tok zanjirlarida qo'llab bo'lmasligi kiradi.



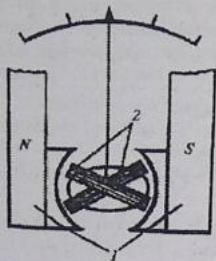
2.6-rasm. Qo'zg'aluvchan qismining burilish burchagi katta va sezgirligi doimiy bo'lgan magnitoelektrik asbob: 1, 2 - o'roqsimon qutb boshmoqlari, 3 - doimiy magnit, 4 qo'zg'aluvchan chulg'am, 5 - spiral prujina, 6 - ko'rsatkich, 7 - daraja

Magnitoelektrik asboblarda ampermetrlar, voltmetrlar, ommetrlar va logometrlar sifatida ishlatiladi.

**Magnitoelektrik logometrlarda** qo'zg'aluvchan qismning turg'un – muvozanat holati chulg'amlardan o'tuvchi toklarning nisbatiga bog'liq bo'lib, teskari ta'sir etuvchi moment mexanik usulda emas, balki elektrik usulda hosil qilinadi. Logometrning qo'zg'almas qismi bo'lib, qutb boshmoqlari bo'lgan doimiy magnit 1 va ellipssimon shaklda yasalgan ferromagnit o'zak xizmat qiladi (2.7- rasm).

Qo'zg'aluvchan qism umumiy o'qqa burchak ostida mahkamlab joylashtirilgan ikkita g'altak – 2 ramkadan iborat. Ramkalarining chulg'amlariga tok moment hosil qilmaydigan o'tkazgichlar orqali o'tadi. Ramkalaridagi chulg'amlar shunday o'ralganki, ulardan tok o'tishi natijasida hosil bo'ladigan aylantiruvchi momentlar ( $M_1 = B_1 s_1 w_1 I_1$  va  $M_2 = B_2 s_2 w_2 I_2$ ) yo'nalishlari o'zaro qarama-qarshi bo'ladi. Doimiy magnit qutblari va ferromagnit o'zak o'rtasidagi ishchi havo tirqishining tekisligi tufayli aylantiruvchi moment qo'zg'aluvchan qism holatiga bog'liq bo'lib qoladi.

Bu qarama-qarshi yo'nalgan momentlar ta'siridagi qo'zg'aluvchan qism katta moment yo'nalishi bo'yicha  $M_1 = M_2$  bo'lguncha buriladi.

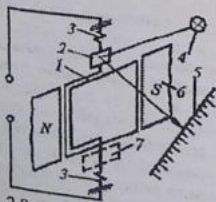


2.7- rasm. Magnitoelektrik logometning tuzilishi

uchun, bevosita baholaydigan shartli darajaga ega va sezgirligi yuqori bo'lgan galvanometrlar xizmat qiladi. Yuqori sezgirlik galvanometrlarda o'zgaruvchan qismni tortqilar yoki osmalarga o'rnatish va yorug'likni qayd etish qurilmasidan foydalanish hisobiga erishiladi.

Galvanometning *qo'zg'aluvchan qismi* *ranka 1* va *oyna 2* dan tashkil topgan (2.8-rasm). *Qo'zg'aluvchan qism* *tortqilar* (yoki *osma*) *3* ga mahkamlangan. *Oynaga yorug'lik manbai 4* dan *yorug'lik yuboriladi* va qaytgan *nur daraja 5* ga tushadi. Galvanometr shkalasi ko'pincha shartli ravishda millimetrlarda yoki graduslarda darajalanadi. *6* - *doimiy magnit*, *7* - *ballast yuk* - *qo'zg'aluvchan qism inersiya momentini oshirish uchun xizmat qiladi.*

Galvanometrlar asosan kichik tok va kuchlanishlarni o'lchash uchun xizmat qiladi hamda nol asboblari deb ataluvchi asboblari sifatida tokning bor-yo'qligini belgilash uchun ishlatiladi, bunda ularga qo'yiladigan asosiy talab - yuqori sezgirlik hisoblanadi.



2.8- rasm. Galvanometning tuzilishi

Magnitoelektrik logometrlar ko'pincha qarshiliklarni bevosita o'lchash uchun *ommetr* *megaommetr* sifatida ishlatiladi. Bundan tashqari ular *harorat*, *namlik*, *suyuqlik bosimi* va *shuningdek*, *boshqa noelektrik kattaliklarni* o'lchash hamda qayd etishda qo'llaniladi.

### 2.1.3. Magnitoelektrik galvanometrlar

Amaliy elektr o'lchashlarda juda kichik tok va kuchlanishlarni o'lchashga to'g'ri keladigan ko'pincha ko'prik yoki kompensatsiyali sxemalarda tok yoki kuchlanishning nolga chiqish kamayishini qayd etish kerak bo'ladi. Buning uchun

Amaliy elektr o'lchashlarda juda kichik tok va kuchlanishlarni o'lchashga to'g'ri keladigan ko'pincha ko'prik yoki kompensatsiyali sxemalarda tok yoki kuchlanishning nolga chiqish kamayishini qayd etish kerak bo'ladi. Buning uchun

Galvanometning *qo'zg'aluvchan qismi* *ranka 1* va *oyna 2* dan tashkil topgan (2.8-rasm). *Qo'zg'aluvchan qism* *tortqilar* (yoki *osma*) *3* ga mahkamlangan. *Oynaga yorug'lik manbai 4* dan *yorug'lik yuboriladi* va qaytgan *nur daraja 5* ga tushadi. Galvanometr shkalasi ko'pincha shartli ravishda millimetrlarda yoki graduslarda darajalanadi. *6* - *doimiy magnit*, *7* - *ballast yuk* - *qo'zg'aluvchan qism inersiya momentini oshirish uchun xizmat qiladi.*

Galvanometrlar asosan kichik tok va kuchlanishlarni o'lchash uchun xizmat qiladi hamda nol asboblari deb ataluvchi asboblari sifatida tokning bor-yo'qligini belgilash uchun ishlatiladi, bunda ularga qo'yiladigan asosiy talab - yuqori sezgirlik hisoblanadi.

Galvanometning asosiy parametrlari va xarakteristikallari u zanjirga ulangan yoki uzilganda mexanizmida yuzaga keladigan o'tkinchi jarayonlarni tahlil qilish asosida aniqlanadi.

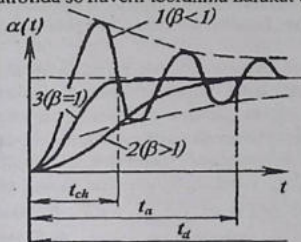
Nazariy mexanika fanidan bizga ma'lumki, jismning tebranish jarayoni ikkinchi tartibli bir jinsli bo'lmagan differensial tenglama bilan tavsiflanadi. Bu tenglamaning chap tomoni - tebranyotgan jism harakat miqdori momenti, o'ng tomoni esa unga ta'sir etayotgan momentlar yig'indisidan iborat. Differensial tenglamaning xususiy yechimi

galvanometr qo'zg'aluvchan qismi siljishining turg'un qiymatini aniqlash imkoniyatini beradi. Differensial tenglamaning umumiy yechimi  $\alpha = F(t)$  bog'lanishni quyidagi uch xil ko'rinishini berish mumkin:

*davriy* - qo'zg'aluvchan qism  $t_d$  vaqt mobaynida o'zining turg'un holati atrofida so'nuvchi tebranma harakat qilishi mumkin (2.9 - rasm, 1- egri chiziq);

*aperiodik* - qo'zg'aluvchan qism turg'un holatiga tebranma harakatsiz  $t_a$  vaqt ichida erishadi (2.9 - rasm, 2- egri chiziq); (bu holatda  $t_a$  nazariy jihatdan cheksizga teng bo'ladi);

*chegaraviy* - qo'zg'aluvchan qism turg'un holatiga  $t_{ch}$  minimal vaqt mobaynida tebranma harakatsiz erishadi (2.9 - rasm, 3-egri chiziq).



2.9 - rasm. Galvanometr qo'zg'aluvchan qismi harakati egri chiziqdari

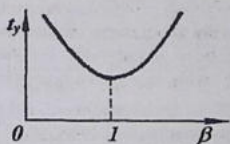
Galvanometrning muhim parametrlariga - tinchlanish darajasi, kritik (chegaraviy) qarshilik va sezgirlik kiradi.

Qo'zg'aluvchan qismning tinchlanish darajasi uning harakat holatiga ta'sir qiladi va quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$\beta = \frac{R_G + R_{T,kr}}{R_G + R_T}$$

bu yerda  $R_G$  - galvanometr g'altagi(ramka)ning qarshiligi;  $R_{T,kr}$  - tashqi zanjirning kritik qarshiligi;  $R_T$  - tashqi zanjirning qarshiligi.

Tashqi zanjirning kritik qarshiligi deb uning shunday qiymatiga aytiladiki, bunda galvanometr qo'zg'aluvchan qismi o'lchanayotgan kattalikka teng bo'lgan turg'un qiymatiga qisqa vaqt ichida aperiodik harakat qilib erishadi. Amalda magnitoelektrik galvanometrlar  $R_{T,kr} = R_T$  va qo'zg'aluvchan qism tinchlanish



2.10 - rasm. Galvanometr qo'zg'aluvchan qismi tinchlanish vaqtini uning tinchlanish darajasiga bog'liqligi

vaqti  $t_T = t_{ch}$  ga teng bo'lgan holatda ishlatiladi (2.10 -rasm). Agar galvanometr tashqi zanjiri uzoq bo'lsa ( $R_T = \infty$ ;  $\beta = 0$ ), u holda uning qo'zg'aluvchan qismi chastotasi  $\omega_0$  va davri  $T_0$  bo'lgan erkin tebranma harakat qiladi.

Zanjirdagi tokni o'lchashdagi galvanometr sezgirligi

$$S_I = \alpha / I.$$

Kuchlanishni o'lchashdagi sezgirligi esa

$$S_U = \alpha / U.$$

Bu sezgirlik ifodalari o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$S_U = S_I / R_G.$$

Shkalasining uzunligi 20 mm bo'lgan M 118 rusumli galvanometr tok bo'yicha 0,18 mm/mA ga, kuchlanish bo'yicha 0,14 mm/mV sezgirlikka ega tinchlanish vaqti 5 s ga teng. Bu galvanometrlar ko'pincha o'zgaras tok ko'priklari va kompensatorlarida muvozanat holatni ko'rsatuvchi asbob sifatida qo'llaniladi.

Ko'pchilik elektr kattaliklarni o'lchash qisqa vaqtli tok impulsining elektr miqdorini aniqlash orqali amalga oshiriladi. Bunday hollarda ballistik galvanometrlar qo'llaniladi. *Qo'zg'aluvchan qismining inersiya momenti orttirilgan galvanometrlar ballistik galvanometrlar* deb ataladi. Bunday galvanometrlar tok integratorlari hisoblanadi. Ballistik galvanometrlarda unga berilayotgan tok impulsining davomiyligi  $t_d$  asbob qo'zg'aluvchan qismi erkin tebranishlari davridan ko'p marta kichik bo'lishi shart, ya'ni  $t_d \ll T_0$ . Ko'pincha  $t_d < 0,1T_0$  bo'lishi yetarli bo'ladi.  $T_0$  ni oshirishning eng qulay usuli asbob qo'zg'aluvchan qismi inersiya momentini oshirishdir. Bunga ko'pincha qo'zg'aluvchan qism o'qiga qo'shimcha yuk mahkamlash orqali erishiladi (2.8-rasmda 7-ballast yuk).

Ballistik galvanometrqa tok impulsi berilganda asbob qo'zg'aluvchan qismini buruvchi qisqa vaqtli aylantiruvchi moment impulsi paydo bo'ladi. Ushbu qisqa muddatli burilish zanjirdan o'tadigan elektr miqdoriga proporsional bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha_b = 2\pi \frac{S_I}{T_0} Q,$$

bu yerda  $Q = it_d$  - elektr miqdori (tok impulsi).

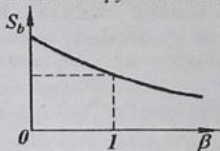
Agar galvanometr ramkasidan juda qisqa vaqt ichida tok o'tkazilsa, u olingan impuls ta'sirida nol holatidan og'adi. Ramkaning birinchi maksimal og'ishi impuls vaqti ichida undan o'tgan elektr miqdoriga proporsionaldir.

Yorug'lik ko'rsatkichli galvanometr shkalasi bo'yicha *surilish miqdorining ramkadan o'tayotgan elektr miqdoriga bo'lgan nisbati galvanometrning ballistik sezgirligi ( $S_b$ ) deb ataladi* va ko'zgu bilan shkala orasidagi masofa bir metr bo'lganda, millimetni mikrokulonga nisbati bilan ifodalanadi. Ballistik galvanometrning sezgirligi  $\beta$  ning qiymatiga bog'liq bo'lib, uning turli qiymatlari uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$\beta < 1 \text{ da } S_b = S_I \omega_0 e^{\frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \arctg \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta}}; \quad \beta = 1 \text{ da } S_b = S_I \frac{\omega_0}{e};$$

$$\beta > 1 \text{ da } S_b = S_I \omega_0 e^{-\frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \arctg \frac{\sqrt{\beta^2-1}}{\beta}};$$

Yuqorida keltirilgan ifodalardan ko'rinib turibdiki, ballistik galvanometning sezgirligi  $S_b$  [ $mm/(K \cdot m)$ ] shu galvanometning tok bo'yicha sezgirligidan farqli o'laroq, qo'zg'aluvchan qismning tinchlanish darajasi  $\beta$  ning qiymatiga bog'liq bo'ladi (2.11 - rasm).  $\beta = 0$  da  $S_b = S_{b_{max}} = S_1 \omega_0$ ,  $\beta = 1$  da  $S_b$  maksimum qiymatidan  $e$  marta kichik bo'ladi.



2.11 - rasm.  
Galvanometr ballistik sezgirligini uning tinchlanish darajasiga bog'liqligi

Ballistik galvanometning sezgirligini tinchlanish darajasiga bog'liqligi ayrim noqulayliklarni yuzaga keltiradi. Masalan, galvanometmi qo'llashdan avval ulanadigan zanjirning qarshiligiga mos keluvchi ballistik sezgirlik qiymatini tajriba yordamida aniqlash lozim bo'ladi.

*Ballistik galvanometrda elektr miqdorini o'lchashdan tashqari sig'im va magnit oqimini o'lchashda ham foydalaniladi.*

O'zgaruvchan tok ko'priklari va kompensatorlarida nol - indikator sifatida vibratsiyali galvanometrlardan foydalaniladi. Ularda magnit maydoni qo'zg'almas elektromagnit va qo'zg'aluvchan doimiy magnit yordamida hosil qilinadi. Qo'zg'almas elektromagnit magnit maydonida osmaga mahkamlangan doimiy magnit joylashtirilgan. Doimiy magnitga oyna o'rnatilgan. Galvanometr o'zgaruvchan tok zanjiriga ulanganda elektromagnit va doimiy magnit maydonlarining o'zaro ta'siri natijasida osmaga mahkamlangan doimiy magnitda titrash (vibratsiya) paydo bo'ladi. Teskari ta'sir etuvchi moment osma yordamida hosil qilinadi.

Galvanometr yordamida amalga oshiriladigan o'lchashlarni uning xarakteristiklari tekshirilayotgan zanjir parametrlariga va o'lchash vazifalariga mos kelgandagina yuqori aniqlik va tezkorlik bilan bajarish mumkin bo'ladi. Shuning uchun galvanometrlarni tanlashda aniq o'lchash sharoitidan kelib chiqib quyidagi parametrlarga e'tibor berish lozim bo'ladi:

- galvanometr sezgirligi talab qilingan qiymatdan ortiq bo'lmasligi, chunki o'ta yuqori sezgirlik o'lchash jarayonini qiyinlashtiradi;
- oddiy galvanometrlarda qo'zg'aluvchan qism xususiy tebranish davri minimal, ballistik galvanometrlarda esa maksimal qiymatlarga ega bo'lishi lozim;
- galvanometr kritik ( chegaraviy ) qarshiligi tashqi zanjir qarshiligining 10...20 % idan oshmasligi lozim.

Magnitoelektrik o'lchash asboblarning aniqligi o'ta yuqori bo'lganligi sababli, ular o'zgaruvchan tok zanjirlaridagi o'lchashlarni amalga oshirish uchun to'g'rilagich sxemalari bilan birga qo'llaniladi.

**Masala.** Magnitoelektrik o'lchash mexanizmi galvanometr quyidagi konstruktiv parametrlarga ega: doimiy magnit havo oralig'idagi magnit

maydonining induksiyasi  $B = 0,25 \text{ Tl}$ , ramkaning aktiv yuzasi  $S = 1,66 \text{ sm}^2$ , teskari ta'sir etuvchi momentning solishtirma qiymati  $W = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}/\text{rad}$ , ramka simlarining o'rtacha uzunligi  $l = 5,4 \text{ sm}$ , diametri (ПЭЛ markali sim)  $d = 0,03 \text{ mm}$ , o'ramlar soni  $w = 1500,5$ , qo'zg'aluvchan qism inersiya momenti  $J = 0,45 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ , milning maksimal og'ish burchagi  $\alpha_N = 13^\circ$ , bu og'ishga mos keluvchi shkala bo'lakchalarining soni 20. Quyidagilarni aniqlash lozim: o'lchash mexanizmining tok bo'yicha sezgirligi  $S_I$  ning  $\text{rad}/\text{A}$ , bo'lakcha/A,  $\text{grad}/\text{A}$  birliklardagi qiymatlari; mil maksimal og'ishiga mos keluvchi tok  $I_N$ ; ramka chulg'amining qarshiligi; kritik qarshilik  $R_{kr}$ ; o'lchash mexanizmining kuchlanish bo'yicha doimiysi  $C_U$ ; qo'zg'aluvchan qism xususiy tebranishining davri  $T_0$ .

**Echish.** O'lchash mexanizmining tok bo'yicha sezgirligi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$S_I = \frac{\alpha}{I} = \frac{BSw}{W} = \frac{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5}{5,5 \cdot 10^{-7}} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ rad}/\text{A}.$$

$S_I$  ning  $\text{grad}/\text{A}$  birlikdagi qiymatini topish uchun teskari ta'sir etuvchi moment solishtirma qiymatini  $\text{N} \cdot \text{m}/\text{grad}$  birlikka o'tkazib yuqoridagi ifodaga qo'yish lozim bo'ladi, ya'ni:

$$W = \frac{5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 3,14}{180} = 0,096 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}/\text{grad},$$

$$S_I = \frac{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5}{0,096 \cdot 10^{-7}} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ grad}/\text{A}.$$

Milning maksimal og'ishiga mos keluvchi tok:

$$I_N = \frac{W\alpha_N}{Bsw} = \frac{5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 13 \cdot 3,14/180}{0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ A}.$$

Tok bo'yicha sezgirlikning bo'lakcha/A birlikdagi qiymati:

$$S_I = \frac{\alpha_N}{I_N} = \frac{20}{2 \cdot 10^{-6}} = 10^7 \text{ bo'lakcha}/\text{A}.$$

Ramka chulg'amining qarshiligi:

$$R = wlr = 1500,5 \cdot 0,054 \cdot 24,6 \approx 2 \text{ kOm},$$

bu yerda  $r = 24,6 \text{ Om}/\text{m}$  - bir metr uzunlikdagi ПЭЛ markali simning qarshiligi (ma'lumotnoma kitoblarida keltiriladi).

Kritik qarshilik quyidagi ifoda asosida hisoblanadi:

$$R_{kr} = \frac{(Bsw)^2}{2\sqrt{JW}} = \frac{(0,25 \cdot 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot 1500,5)^2}{2\sqrt{0,45 \cdot 10^{-7} \cdot 5,5 \cdot 10^{-7}}} = 12,3 \text{ kOm}.$$

O'lchash mexanizmining kuchlanish bo'yicha sezgirligi va doimiysi quyidagi ifodalar yordamida aniqlanadi:

$$S_U = S_I / R_{kr} = 10^7 / 12,3 \cdot 10^3 = 0,8 \cdot 10^3 \text{ bo'lakcha/V,}$$

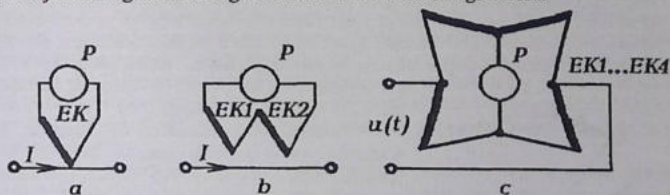
$$C_U = 1/S_U = 1/0,8 \cdot 10^3 \text{ V/bo'lakcha.}$$

Qo'zg'aluvchan qism xususiy tebranishlarining davri:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J}{W}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{0,45 \cdot 10^{-7}}{5,5 \cdot 10^{-7}}} = 1,8 \text{ s.}$$

#### 2.1.4. Termoelektrik o'lchash asboblari

Bu asboblari termoelektrik o'zgartkich va magnitoelektrik o'lchash mexanizmidan tashkil topgan bo'lib, termoelektrik o'zgartkich sifatida termojuftliklardan foydalaniladi. Termojuftlik - ikkita turli xil metall yoki yarim o'tkazgich materiallardan tayyorlangan simdan tashkil topgan bo'lib, ularning bittadan uchlari o'zaro kavsharlangan, qolgan ikkita uchlari esa o'lchash asbobiga ulangan bo'ladi (2.12 - rasm, a). Termojuftlikning kavsharlangan joyida haroratning o'zgarishi (masalan, tok o'tishi natijasida harorati o'zgarigan o'tkazgich termojuftlikning kavsharlangan joyiga tekkanilganda), uning bo'sh uchlari potentsiallar farqi - termo EYuK hosil bo'ladi. Bu EYuK ning qiymati termojuftlikning kavsharlangan va bo'sh uchlari orasidagi harorat



2.12 - rasm. Termojuftliklarni ulanish usullari

farqiga proporsional bo'lib, o'zgartkich magnitoelektrik o'lchash mexanizmiga ulanganda qo'zg'aluvchan qismning burilish burchagi o'lchanayotgan tokning kvadratiga proporsional bo'ladi, ya'ni:

$$\alpha = kI^2,$$

bu yerda  $k$  - termojuftlik va o'lchash mexanizmi xossalriga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent.

Termoelektrik o'zgartkichlar kontaktli va kontaktsiz ko'rinishlarda yasaladi. Kontaktli termojuftlik termo EYuK qiymatini oshirish maqsadida ularni ketma-ket ulash imkonini bermaydi. Termo EYuK ni oshirish uchun termojuftliklar kontaktsiz o'zaro ketma-ket ulanadi (2.12 - rasm, b). Asbob

sezgirliğini oshirish uchun termojuftliklar o'zaro ko'prik sxemasida ulanadi (2.12 - rasm, c).

Atrof-muhit haroratini termojuftlik ish faoliyatiga ta'sirini kamaytirish maqsadida har bir termojuftlik vakuumli shisha ballon ichiga joylashtiriladi.

Termoelektrik lchash asboblarning afzalliklari:

- keng chastota oralig'ida yuqori aniqlikka ega;
  - ko'rsatkichi o'lchanayotgan tok shakliga bog'liq emas;
- kamchiliklari:

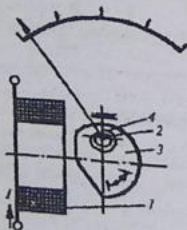
- sezgirliги va tezkorligi past;
- o'ta yuklanishga chidamsiz.

Bu asboblari asosan ampermetrlar sifatida nosinusoidal tok zanjirilarida qo'llaniladi. Masalan, T210-M1 rusumli ampermetr 50Gs...30 MGs chastota oralig'ida ishlaydi, aniqlik klassi 2,5 va massasi 0,15 kg.

### 2.1.5. Elektromagnit asboblari

Elektromagnit asboblarda aylantiruvchi moment o'lchanayotgan tok o'tayotgan g'altak magnit maydonining bir yoki bir nechta ferromagnit o'zak bilan o'zaro ta'siri natijasida yuzaga keladi.

2.13 - rasmda elektromagnit o'lchash mexanizmining sxematik tuzilishi ko'rsatilgan. Mis simdan o'ralgan yassi yoki dumaloq g'altak 1 havo tirgishiga o'q 2 qa eksentrik mahkamlangan ferromagnit o'zak 3 kirish imkoniyatiga ega. O'zak magnit singdi-ruvchanligi juda yuqori (aylantiruvchi momentni oshirish uchun) va koersitiv kuchi kichik (gisterezis tufayli yuzaga keladigan xatolikni kamaytirish uchun) bo'lgan materiallardan tayyorlanadi. Elektromagnit o'lchash mexanizmlarida ko'pincha havoli yoki suyuqlikli tinchlantirgichlar qo'llaniladi.



2.13 - rasm.  
Elektromagnit o'lchash mexanizmining sxematik tuzilishi

O'lchash mexanizmining g'altagidan tok o'tganda, uning atrofida magnit maydoni hosil bo'ladi. Bu maydonning kuch chiziqlari qo'zg'aluvchan ferromagnit o'zakni kesib o'tadi va uni g'altak ichiga tortadi. Tokli g'altak magnit maydonining energiyasi quyidagiga teng:

$$W_{EM} = \frac{1}{2} LI^2,$$

bu yerda:  $L$  - g'altak induktivligi;  $I$  - g'altakdagi tok.

Qo'zg'aluvchan qism siljiganda g'altak induktivligi o'zgaradi, ya'ni (2.1) ga ko'ra:

$$M_{ayl} = \frac{dW_{EM}}{d\alpha} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}.$$

Statik muvozanat (2.2) shartiga ko'ra, asbob harakatlanuvchi qismining burchak siljishi aylantiruvchi va teskari ta'sir etuvchi momentlarning tenglik shartidan aniqlanadi:

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

yoki

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{dL}{d\alpha} I^2. \quad (2.3)$$

(2.3) ifodadan ko'rinib turibdiki, elektromagnit asbob darajasi notekis, ya'ni o'lchanayotgan kattalik bilan ko'rsatkich og'ish burchagi o'rtasidagi bog'lanish chiziqli emas. Qo'zg'aluvchan o'zak shaklini tanlab, asbob darajasini uning yuqori chegara qiymatining 15-20 foizidan boshlab tekisligini ta'minlash mumkin.

Elektromagnit asbob o'zgaruvchan tok zanjirlarida qo'llanilganda, asbobning metall qismlarida uyurmaviy toklar hosil bo'ladi va ularning maydoni g'altak magnit maydonini birmuncha kamaytirishi natijasida xatolik yuzaga keladi.

*Elektromagnit asboblarning sezgirligi magnitoelektrik asboblarning sezgirligidan ko'p marta past, quvvat iste'moli esa juda katta.*

Elektromagnit asboblarda tashqi harorat o'zgarishining ta'siri ham magnitoelektrik asboblarga nisbatan juda katta.

Tashqi maydonning ta'siri astatik usul yordamida keskin kamaytirilishi mumkin. Bu usulga ko'ra bitta o'qqa ikkita ferromagnit o'zak mahkamlangan bo'lib, ularning har biri o'zining g'altagiga maydon ta'sirida tortilish imkoniyatiga ega. G'altaklar bir xil bo'lib, o'zaro ketma-ket va induktiv jihatdan qarama-qarshi ulangan. Buning natijasida bitta g'altakda uning xususiy maydoni bilan tashqi magnit maydon qo'shilsa, ikkinchi g'altakda ular ayriladi. Natijada qo'zg'aluvchan o'qqa ta'sir etayotgan moment qiymatiga tashqi maydon ta'sir ko'rsatmaydi.

Berk magnit o'tkazgichli elektromagnit asboblarning xususiy magnit maydoni kuchli bo'lganligi sababli ularni o'lchashiga tashqi maydonlarning ta'siri uncha sezilmaydi.

Elektromagnit asboblarning **afzalliklari**: o'zgarimas va o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlatilishi, o'ta yuklamaga bardoshlilik, konstruksiyasining soddaligi, ishlashda ishonchlilik, katta tok (bir necha yuz ampergacha), yuqori kuchlanishlarni bevosita o'lchay olishi hamda narxining nisbatan arzonligi.

Elektromagnit asboblarning **kamchiliklari**: darajasining notekisligi, tok chastotasi va haroratni o'zgarishiga, tashqi maydon ta'siriga sezgirligi, quvvat iste'molining kattaligi, sezgirligining nisbatan pastligi (ayniqsa, o'lchash doirasining boshlanish qismida) kiradi.

Elektromagnit asboblardan asosan o'lchash stendlari uchun ampermetrlar va voltmetrlar sifatida ishlatiladi. Bu asboblardan sinusoidal tok zanjirlarida o'lchanayotgan kattalikning ta'sir etuvchi qiymatini ko'rsatadi.

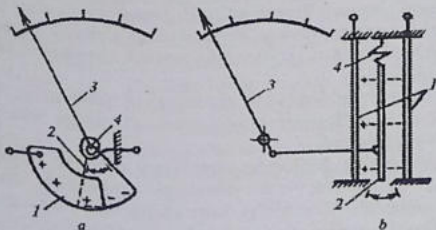
Sanoat, transport va qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida asosan E365 ruzumli ampermetr va voltmetrlar qo'llaniladi. O'lchash doiralari: ampermetrlarda 0,01...300 A; voltmetrlarda 0,5...600 V, chastota diapazoni 50, 60, 200, 500 va 1000 Gs. Aniqlik klasslari 1,0 va 1,5. Ampermetrlarning gabarit o'lchamlari 120x120x116 mm. Massasi 1 kg.

### 2.1.6. Elektrostatik asboblardan

Elektrostatik o'lchash asboblari qo'zg'aluvchan qismining siljishi bevosita kuchlanish ta'sirida yuzaga keladi. Shuning uchun elektrostatik asboblardan, asosan, voltmetrlar sifatida ishlatiladi.

2.14- a, b rasmda elektrostatik asbobning sxematik tuzilishi ko'rsatilgan. Qo'zg'almas qism (elektrod) o'zaro ulangan ikkita metall plastinkadan 1 iborat bo'lib, ularning orasiga sektorsimon qo'zg'aluvchan elektrod 2 joylashtirilgan. Berilgan kuchlanish ta'sirida plastinkalar orasida elektr maydoni hosil bo'ladi. Bu maydon ta'sirida qo'zg'aluvchan elektrodga ta'sir qiluvchi kuch maydon

energiyasi 
$$W_E = \frac{1}{2} CU^2$$
 (bu yerda: C qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan elektrodlar orasidagi sig'im)ni oshirishga harakat qiladi va qo'zg'aluvchan elektrod qo'zg'almas elektrodlar oralig'i tomon tortiladi. Qo'zg'aluvchan elektrod o'qiga ko'rsatgich 3 mahkamlanadi. Asbobning



2.14 – rasm. Elektrostatik asbobning sxematik tuzilishi

qo'zg'aluvchan qismi tayanch tortqi (4) va posangilarga mahkamlanishi mumkin. Elektrodlar aluminiydan yasaladi.

Elektrostatik o'lchash mexanizmining aylantiruvchi momenti:

$$M_{avl} = \frac{dW_E}{d\alpha} = \frac{1}{2} U^2 \cdot \frac{dC}{d\alpha}$$

Elektrodlar shakli, ularning o'lchamlari va o'zaro joylashishini tanlash asosida  $dC/d\alpha$  bog'lanish shunday tanlanadiki, natijada asbob yuqori o'lchash chegarasining 15 foizidan boshlab darajasining bir tekis bo'lishi ta'minlanadi.

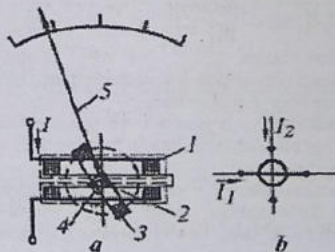
Elektrostatik asboblarning **afzalliklari**: o'zgarmas va o'zgaruvchan tok (chastota oralig'i 20 Gs dan 35 MGs gacha) zanjirlarida foydalanish mumkinligi, *quvvat iste'molining kamligi* (o'zgarmas tok zanjirlarida nolga teng), *chastota, harorat va kuchlanish shaklining o'zgarishi hamda tashqi maydonga sezgirligining juda pastligi*.

**Kamchiliklari**: *sezgirligining pastligi, darajasining notekisligi va namlikka juda sezgirligi*.

C 75 rumuli elektrostatik voltmetr o'zgarmas va o'zgaruvchan kuchlanishlarni o'lchashga mo'ljallangan bo'lib, o'lchash doirasi (20...3000) V chastota oralig'i 20 Gs dan 3 MGs gacha.

### 2.1.7. Elektrodinamik va ferrodinamik asboblardan

Elektrodinamik o'lchash mexanizmlarida aylantiruvchi moment qo'zg'almas g'altak 1 magnit maydoni bilan o'qqa 2 o'rnatilgan qo'zg'aluvchan g'altakdagi 3 tokning o'zaro ta'siri natijasida yuzaga keladi (2.15- rasm). Qo'zg'aluvchan g'altak o'qqa 2 yoki tortqilarga mahkamlangan bo'ladi. O'qqa ko'rsatkich 5 va aksmoment hosil qiluvchi spiral prujinaning 4 bir uchi mahkamlangan. G'altaklardan mos ravishda  $I_1$  va  $I_2$  toklar o'tganda, ular atrofida  $B_1$  va  $B_2$  induktsiyali magnit maydonlari hosil bo'ladi. Qo'zg'aluvchan qismda harakatlantiruvchi kuch yuzaga keladi. Bunda natijaviy maydon, asosan,



2.15- rasm. Elektrodinamik asbobning konstruktiv tuzilishi (a) va shartli belgisi (b).

qo'zg'almas g'altak maydoni ulushiga to'g'ri keladi, chunki undagi chulg'am o'ramlar soni qo'zg'aluvchan g'altak chulg'amidagi o'ramlar sonidan 50 martacha ortiq qilib yasaladi. G'altaklarga toklar spiral prujinalar yoki tortqilar orqali beriladi.

Qo'zg'aluvchan qismni tinchlantirishda havoli yoki magnitinduksiyali tinchlantirgichdan foydalaniladi.

Elektrodinamik o'lchash mexanizmidan hosil bo'ladigan aylantiruvchi momentni aniqlaymiz.

Ikkita o'zgarmas tokli g'altaklar elektromagnit energiyasi quyidagiga teng:

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

bu yerda:  $L_1$  va  $L_2$  – qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan g'altaklar induktivliklari;  $M_{12}$  – g'altaklar o'rtasidagi o'zaro induktivlik.

G'altaklar induktivligi qo'zg'aluvchan qism burilish burchagiga bog'liq emas. Shuning uchun:

$$M_{o'p'l} = \frac{dW_{EM}}{d\alpha} = I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

Agar teskari ta'sir etuvchi moment elastik materialdan yasalsa, u holda qo'zg'aluvchan qism burilishining turg'un holati uchun

$$I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} = W\alpha \quad (2.4)$$

bo'ladi va bundan  $\alpha$  ni topish mumkin.

Elektrodinamik asbobning statik xarakteristikasi (2.4) dan ko'rinib turibdiki, g'altaklardagi toklar yo'nalishlarining bir paytda o'zgarishi ko'rsatkich og'ish burchagi ishorasini o'zgartirmaydi. Shuning uchun ham elektrodinamik asboblarda o'zgarish va o'zgaruvchan tok zanjirlaridagi o'lchashlarda qo'llanishi mumkin.

Elektrodinamik asbob o'zgaruvchan tok zanjiriga ulanganda uning g'altaklaridan o'zgaruvchan toklar o'tadi. G'altaklardan bir-biridan  $\varphi$  burchakka siljigan  $i_1 = I_{1m} \sin(\omega t - \varphi)$  va  $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t - \varphi)$  toklar o'tayotgan bo'lsin. Bunda qo'zg'aluvchan qism ma'lum inersiyaga ega bo'lganligi tufayli u momentning oniy qiymati ta'sirida harakat qilishga ulgurmaydi va momentning bir davr mobaynida o'rtacha qiymatiga proporsional bo'lgan burchakka buriladi. Aylantiruvchi momentning o'rtacha qiymati

$$M_{o'r} = I_1 I_2 \cos \varphi \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

ifoda yordamida topiladi.

Elektrodinamik mexanizmlar nafaqat ampermetr va voltmetrlarda, balki aktiv quvvatni o'lchaydigan vattmetrlarda ham foydalaniladi.

Elektrodinamik asboblarning **afzalliklari** – o'zgarish va o'zgaruvchan toklarda ko'rsatishning bir xilligi (g'altaklar ketma-ket ulanganda) va ko'rsatishning vaqt bo'yicha mo'tadilligidir.

Elektrodinamik asboblarning **kamchiliklari** – sezgirligining pastligi, quvvat iste'molining kattaligi, asbob ko'rsatishiga tashqi magnit maydon, harorat, chastota o'zgarishlari hamda mexanik zarba va vibratsiyaning ta'sirlari sezilariligidir.

Yuqorida keltirilgan afzalliklarga ko'ra, elektrodinamik o'lchash mexanizmlari asosida aniqlik klasslari 0,5; 0,2; 0,1 bo'lgan ko'p chegarali ko'chma asboblarda ishlab chiqarilgan.

**Masala.** Aylanasimon g'altakli elektrodinamik o'lchash mexanizmi berilgan (2.15-rasm). Qo'zg'almas g'altaklarning o'rtacha diametri  $D_1 = 4,4$  sm, uzunligi  $l_1 = 3,3$  sm, qalinligi  $b_1 = 0,8$  sm, qo'zg'aluvchan g'altakning o'rtacha diametri  $D_2 = 4,4$  sm, uzunligi  $l_2 = 0,65$  sm, qalinligi  $b_2 = 0,2$  sm, teskari ta'sir etuvchi momentning solishtirma qiymati  $W = 117 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}/\text{rad}$ , qo'zg'aluvchan g'altak boshlang'ich holati uchun g'altaklar tekisliklari orasidagi burchak  $\psi_0 = 45^\circ$ , mexanizm milining maksimal og'ish burchagi  $\alpha_N = 90^\circ$ , g'altaklar o'ramlar sonlarining nisbati  $w_1/w_2 = 8$ .

Quyidagilar aniqlansin: 1) g'altaklardagi toklar  $I_1 = I_2 = 30$  mA (g'altaklar o'zaro ketma-ket ulangan) bo'lganda qo'zg'aluvchan qism  $\alpha_N = 90^\circ$  burchakka og'ishini hisobga olib g'altaklar o'ramlar soni; 2) chulg'amlar qarshiliklari  $R_1$  va  $R_2$ ; 3) har bir g'altak iste'mol qilayotgan aktiv quvvatlar  $P_1$  va  $P_2$ . Bunda qo'zg'almas g'altak ichidagi maydon bir tekis taqsimlangan, g'altaklar tekisliklari orasidagi burchak  $\alpha$  ga teng bo'lganda o'zaro induktivlik shu  $\alpha$  burchak kosinusiga proporsional deb, hisoblansin.

**Echish.** Qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan g'altaklar o'rtasidagi o'zaro induktivlik

$$M_{12m} = \frac{\pi}{8} \mu_0 \frac{D_2^2}{0,5\sqrt{D_1^2 + l_1^2}} w_1 w_2 \text{ ifoda yordamida aniqlanishini hisobga}$$

olib  $M_{12m} = K w_1 w_2$  tenglikdan foydalangan holda g'altaklar o'zaro induktiv bog'lanish koeffitsiyentini topamiz:

$$K = \frac{M_{12m}}{w_1 w_2} = \frac{\pi}{8} \mu_0 \frac{D_2^2}{0,5\sqrt{D_1^2 + l_1^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot 3,3^2 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5\sqrt{4,4^2 + 3,3^2}} = 19,5 \cdot 10^{-9} \text{ Gn},$$

bu yerda  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn}/\text{m}$  - magnit doimiysi.

G'altaklar tekisliklari orasidagi burchak ( $\psi_0 + \alpha$ ) bo'lganda o'zaro induktivlik:

$$M_{12} = M_{12m} \cos(\psi_0 + \alpha).$$

$I_1 = I_2 = 30$  mA va  $\alpha = 90^\circ$  bo'lganda aylantiruvchi moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_{ay} = I_1 I_2 M_{12m} \sin(\psi_0 + 90^\circ) = W \alpha_N.$$

So'nggi ifodadan o'zaro induktivlikning maksimal qiymatini aniqlaymiz:

$$M_{12m} = \frac{W \alpha_N}{I_1 I_2 \sin(\psi_0 + 90^\circ)} = \frac{117 \cdot 10^{-7} \cdot 1,57}{0,03^2 \cdot \sin \frac{3\pi}{4}} = 29 \cdot 10^{-3} \text{ Gn}.$$

G'altaklar o'ramlar sonlarining ko'paytmasi:

$$w_1 w_2 = \frac{M_{12m}}{K} = \frac{29 \cdot 10^{-3}}{19,5 \cdot 10^{-9}} = 1,5 \cdot 10^6.$$

$w_1 = 8w_2$  ekanligini hisobga olib:

$$w_2 = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^6}{8}} = 433,$$

$$w_1 = 8w_2 = 8 \cdot 433 = 3464.$$

Qo'zg'almas g'altak o'ramlarining har 1  $\text{sm}^2$  yuzasiga to'g'ri keluvchi o'ramlar sonini topamiz:

$$w'_1 = \frac{w_1}{S_1} = \frac{3464}{2,24} = 1546 \text{ o'ram/sm}^2,$$

bu yerda  $S_1 = b_1(l_1 - \delta) = 0,8(3,3 - 0,5) = 2,24 \text{ sm}^2$ .

Qo'zg'almas g'altak cho'lg'aming aktiv g'arshiligi:

$$R_1 = w_1 r_1 L_1 = 3464 \cdot 0,557 \cdot 3,14 \cdot 0,044 = 265 \text{ Om},$$

bu yerda  $r_1 = 0,557 \text{ Om/m}$  - 1 metr uzunlikdagi ПЭВ-1 markali 0,2 mm diametrlı simning qarshiligi (ma'lumotnoma kitoblaridan olingan);  $L_1 = \pi D_1$  bir o'ram simning o'ttacha uzunligi.

Qo'zg'aluvchan g'altak uchun ham yuqoridagi parametrlar qiymatlarini topamiz:

$$w'_2 = \frac{w_2}{S_2} = \frac{433}{0,13} = 3331 \text{ o'ram/sm}^2,$$

$$R_2 = w_2 r_2 L_2 = 433 \cdot 3,57 \cdot 3,14 \cdot 0,033 = 160 \text{ Om},$$

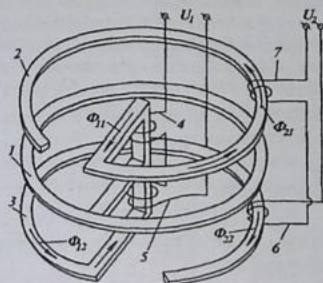
bunda  $S_2 = b_2 l_2 = 0,2 \cdot 0,65 = 0,13 \text{ sm}^2$ ;  $r_2 = 3,57 \text{ Om/m}$  ( $d = 0,1 \text{ mm}$  bo'lgan alyuminiy sim uchun).

G'altaklar iste'mol qilayotgan quvvatlar:

$$P_1 = I_1^2 R_1 = 0,03^2 \cdot 265 = 0,24 \text{ Vt}; P_2 = I_2^2 R_2 = 0,03^2 \cdot 160 = 0,144 \text{ Vt}.$$

**Ferrodinamik asboblər.** Ferrodinamik asboblər elektrodinamik asboblarning bir turi bo'lib, ularda magnit maydonini kuchaytirish uchun qo'zg'almas g'altak chulg'amlari elektrotexnik po'lat plastinkalar tarzida yig'ilgan magnit o'tkazgichda joylashtirilgan (2.15- rasm). Magnit o'tkazgich punktir bilan ko'rsatilgan.

Ferrodinamik o'lchash mexanizmlarining klassik o'quv adabiyotlarida keltirilgan konstruksiyalari aylantiruvchi moment qiymatining nisbatan kichikligi va qo'zg'aluvchan qism burilish burchagining kichikligi kabi kamchiliklarga ega. Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish maqsadida Toshkent politexnika institutida prof. Zaripov M.F., dots. Tarxanov O.V. va dots. Qodirova Sh.A. lar tomonidan ferromagnit o'lchash mexanizmining yangi konstruksiyasi taklif etilgan (2.16 -rasm).



2.16 – rasm. Ferrodinamik o'lchash mexanizmining tuzilishi

O'lchash mexanizmining magnit o'tkazgichi o'zaro ustma-ust joylashtirilgan 1, 2, 3 halqalar ko'rinishida yasalgan bo'lib, ular o'zaro bitta vertikal va 3 ta radial magnit ulagichlar yordamida ulangan. 2 va 3 halqalarning vertikal o'qqa nisbatan simmetrik bo'lgan qismlari uzilgan. Birinchi chulg'amning ikkita - 4, 5 qismlari vertikal magnit ulagichga erkin o'ralgan. Chulg'amning ikkita - 6, 7 qismlari ikkala chetdagi halqalarga erkin ravishda o'ralgan. Bunda birinchi va ikkinchi chulg'amlarning qismlari o'zaro shunday ulanganki, ikkala chulg'amga o'zgarimas yoki

o'zgaruvchan tok berilganda  $\Phi_{11}$  va  $\Phi_{21}$  magnit oqimlari o'zaro mos,  $\Phi_{12}$  va  $\Phi_{22}$  magnit oqimlari esa o'zaro qarama-qarshi yo'nalgan. Buning natijasida qo'zg'alish imkoniyatiga ega bo'lgan magnit o'tkazgichni uning vertikal magnit ulagich o'qi atrofida aylantiruvchi moment hosil bo'ladi. Ikkinchi chulg'am 6 va 7 qismlarining balandligi o'rtadagi halqa 1 dan mos ravishda 2 va 3 halqalargacha bo'lgan oraliqqa teng qilib olinishi mumkin bo'lganligi sababli, aylantiruvchi moment qiymati ancha katta bo'ladi. Teskari ta'sir etuvchi moment hosil qiluvchi prujinalar magnit o'tkazgich o'rnatilgan o'qda joylashtiriladi (rasmda keltirilmagan). Bu ferromagnit o'lchash mexanizmi qo'zg'aluvchan qismining burilish burchagi 0 dan 330° gacha yetishi mumkin. Mexanizm tokli chulg'amlarining qo'zg'almas qilib yasalganligi uning ishlashda ishonchlilikini oshiradi.

Ferrodinamik asboblarning **afzalliklari** – aylantiruvchi momentning kattaligi, tashqi magnit maydoni ta'sirining va quvvat iste'molining kamligidir.

**Kamchiliklari** – magnit o'tkazgich mavjudligi tufayli aniqlik nisbatan past, chastota va harorat o'zgarishiga sezgirligi nisbatan yuqori.

Ferrodinamik asboblarning aylantiruvchi momenti katta bo'lganligi sababli ular o'ziyozar asboblarda keng qo'llaniladi. Chunki bunday asboblarda yozuvchi peroning qog'ozga ishqalanishini yengish uchun ancha katta moment talab qilinadi.

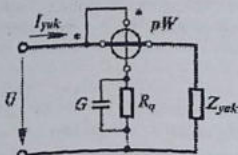
Ferrodinamik asboblarda o'zgaruvchan tok zanjirlarida ko'chmas va ko'chma ampermetr, voltmeter va vattmetrlar sifatida ishlatiladi.

Elektrodinamik va ferrodinamik logometrlar amaliyotda faza siljishi, chastota, sig'im, induktivlik va ko'pgina noelektrik kattaliklarni o'lchashda keng foydalaniladi.

**Elektrodinamik va ferrodinamik vattmetrlar.** O'zgarmas va o'zgaruvchan tok zanjirlarida quvvatni o'lchash uchun elektrodinamik va ferrodinamik vattmetrlar keng qo'llaniladi. Buning uchun asbobning qo'zg'almas g'altagi zanjirga ketma-ket, qo'zg'aluvchan g'altak esa unga ketma-ket ulangan qo'shimcha rezistor ( $R_q$ ) bilan birga zanjirga parallel ulanadi (2.17- rasm). Asbobning parallel zanjiridagi tok  $I_{pW}$  quyidagiga teng:

$$I_{pW} = \frac{U}{R_{pW} + R_q}$$

bu yerda:  $R_{pW}$  – asbob parallel zanjiri-ni qarshiligi.



2.17- rasm. Elektrodinamik va ferrodinamik vattmetrlarning zanjirga ulanish sxemasi

O'zgarmas tok zanjiriga ulangan asbobning qo'zg'aluvchan qismining burilish burchagi:

$$\alpha = \frac{1}{W(Z_{pW} + R_q)} I_{yuk} U \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

bu yerda:  $Z_{pW}$  – asbob parallel zanjirining to'la qarshiligi;  $I_{yuk}$  – yuklama toki.

Asbobning o'zgartirish funksiyasi:

$$\alpha = S_{pW} I_{yuk} U = S_{pW} P,$$

bu yerda:  $S_{pW}$  – asbobning sezgirligi.

Vattmetr o'zgarmas va o'zgaruvchan tok zanjirlariga ulanganda, tok va kuchlanish g'altaklarining qutblariga e'tibor beriladi. Shu maqsadda g'altaklarning tegishli qismlari yulduzcha (\*) bilan belgilanadi. Bu qismlar asbobning generator qismlari deb ataladi va ular zanjir manbaiga ulanadi.

**Ferrodinamik vattmetrlar ham zanjirga xuddi elektrodinamik vattmetrlar singari ulanadi.** Ularda kuchli magnit maydoni hosil qilinganligi tufayli tashqi maydonning ta'siri deyarli sezilmaydi. Lekin gisterezis hodisalari asbobning metrologik xarakteristikalarining yomonlashishiga olib keladi.

### 2.1.8. Induksion asboblari

*Induksion o'lchash mexanizmlarining ishlash asosi bir, ikki yoki bir necha o'zgaruvchan magnit oqimlari mexanizmining qo'zg'aluvchan qismida hosil qilgan toklari bilan o'zaro ta'siri natijasida aylantiruvchi moment hosil bo'lishi hodisasiga asoslangan. Ishlash asosiga ko'ra, induksion o'lchash mexanizmlari faqat o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlatilishi mumkin.*

2.18 - rasmda prof. Zaripov M.F. tomonidan taklif etilgan induksion voltmetrning konstruktiv sxemasi keltirilgan. Voltmetrning magnit o'tkazgichi III – simon po'lat tunukadan yig'ilgan va vertikal joylashgan o'zak ko'rinishida yasalgan bo'lib, uning quyi asosida chulg'am 2 joylashtirilgan. O'zakning o'rta

qismiga qisqa tutashtirilgan chulg'am vazifasini bajaruvchi mis halqa 3 kiydirilgan. O'lchov asbobining mili 4 mis halqaga mahkamlangan va magnit o'tkazgichga parallel ravishda daraja 5 o'rnatilgan.

Induksion voltmetr quyidagicha ishlaydi. O'lchanayotgan o'zgaruvchan kuchlanish  $U_x$  chulg'am 2 ga berilganda unda o'zgaruvchan tok  $I_2$  va uning atrofida magnit o'tkazgich bo'ylab birlashuvchi o'zgaruvchan magnit oqimi hosil bo'ladi. Bu oqim qisqa tutashtirilgan chulg'am - mis halqa 3 ni kesib o'tib, unda elektromagnit induksiya qonuniga binoan EYuK ni induksiyalaydi. EYuK o'z navbatida xalqada induksion tokni hosil qiladi. Chulg'am 2 tokidan hosil bo'lgan magnit oqimi bilan xalqa 3 dagi induksion tokning o'zaro ta'siri natijasida

qo'zg'aluvchan xalqani yuqoriga ko'taruvchi kuch paydo bo'ladi. Bu kuch to xalqa og'irlik kuchi bilan tenglashgunga qadar xalqa yuqoriga  $x$  masofaga siljiydi, ya'ni

$$F = P = \frac{1}{2} I_2 \frac{dL_2}{dx} = \frac{1}{2} I_2 w_2^2 = const,$$

bu erda  $L_2 = w_2^2 g x$  - chulg'am 2 ning induktivligi,  $w_2$  - undagi o'ramlar soni,  $g$  - III - simon o'zak vertical qismlari orasidagi havo oralig'ining solishtirma magnit o'tkazuvchanligi.

Voltmetrning statik xarakteristikasi quyidagicha aniqlanadi:

$$x = \frac{U_x}{\omega w_2 \sqrt{2Pg}},$$

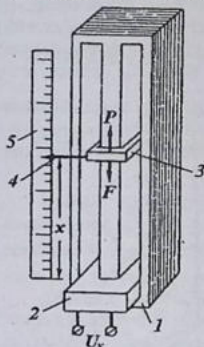
bunda  $\omega$  - kuchlanish chastotasi.

Yuqorida keltirilgan induksion voltmetr teskari ta'sir etuvchi moment hosil qiluvchi element - prujinaga ehtiyoj yo'qligi va o'lchash doirasida

2.18 - rasm. Induksion voltmetrning konstruktiv sxemasi

asbob darajasining bir tekisligi kabi afzalliklarga ega.

Induksion o'lchash mexanizmlari elektr energiyani hisoblagich asboblari keng qo'llaniladi. Ularda qo'zg'almas ikkita elektromagnit 1 va 2 larning o'zgaruvchan magnit oqimlari o'q 4 qa o'rnatilgan aluminiy disk 3 da toklar induksiyalaydi, bu toklarning elektromagnitlar magnit oqimlari bilan o'zaro ta'siri natijasida aylantiruvchi moment hosil bo'ladi (2.19- rasm). Induksion asbob kichik o'zgaruvchan elektr motori hisoblanadi, unda ikkita o'zgaruvchan oqim aylanuvchi magnit maydoni hosil qiladi. Induksion asbobning elektromagnitlaridan biri ko'p o'ramli chulg'amga ega, unda induksion qarshilik katta bo'ladi va u zanjirga voltmetr kabi ulanadi. Shuning uchun elektromagnitlardan birining magnit oqimi kuchlanishga proporsionaldir. Asbobning ikkinchi elektromagnit chulg'ami kam o'ramlardan iborat. U zanjirga ampermetr kabi ketma-ket ulanadi. Undagi elektromagnitning magnit



oqimi o'lchanadigan tokka proporsional. Shunday qilib, induksion asbobning bitta magnit oqimi kuchlanish  $U$  ga, ikkinchisi tok  $I$  ga proporsionaldir. Bu oqimlarning diskka ta'siri natijasida hosil bo'ladigan aylantiruvchi moment  $M_{ayl}$  o'zgaruvchan tokning quvvatiga proporsional bo'ladi:

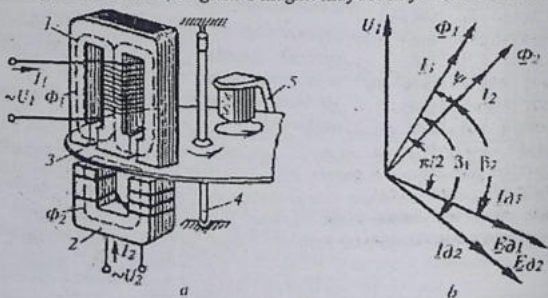
$$M_{ayl} = k_{ayl} UI \cos \varphi,$$

bu yerda:  $k_{ayl}$  – proporsionallik koeffitsiyenti.

Induksion asbobning aylanishlar soni uning mexanizmi orqali o'tadigan energiyaga proporsional bo'lishi uchun aylantiruvchi momentga qarshi, uni tormozlovchi, induksion asbobning qo'zg'aluvchan qismi bo'lmish diskning aylanishlar chastotasiga proporsional bo'lgan moment hosil qilish kerak. Bu moment induksion asbob diskiga o'zgarmas magnit 5 maydonini ta'sir ettirib hosil qilinadi (2.19- rasm). Disk aylanganda o'zgarmas magnit maydonini kesib o'tadi va  $e = Blv$  ga teng e.y.u.k. induksiyalanadi. Diskning chiziqli tezligi

$v = \frac{2\pi rn}{60}$  ifodalanadi, bu ifodada  $n$  – diskning bir daqiqadagi aylanishlari soni,

$r$  – diskning radiusi. Demak, o'zgarmas magnit maydoni aylantiruvchi diskda



2.19- rasm. Induksion asbobning tuzilishi (a) va vektor diagrammasi (b)

induksiyalovchi e.y.u.k.  $e_d = k_1 \Phi \frac{2\pi rn}{60} = k_2 \Phi m$  ga teng, bu yerda:  $k_1$  va  $k_2$  – o'zgarmas koeffitsiyentlar. E.y.u.k. diskda aluminiyning solishtirma o'tkazuvchanligi  $\gamma$  ga proporsional tok hosil qiladi.

Oqim bilan diskdagi tokning o'zaro elektromagnit ta'sir kuchi

$$F = k_3 \Phi i_d = k_4 \gamma r^2 \Phi^2 n$$

bo'ladi.

Bunda hosil bo'ladigan tormozlovchi moment:

$$M_{tor} = FR = k_A \gamma r^2 \Phi^2 n$$

Disk aylanishining barqarorlashgan chastotasida aylantiruvchi moment  $M_{ayl}$  tormozlovchi moment  $M_{tor}$  ga teng bo'ladi, ya'ni:

$$M_{ayl} = M_{tor}$$

yoki

$$k_{ayl} P = k_A \gamma r^2 \Phi^2 n = k_{tor} n$$

Bu ifodada tormozlash koeffitsiyenti  $k_{tor} = k_A \gamma r^2 \Phi^2$ . Uning asosida:

$$P = \frac{k_{tor}}{k_{ayl}} n = C_{his} n$$

Agar  $t$  vaqt oralig'ida quvvat  $P$  o'zgarmasa,

$$Pt = C_{his} nt$$

o'rinli bo'ladi. Ma'lumki,  $Pt = W$  – tekshirilayotgan uskunaning  $t$  vaqt mobaynida iste'mol qiladigan elektr energiyasi,  $nt = N$  – esa bu vaqt orasida energiya hisoblagich diskining aylanishlari soni. Bular asosida:

$$W = C_{his} N.$$

Demak, diskning aylanishlar sonini hisoblagichning o'zgarma koeffitsiyenti  $C_{his}$  ga ko'paytmasi tekshirilayotgan uskunaning  $t$  vaqtda sarflagan energiyasini ifodalaydi. Fizik jihatdan  $C_{his}$  kattalik uskunaning disk bir marta aylanganda iste'mol qiladigan elektr energiyasi miqdoriga teng.

Diskning aylanishi chervyakli uzatma va tishli g'ildiraklar tizimi orqali hisob mexanizmiga uzatiladi, bu mexanizمنى tayyorlashda uzatish soni shunday tanlanadiki, hisob mexanizmi ko'rsatishiga qarab, iste'mol qilinadigan elektr energiyasini bevosita kilovatt soatda aniqlash mumkin.

Hisoblagichni rostlash uchun  $C_{his}$  ning  $r^2$  ga bog'liqligidan foydalaniladi: o'zgarma magnitning diskka nisbatan holati o'zgartiriladi.

Uch fazali uskunalarda umumiy o'q orqali umumiy hisob mexanizmiga ta'sir etuvchi induksion hisoblagichlarning ikkita yoki uchta harakatlanadigan elementi ko'rinishida bo'lgan hisoblagichlar qo'llaniladi. Uch simli, uch fazali tizimlarda hisoblagichlar uchun ikkita vattmetr usuliga mos keluvchi sxemadan foydalaniladi.

Induksion o'lchash mexanizmlarining asosiy afzalliklari – o'z maydonning kuchliligi sababli, tashqi magnit maydonlarining ta'siri sezilmasligi hamda ortiqcha yuklamaga bardosh bera olishining ancha yuqoriligidir.

Bu asboblarning kamchiliklari – faqat o'zgaruvchan tok zanjirlari uchun yaroqliligi, chastotaning o'zgarishiga sezgirliigi va aniqligining ancha pastligidir.

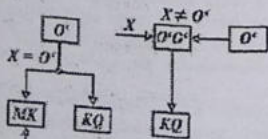
## O'z-o'zini sinash savollari

1. Elektromexanik asboblarning konstruksiyalarining asosiy qismlarini aytib bering.
2. Elektromexanik asboblarning qo'zg'aluvchan qismiga qanday momentlar ta'sir etadi va ular nima hisobiga yuzaga keladi?
3. Elektromexanik asboblarning o'zgartirish funksiyasi qanday shart asosida topiladi?
4. Elektromexanik asboblarning asosiy xarakteristikalariga nimalar kiradi? Ularga ta'rif bering.
5. Elektromexanik asboblarning turlarini sanab bering.
6. Magnitoelektrik, elektromagnit, elektrodinamik va ferrodinamik, elektrostatik hamda induksion asboblarning o'zgartirish funksiyasi ifodalarni keltirib chiqaring.
7. Galvanometrlar qanday parametrlarga ko'ra tanlanadi?
8. Qanday elektromexanik asboblarning faqat o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlatiladi va nima uchun?
9. Qanday elektromexanik asboblarning faqat o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlatiladi va nima uchun?
10. Elektromexanik asboblarning afzalliklari va kamchiliklariga ko'ra o'zaro taqqoslang.

### 2.2. Taqqoslovchi o'lchash asboblari

#### 2.2.1. Taqqoslovchi o'lchash asboblarning umumiy xossalari va qismlari

Taqqoslovchi o'lchash asbobi — o'lchanayotgan kattalikning qiymati avvaldan ma'lum bo'lgan kattalik bilan solishtirish uchun mo'ljallangan asbobdir. Bu asboblarning bilan ikki xil usulda o'lchash mumkin: 1) o'lchanayotgan kattalik boshqa kattalik bilan tenglashganda asbobning ko'rsatishi bo'yicha; 2) ikkala kattalik farqining asbobga ta'siri bo'yicha.



2.20: rasn. Taqqoslash asbobining struktura sxemasi:  
 a — muvozanatlangan,  
 b — muvozanatlanmagan holat

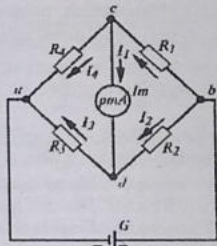
O'lchash usuliga ko'ra taqqoslovchi asboblarning muvozanatlangan va muvozanatlanmagan holatlarida ishlatiladi (2.20 - rasn).  
 O' — o'lchov, MK — muvozanatlash ko'rsatkichi, KQ —

ko'rsatkich qurilmasi, O'O' – o'lchash o'zgartkichi.

Taqqoslovchi asboblarga ko'priklar va kompensatorlar kiradi. Ular bevosita o'lchash asboblardan yuqori aniqligi, shuningdek, foydalanishda murakkabligi bilan ajralib turadi.

## 2.2.2. O'zgarmas tok ko'priklari

**O'zgarmas tok yakka ko'prik sxemasi.** O'zgarmas tok yakka ko'prigi – to'rtta rezistordan tashkil topgan to'rtqutblikdir (2.21- rasm). *ab* – shoxobcha manba ulanadigan diagonal, *cd* – shoxobcha esa o'lchash yoki muvozanat ko'rsatkichi *pMA* ulanadigan diagonal deb ataladi.



2.21- rasm. O'zgarmas tok yakka ko'prik sxemasi

Agar  $U_{ac} = U_{ad}$  va  $U_{bc} = U_{bd}$  yoki  $I_4 R_4 = I_3 R_3$  va  $I_1 R_1 = I_2 R_2$  shart bajarilsa, Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra o'lchash diagonalidagi kuchlanish  $U_{cd} = 0$  bo'ladi.

Muvozanat ko'rsatkich *pMA* dan o'tuvchi tok  $I_m = 0$  ga teng bo'lganda Kirxgofning birinchi qonuniga ko'ra:  $I_1 = I_4$  va  $I_2 = I_3$ , bundan  $I_2 R_2 = I_1 R_1$ , ya'ni ko'prikning muvozanat sharti:

$$\frac{(I_2 R_2)}{(I_2 R_3)} = \frac{(I_1 R_1)}{(I_1 R_4)} \quad \text{yoki} \\ R_2/R_3 = R_1/R_4 \quad \text{bo'ladi. O'lchash yelkasi } cb \\ \text{ga ulangan qarshilikning ifodasi:}$$

$$R_1 = (R_2/R_3)R_4.$$

Shunday qilib, yakka ko'prikning muvozanat shartiga ko'prikning har bir qarshiligi bir xil ta'sir etadi. Manbaning ichki va muvozanat ko'rsatkichining qarshiliklari esa ta'sir etmaydi.

O'zgarmas tok yakka ko'prik sxemalari qarshiliklarini va boshqa noelektrik kattaliklarni o'lchashda keng qo'llaniladi.

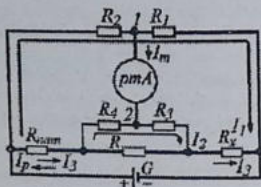
Misol uchun, R 369 rusumli yakka ko'prik o'zgarmas tok zanjiridagi qarshiliklarni  $10^{-4}$  dan  $1,1111 \cdot 10^{10} \text{ Om}$  gacha o'lchaydi. Aniqlik klassi – 1,0.

Yakka ko'prik sxemalari bilan kichik qarshiliklar o'lchanganda, qarshiliklarni ulovchi simlar hamda kontaktlarning o'tish qarshiligi ta'sirida xatoliklar yuzaga keladi.

**O'zgarmas tok ikkilangan ko'prik sxemasi.** Ikkilangan ko'prik sxemasi 2.22 - rasmda keltirilgan. Ulangan simlar va kontaktlarning o'tish qarshiligini o'lchash natijalariga ta'sirini kamaytirish maqsadida o'lchanayotgan qarshiliklar  $R_x$  to'rt qismali sxema bilan ulanadi. Ikkita tok qismalari bilan ko'prikning manba zanjiriga, potensial qismalari bilan esa o'lchash zanjiriga

ulanadi. Shunday qilib, manba zanjiridan deyarli katta tok o'tishi sxemaning sezgirligini oshirishga olib keladi. Shu bilan birga, potensial qismlardan o'lchash zanjiriga nisbatan kichik toklar o'tadi. Bu esa o'lchash xatoligini yetarli darajada kamaytiradi.

Ko'priq muvozanatlanganda, muvozanat ko'rsatkichi  $p mA$  dagi tok  $I_m = 0$ , bu holda 1- va 2- tugunlarning potentsiallari teng bo'ladi. Bunda quyidagi tenglamalar tizimini yozish mumkin (2.22 - rasm):



2.22 - rasm. O'zgarmas tok ikkilangan ko'priq sxemasi

$$I_1 R_2 - I_2 R_4 - I_3 R_{nam} = 0;$$

$$I_1 R_1 - I_2 R_3 - I_3 R_x = 0.$$

Tahlilni soddalashtirish maqsadida  $R_1 = R_3$  va  $R_2 = R_4$  deb qabul qilamiz, bundan

$$R_x = R_{nam} \frac{R_1}{R_2} = R_{nam} \frac{R_3}{R_4},$$

bu yerda:  $R_x$  - noma'lum qarshilik;  $R_{nam}$  - namunaviy qarshilik,  $Om$ .

Amalda yakka va ikkilangan o'zgarmas tok ko'priklari bitta kombinatsiyali ko'priklar ko'rinishida ishlab chiqarilishi mumkin. Rossiya Federatsiyasida ishlab chiqarilgan R 39, R 329, MOD - 61 rusumli ko'priklar mavjud. Bunday ko'priklar bilan ham kichik, ham katta ( $10^{-8} Om$  dan  $10^8 Om$  gacha) qarshiliklarni o'lchash mumkin.

### 2.2.3. O'zgaruvchan tok ko'priklari

Elektr zanjirining qarshiligi, sig'imi, induktivligi, o'zaro induktivligi va isrof burchagi tangensini o'lchash uchun o'zgaruvchan tok ko'priklaridan foydalaniladi.

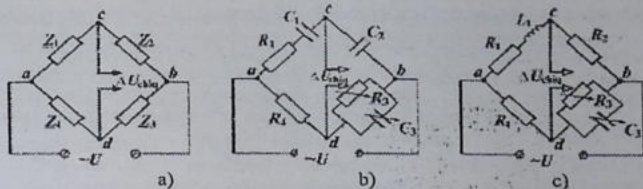
O'zgaruvchan tok ko'priklarining juda ko'p turi ma'lum.

Sodda to'rt yelkali ko'priq sxemalaridan tashqari, olti va yetti yelkali ko'priklar hamda induktiv bog'langan elementli ko'priq sxemalari mavjud. Bu ko'priklar ketma-ket ekvivalent o'zgartirishlar yordamida sodda to'rt yelkali sxemaga keltirilishi mumkin (2.23 - a rasm).

Yelka qarshiliklari umumiy holda kompleks qarshiliklar bo'lib, muvozanat tenglamasi qarama-qarshi yelkalar kompleks qarshiliklarining ko'paytmasiga teng, ya'ni  $Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$ .

Agar bu ifodani haqiqiy va mavhum qismlarga ajratsak, ikki tenglamadan iborat muvozzat tenglamalar tizimini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} R_1 R_3 - X_1 X_3 &= R_2 R_4 - X_2 X_4, \\ R_1 X_4 + R_3 X_1 &= R_2 X_4 + X_2 R_4. \end{aligned} \quad (2.5)$$



2.23 - rasm. O'zgaruvchan tok ko'prik sxemalari

Demak, o'zgaruvchan tok ko'prigi muvozanatlanishi uchun kamida ikkita rostanadigan element bo'lishi kerak, buning natijasida bir-biriga bog'lanmagan ikkita kattalikni aniqlash mumkin.

(2.5) ifodani ikkita skalyar tenglama ko'rinishida yozishimiz mumkin:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4; \quad \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4, \quad (2.6)$$

ya'ni, qarama-qarshi yelkalar kompleks qarshiliklar modullarining ko'paytmasi o'zaro teng va ularning faza siljishlarining argument yig'indilari mos ravishda teng bo'lganda, ko'prik muvozanatlanadi.

(2.6) shakldagi muvozanat tenglamasi ko'prik yelkalaridagi qarshiliklar xususiyatini ham belgilab beradi: agar yonma-yon yelkalaridagi qarshiliklar aktiv qarshilik (rezistor)lar bo'lsa, u holda boshqa yon yelkalaridagi qarshiliklar, albatta, bir xil xususiyatli, ya'ni induktiv g'altaklar yoki kondensatorlar bo'lishi kerak. Agar qarama-qarshi yelkalariga rezistorlar ulansa, u holda boshqa qarama-qarshi yelkalariga turli xususiyatdagi qarshiliklar: bir yelkaga induktivlik, boshqasiga sig'im ulanishi kerak.

2.23- b rasmda keltirilgan ko'priklarning muvozanat tenglamalaridan ularning ishchi ifodasini mos ravishda keltirib chiqarish mumkin:

$$tg \delta_x = 1 / \omega C_x, \quad R_x = 1 / \omega R_3 C_3; \quad L_x = C_3 R_2 R_3 / R_x; \quad (2.7)$$

G'altakning aslligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q_x = \omega L_x / R_x = \omega R_3 C_3. \quad (2.8)$$

Ko'prik sxemalarini muvozanatga keltirish uchun, ya'ni  $c$  va  $d$  tugunlar orasidagi potentsiallar ayirmasini nolga tenglashtirish uchun sxemada (2.23- b rasm) namunaviy qarshiliklar va sig'imlarni, 2.23- c rasmdagi sxemada -  $R_3$  va  $C_3$  larni bir tekis rostdlash kerak. Bunda o'lchanayotgan parametrlar  $tg \delta_x$ ,  $R_x$  yoki  $L_x$ ,  $R_x$  namunaviy qarshiliklar va kondensatorlar (2.7) hamda (2.8) ifodalar yordamida topiladi.

Agar o'lchanayotgan sig'im isrof burchagining tangensi  $tg \delta_x$  katta bo'lsa, o'zgaruvchan namunaviy  $R_3$  va  $C_3$  lar parallel ulangan Sherring ko'prigidan

(2.23- b rasm), aslligi kichik ( $Q < 30$ ) g'altak parametrlari o'lchanganda  $R_3$  va  $C_3$  lari parallel ulangan Maksvell ko'prigidan (2.23 - c rasm) foydalaniladi.

Keltirilgan ko'prik yordamida ikkita g'altak orasidagi o'zaro induktivlikni ham o'lchash mumkin. Buning uchun ular ketma-ket ulanib, o'zaro induktivlik ikki marta ulanish usulida o'lchanadi. **Birinchi o'lchashda** g'altaklar ketma-ket va o'zaro mos ulanib, umumiy induktivlik o'lchanadi:

$$L' = L_1 + L_2 + 2M,$$

bu yerda:  $L_1$  va  $L_2$  - g'altaklar induksionligi,  $M$  - o'zaro induktivlik.

**Ikkinchi o'lchashda** g'altaklar ketma-ket, o'zaro qarama-qarshi ulanib, umumiy induktivlik o'lchanadi:

$$L'' = L_1 + L_2 - 2M.$$

O'zaro induktivlik esa:

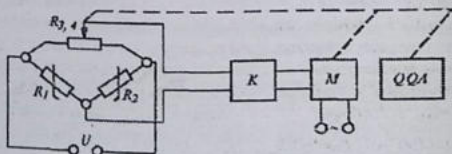
$$M = (L' - L'')/4$$

bo'ladi.

#### 2.2.4. Avtomatik o'lchash ko'priklari

Zamonaviy sanoat, qishloq xo'jaligi va kimyoviy texnologiya ishlab chiqarishda avtomatik nazorat, roslash va boshqarish tizimlarida parametrlarni uzluksiz o'lchaydigan analogli va raqamli avtomatik ko'priklar qo'llaniladi. Bunda ko'prik zanjiri o'zgaruvchan sinusoidal tokka ulanadi.

Uzluksiz o'lchaydigan ko'prikning o'lchash diagonaliga kirish qarshiligi katta bo'lgan kuchlanish kuchaytirgichi ( $K$ ) qo'llanilgan. Kuchaytirgichning yuklanishi sifatida reversiv motor ( $M$ ) ning boshqaruvchi chulg'ami olingan. Motorning vali kinematik holda qayd qiluvchi asbobning ( $QQA$ ) ko'rsatkichi va  $R_{3,4}$  rezistorning qo'zg'aluvchan kontaktlariga ulangan (2.24 - rasm).



2.24 - rasm. Avtomatik o'lchash ko'prik sxemasi

Dastlab ko'prik muvozanat holatda turadi.  $R_1$  yoki  $R_2$  qarshiliklar qiymatlari o'zgarganda, ko'prikning muvozanati buziladi va uning chiqish qismlarida o'lchanayotgan kattalikka proporsional bo'lgan kuchlanish paydo

bo'ladi. Bu kuchlanish kuchaytirgichdan keyin motorning boshqaruvchi chulg'amiga beriladi va motor vali o'zgaruvchan rezistorning qo'zg'aluvchan kontaktini to ko'prik muvozanat holatga qaytguncha mos tomonga siljitadi.

*O'zgaruvchan tok avtomatik ko'priklaridan R 5010 rusumdagi asbob keng qo'llaniladi. Ular kondensator sig'imi va isrof burchagi tangensini, g'altaklar induktivligini va aslligini, rezistorlar qarshiligini hamda vaqt doimiysini o'lchashda qo'llaniladi. Asbobning ish holati qo'l bilan, o'lchash doirasi esa avtomatik ravishda o'zgartiriladi. Asosiy xatoligi  $\pm 1\%$ .*

**O'zgaruvchan chastotali ko'priklar.** Fizik-kimyoviy texnologik jarayonlarda kompleks qarshiliklar parametrlari ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $tg\delta_x$  va  $Q$ ) ni o'lchashda avtomatik ko'priklar ko'p yillardan beri qo'llanilishiga qaramay, o'lchash va nazorat qilish lozim bo'lgan jarayonlarning kengayishi va murakkablashishi bilan ularning dinamik, statik va funksional imkoniyatlariga bo'lgan talablar ortib bormoqda. Bu talablarga javob beradigan yangi o'lchash ko'prik sxemalarini yaratish, ularni avtomatlashtirish borasida yuzaga keladigan muammolarni bartaraf etish lozim. Bu o'zgaruvchan ko'priklarni barcha turlarida paydo bo'ladigan qiyinchiliklar bir yo'la ikki parametrlarni o'lchashda tashkil etiladigan ikkita muvozanatlovchi konturning ko'prik zanjiri orqali o'zaro bog'langanligi, asosan, ko'prik zanjiri chiqishidagi hamda sozlanayotgan parametrlar orasidagi bog'lanish murakkabligi bilan tushuntiriladi, natijada bu salbiy hodisalar avtomatik ko'prikning muvozanatlash vaqtining cho'zilishi va aniqlikning kamayishiga olib keladi.

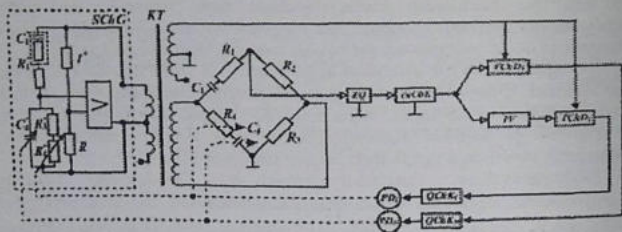
O'zbekiston Fanlar akademiyasi energetika va avtomatika instituti hamda Toshkent Irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash injenerlari instituti (hozirgi Toshkent irrigatsiya va melioratsiya)da Sh.Zohidov va M.Yoqubovlar tomonidan yaratilgan ko'priklar yuqoridagi qiyinchiliklarni bir yo'la bartaraf etadi (2.25 - rasm). Ular tomonidan ko'priklarning metrologik va boshqa barcha xarakteristikalarini keskin yaxshilovchi usul va texnik nuqtai nazardan mukammalroq to'rt yelkali, transformator o'lchash ko'priklari ishlab chiqilgan.

Bunday ko'priklarda muvozanatlash jarayonida unga berilayotgan sinusoidal tok chastotasini avtomatik ravishda o'zgartirib, ko'prikning o'lchash zanjirida rezonans holat saqlab turiladi.

Almashlash sxemasi ketma-ket bo'lgan sig'imli o'zgartkich parametrlarini uzluksiz o'lchaydigan mazkur avtomatik ko'prikning ishlashini ko'rib chiqamiz.

Sig'imli o'zgartkich  $C_1$ ,  $R_1$  ko'prik zanjirining o'lchash yelkasiga ulanadi.

O'lchash ko'prikning chiqish kuchlanishini kirish qarshiligi katta bo'lgan emitter qaytargich ( $EQ$ ) yuqori chastotali kuchaytirgich ( $YuChK$ ) orqali faza sezgir detektorlar ( $FChD_1$  va  $FChD_2$ ) ga beriladi.  $FV - 90^\circ$  faza burgich zanjiri  $FChD$  lardan chiqqan signal quyi chastotali kuchaytirgich  $QChK_I$  va  $QChK_{II}$  orqali reversiv motorlar ( $RD_I$ ) va ( $RD_{II}$ ) ga beriladi.  $RD$  lar esa bir yo'la



2.25 - rasm. O'zgaruvchan chastotali ko'prik sxemasi

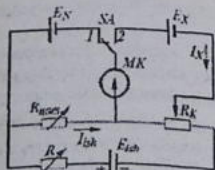
muvozanatlovchi  $R_4$ ,  $C_4$ , hamda sinusoidal chastotali generator (SCHG) chastotasini uning  $R_4$  va  $C_4$  elementlari orqali bir yo'la sozlaydi. Natijada ko'prik zanjirida o'lchashning butun doirasida rezonans holati saqlanadi. Bu esa muvozanatlovchi konturlar ora-sidagi bog'lanishning butunlay yo'qolishiga hamda o'lchash sezgirligining bir necha baravar oshishiga olib keladi.

Bunday avtomatik ko'priklar gidroelektrostansiyalarning yuqori va quyi suv sathini, yer osti suvlari sathini, neft mahsulotlari hamda texnik o'simliklar urug'ligining namligini aniq o'lchashda qo'llanilgan.

### 2.2.5. O'zgarmas tok kompensatorlari

Kompensatorlar taqqoslovchi o'lchash asboblari turiga mansub bo'lib, ishlash asosi e.y.u.k. yoki kuchlanishni hamda ular bilan bog'liq kattaliklarni kompensatsiyalashga asoslangan.

O'zgarmas tok kompensatorlari kuchlanish, e.y.u.k. va ular bilan bog'liq boshqa elektr kattaliklar: tok, qarshilik va quvvatni o'lchashda ishlatiladi. O'zgarmas tok kompensatorining sxemasi 2.26 - rasmda keltirilgan.



2.26- rasm. O'zgarmas tok kompensatorining sxemasi

kompensatsiyalanadi, ya'ni MK ko'rsatishi nolga keltiriladi. Keyin SA ulagich

Bu yerda:  $E_N$ ,  $E_{ish}$ ,  $E_x$  - namunaviy, ishchi tok va o'lchanyotgan e.y.u.k. manbalari;  $R$ ,  $R_{nom}$ ,  $R_K$  - rostanuvchi, namuna va kompensatsiyalovchi rezistorlarning qarshiliklari; MK - muvozanat ko'rsatkichi, odatda magnitoelektrik galvanometr; SA - qayta ulagich.

Kompensatorning ishlash prinsipi quyidagicha: SA ulagich 1 - holatda turganda, namunaviy qarshilikdagi kuchlanish pasayishi namuna e.y.u.k. manbai kuchlanishi bilan

2-holatga o'tkaziladi va  $R_K$  qarshilik o'zgartirilib,  $I_{ish} R_K = E_X$  ga erishiladi. Namunaviy va kompensatsiyalovchi qarshiliklardagi kuchlanish pasayishlari tenglashtirilib, quyidagilar hosil qilinadi:

$$\frac{E_X}{E_N} = \frac{R_K}{R_{nam}}$$

Bundan:

$$E_X = E_N \frac{R_K}{R_{nam}}$$

Yuqoridagi ifoda  $I_{ish}$  mo'tadil bo'lgan hol uchun o'rinli. Shu sababli  $E_{ish}$  manba mo'tadilligiga katta talab qo'yiladi.

$E_N$  va  $R_{nam}$  elementlar qiymati yuqori aniqlikda ma'lum bo'lganligi sababli,  $R$  qarshilik kuchlanish birliklarda darajalanadi.

Kompensatorning o'lchash doirasi 0...2 V oralig'ida bo'lganligi tufayli katta kuchlanishlar kuchlanish bo'lgichlari yordamida o'lchanadi.

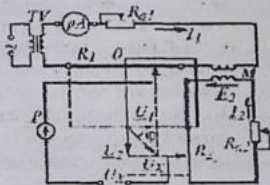
### 2.2.6. O'zgaruvchan tok kompensatorlari

O'zgaruvchan tok kompensatorlari (O'TK) dekad yoki qutb koordinatalari tizimida ifodalanadigan sinusoidal kuchlanishini o'lchash uchun xizmat qiladi.

Ularining ishlash asosi o'lchanayotgan kuchlanish va ma'lum e.y.u.k. larning modullari va faza siljishlarining mos ravishda teng bo'lishiga asoslangan. Shu bilan birga, ularning chastotasi va egri shakli ham bir xil bo'lishi kerak.

Noma'lum o'zgaruvchan kattalikni kompensatsiyalash uchun avvalo uning o'zaro perpendikulyar bo'lgan o'qlardagi tashkil etuvchilari topiladi. O'zgaruvchan kuchlanishni bunday shaklga keltirib o'lchaydigan kompensatorlar to'g'ri burchakli koordinatli kompensatorlar deb ataladi.

Kompensatorning birinchi konturi manbaga ulangan transformator (TV) ning ikkilamchi chulg'ami,  $pA$  – ampermetr,  $R_{q1}$  – o'zgaruvchan qarshilik, o'zaro induktiv bog'langan ( $M$ ) g'altakning birinchi chulg'ami va reoxord tarzida yasalgan  $R_1$  – rezistordan iborat (2.27- rasm). Ikkinchi kontur esa o'zaro induktiv bog'langan g'altakning ikkinchi chulg'ami, o'zgaruvchan qarshilik va reoxord tarzida yasalgan ( $R_2$ ) rezistordan iborat. Asbob o'zgaruvchan tok manbaiga ulanib, uning toki ampermetr –  $pA$  bilan nazorat qilinadi. Bu holda ( $R_1$ ) rezistordagi kuchlanish pasayishining fazasi o'tayotgan tok bilan bir xil fazada bo'ladi.



2.27 – rasm. O'zgaruvchan tok kompensatorining sxemasi

Birinchi g'altakning magnit oqimi o'zaro bog'langan ikkinchi g'altakda e.y.u.k. hosil qiladi. Bu e.y.u.k. ning fazasi

birinchi kontur reoxordidagi kuchlanishning fazasiga qaraganda orqada qoladi. Shunday qilib,  $R_2$  reoxorddan o'tadigan  $I_2$  tokning fazasi o'lchanadigan  $U_1$  kuchlanishning fazasi bilan ustma-ust tushadi, ya'ni bir fazada bo'ladi. Shuning uchun  $I_2$  tokni o'lchash shart emas. Faqat  $R_2$  reoxord qarshiligini  $I_2$  tok chastotasiga mos bo'lgan proporsiyada o'zgartirish kerak. Buning uchun reoxord qo'zg'aluvchan kontaktining holati chastota qiymatida darajalanadi.

Misol uchun, agar reoxordning qo'zg'aluvchan kontakti o'rtada tursa, undagi kuchlanish tushuvining fazasi  $180^\circ$  ga siljigan bo'ladi. Bu holda kompensatsiyalovchi kuchlanishni  $U_x = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}$  dan va faza siljishini  $\varphi = \arctg U_1/U_2$  ifodadan foydalanib hisoblash mumkin.

*Bu turdagi kompensatorni o'lchash diapazoni 0 dan 1,6 mV gacha, chastota doirasi 40 dan 60 Gs gacha, aniqlik klassi 0,2.*

O'zgarmas va o'zgaruvchan tok kompensatorining asosiy afzalligi shundaki, o'lchash jarayonida o'lchash zanjirida quvvat isrof bo'lmaydi. Shuning uchun ularning xatoligi foizning mingdan bir ulushi atrofida bo'ladi.

**Kamchiligi:** o'lchash jarayoni murakkab va ko'p vaqt talab qiladi.

P355 rusumdagi kompensator 0,05-0,5 aniqlikdagi ampermetr va voltmetrlarni qiyoslash hamda darajalashda ishlatiladi. Asbobdan 0,6 dan 1500 mV gacha bo'lgan kuchlanishlarni o'lchashda foydalaniladi.

## 2- laboratoriya ishi

1. O'zgarmas va o'zgaruvchan tok ko'priklari bilan elektr parametrlarini o'lchash.

### Referat mavzulari

1. Taqqoslovchi o'lchash asboblarning struktura sxemalari, asosiy vazifalari, turlari va klassifikatsiyasi.
2. O'zgarmas tok yakka va ikkilangan ko'priklarining imkoniyatlari va afzalliklari.
3. O'zgaruvchan tok va transformatorli ko'priklarning tuzilishi, muvozanat shartlari, foydalanish sohalari.
4. O'zgarmas va o'zgaruvchan tok kompensatorlarining tuzilishi, ishlashi, afzallik va kamchiliklari.

### O'z-o'zini sinash savollari

1. Taqqoslash usuli mohiyatini uning struktura sxemasi orqali tushuntirib bering.
2. O'zgarmas va o'zgaruvchan tok oddiy ko'prik sxemalarining muvozanat sharti qanday ifodalanadi?
3. Oddiy ko'prik sxemasining sezgirligi qanday aniqlanadi?

4. Ikkilangan o'zgarmas tok ko'prik sxemasi qanday hollarda qo'llaniladi?
5. Nima sababdan oddiy va ikkilangan ko'prik sxemalarining o'lchash chegaralari har xil?
6. Avtomatik ko'prik qanday ishlaydi?
7. O'zgarmas tok kompensatori ishlashini uning soddalashtirilgan sxemasi orqali tushuntirib bering.
8. O'zgaruvchan tok kompensatori qanday tuzilgan?

### 2.3. Masshtab o'lchash o'zgartkichlari

*O'lchash o'zgartkichlari – o'lchash ma'lumoti signalini ishlab chiqish, uzatish, keyinchalik o'zgartirish, ishlov berishga mo'ljallangan, lekin kuzatuvchining ko'rishi uchun mo'ljallanmagan o'lchash vositasidir.*

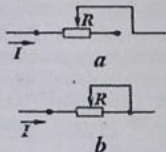
#### 2.3.1. O'lchash zanjirlari parametrlarini rostdash vositalari

*Tok va kuchlanishni talab qilingan martaga o'zgartiradigan o'lchash o'zgartkichlari masshtab o'zgartkichlari (MO') deb ataladi. Bu o'zgartkichlar o'lchash asbobi bo'lmasada, o'lchash natijalariga ta'sir ko'rsatadi. MO'ga shuntlovchi va qo'shimcha qarshiliklar, o'lchash transformatorlari, o'lchash generatorlari va kuchaytirgichlar kiradi.*

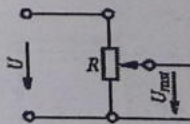
O'lchash zanjirlaridagi tok va kuchlanishni rostdash uchun o'zgaruvchan rezistorlar qo'llaniladi.

Zanjirdagi tok qiymatini rostdash uchun o'zgaruvchan rezistorlar zanjirga ketma-ket ulanadi (2.28- rasm: *a* – zanjirdan uzilgan holda; *b* – zanjirni uzmasdan ulash).

Zanjirdagi kuchlanishni rostdash uchun potensiometr sxemasi qo'llaniladi (2.29 - rasm).



2.28- rasm. O'zgaruvchan rezistorlarni zanjirga ulanishi

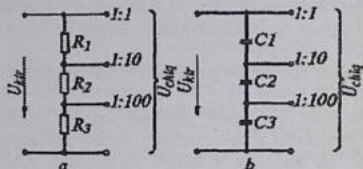


2.29- rasm. Potensiometr sxemasi

Zanjirdagi tok va kuchlanishlarni rostdash uchun qarshiliklar ruxsat etiladigan chegaraviy tok va nominal qarshilik bo'yicha tanlanadi. Tokni rostdash uchun rezistorning nominal qarshiligi  $R_n \geq U/I_{\text{min}}$  nominal toki

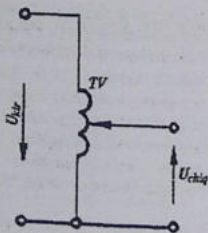
$I_n \geq I_{\max}$  shartlarini qanoatlantirish kerak, bu yerda:  $U$  – manba kuchlanishi,  $I_{\min}$  va  $I_{\max}$  – tokni rostdash doirasi.

Zanjirdagi kuchlanishni karrali rostdash uchun o'zaro ketma-ket ulangan qarshiliklar kuchlanish manbaiga parallel ulanadi (2.30 - rasm). Rezistorlarning umumiy qarshiligi  $I_p \geq U$  shartni qanoatlantirishi kerak, bu yerda:  $I_p$  – rezistorlar uchun ruxsat etilgan tok qiymati. Bunday kuchlanish bo'lgichlarida kuchlanish sakrab, ya'ni (diskret) o'zgaradi. Kuchlanish bo'lgichni xarakterlovchi asosiy parametrlaridan biri bo'lgich koeffitsiyenti  $k_b = U_{kir}/U_{chi}$  bo'ladi. U 10 ga karrali qilib olinadi.



2.30 - rasm. Kuchlanish bo'lgich sxemalari: a – o'zgarimas tokda; b – o'zgaruvchan tokda

Zanjirdagi o'zgaruvchan kuchlanishni bir tekis o'zgartirish uchun laboratoriya avtotransformatorlari (JLTP)dan foydalaniladi (2.31- rasm). Ularni o'zgartirish doirasi 0...250 V.



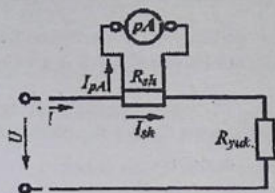
2.31- rasm. Laboratoriya avtotransformatorining sxemasi

O'zgaruvchan tok zanjirlarida faza siljish burchagini bir tekis rostdash uchun fazoregulyator (buriluvchi transformator) lardan foydalaniladi. Fazoregulyator tormozlangan faza rotorli uch fazali asinxron mashina bo'lib, rotorni statorga nisbatan holatini o'zgartirib, statoridagi kuchlanish bilan rotorning e.y.u.k. vektorlari orasidagi faza siljish burchagini  $0^\circ$  dan  $360^\circ$  gacha rostdash mumkin.

### 2.3.2. Shuntlar va qo'shimcha rezistorlar

Asboblarning o'lchash doirasi chegaralangan bo'lgani uchun ularni har doim ham o'lchash zanjirlariga bevosita ulab bo'lmaydi. Ampermetr va voltmetrni o'lchash chegarasini kengaytirish uchun tok va kuchlanish o'lchash o'zgartkichlaridan foydalaniladi.

ampermetr o'lchash doirasini kengaytirish uchun unga parallel holda shunt rezistor ulanadi (2.32- rasm). Rezistor qarshiligi  $I_{sh} R_{sh} = I_{pA} R_{pA}$  tengli dan topiladi, bu yerda:  $I_{sh}$   $I_{pA}$  – shunt dan va ampermetrdan o'tadigan toklar,  $R_{sh}$ ,  $R_{pA}$  – shunt va ampermetr ichki qarshiliklari.



2.32- rasm. Shuntlovchi rezistorning ulanish sxemasi

Yuqoridagi tenglikdan  $I = I_{sh} + I_{pA}$  ni hisobga olib, quyidagini keltirib chiqarish mumkin:

$$R_{sh} = I_{pA} \frac{R_{pA}}{I_{sh}} = \frac{R_{pA}}{(I/I_{pA}) - 1} = \frac{R_{pA}}{n - 1}$$

bu yerda:  $n = I/I_{pA}$  – shuntlash ko'effitsiyenti. Ampermetr yordamida o'lchana-digan tok undan o'tadigan tokning shuntlash ko'effitsiyenti ko'paytmasiga teng, ya'ni  $I = nI_{pA}$ .

Sanoatda ishlab chiqariladigan ampermetrlar qutisida bir necha o'n ampega mo'ljallangan shuntlar joylashtirilgan bo'ladi.

O'lchash xatoligini kamaytirish maqsadida shuntlar haroratga mo'tadil bo'lgun qotishmadan (masalan, manganidan) yasaladi hamda potensial va tokli kontakt juftlari bilan ta'minlanadi.

Shuntlar, odatda, magnitoelektrik asboblardan birga qo'llaniladi. Boshqa turdagi asboblarda iste'mol qilinadigan quvvat katta bo'lgani uchun shuntlarning qarshiliklarini katta qiymatlarga oshirishga to'g'ri keladi. Shuntlarning qarshiligi nominal qiymatiga nisbatan o'zgarishiga qarab 0,02; 0,05; 0,1; 0,2 va 0,5 aniqlik klasslariga bo'linadi.

Voltmetrlar o'lchash doirasini kengaytirish uchun unga ketma-ket qo'shimcha qarshilik ulanadi (2.33- rasm). Qo'shimcha qarshiliklar qiymati quyidagi ifodadan topiladi:

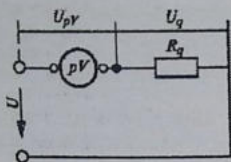
$$I = \frac{U}{R_{pV} + R_q} = \frac{mU_{pV}}{R_{pV} + R_q}$$

yoki

$$R_q = \frac{U}{I} - R_{pV} = \frac{mU_{pV}}{I} - R_{pV} = R_{pV}(m - 1)$$

bu yerda:  $U_{pV}$  – qo'llaniladigan voltmetrning nominal qiymati;  $R_{pV}$  – voltmetrning ichki qarshiligi;  $R_q$  – qo'shimcha qarshilik,  $m = U/U_{pV}$  – bo'lish ko'effitsiyenti.

O'zgarmas tok zanjirlari uchun qo'shimcha qarshiliklar yakka o'rnamli g'altak ko'rinishida, o'zgaruvchan tok zanjirlarida esa bifilyar, ya'ni ikki buklanib o'ralgan bo'ladi. Aniqlik klasslari: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 va 1,0.

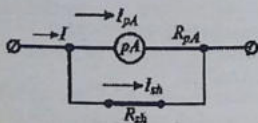


2.33- rasm

**1-masala.** Qarshiligi  $R_{\rho A} = 0,08 \text{ Om}$  bo'lgan ampermetrga uzunligi  $l = 0,01 \text{ m}$ , ko'ndalang kesim yuzi  $s = 0,05 \text{ mm}^2$  mis sim parallel, ya'ni shunt ko'rinishida ulangan (2.34- rasm). Agar ampermetr ( $I_{\rho A}$ )  $0,05 \text{ A}$  ni ko'rsatsa, zanjirdagi tok ( $I$ ) qancha bo'ladi? Misning solishtirma qarshiligi  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$ .

**Yechish.** O'zaro parallel ulangan ampermetr va shuntlardan o'tayotgan toklarning nisbati  $R_{\rho A}$  va  $R_{sh}$  qarshiliklar nisbatiga teskari proporsionaldir, ya'ni:

$$\frac{I_{\rho A}}{I_{sh}} = \frac{R_{sh}}{R_{\rho A}}$$



2.34 - rasm

bu yerda:  $R_{sh} = \rho \frac{l}{S}$  - shuntning qarshiligi;  $I_{sh} = (I - I_{\rho A})$  - shuntдан o'tuvchi tok;  $I$  - zanjirdagi tok. Binobarin:

$$\frac{I_{\rho A}}{I - I_{\rho A}} = \frac{\rho \frac{l}{S}}{R_{\rho A}}$$

bu ifodadan zanjirdan o'tuvchi  $I$  tokni topamiz:

$$I = I_{\rho A} \frac{R_{\rho A} - \rho \frac{l}{S}}{\rho \frac{l}{S}} = I_{\rho A} \frac{R_{\rho A} S - \rho l}{\rho l} = 0,05 \frac{0,08 \text{ Om} \cdot 5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 - 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m} \cdot 0,1 \text{ m}}{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Om} \cdot \text{m} \cdot 0,1 \text{ m}} = 6,75 \text{ A}$$

**2-masala.** Ichki qarshiligi  $R_{\rho V} = 2,5 \text{ kOm}$ , nominal kuchlanishi  $150 \text{ V}$  bo'lgan ACTB rsumdagi voltmetrning o'lchash chegarasini  $600 \text{ V}$  gacha kengaytirish uchun unga qanday kattalikdagi qo'shimcha qarshilik ulash kerak?

**Yechish.** O'lchash chegarasining kengaytirish koeffitsiyenti  $n = 600/150 = 4$ .

Qo'shimcha qarshilik kattaligi:

$$R_q = R_{\rho V} (n - 1) = 2,5 \cdot (4 - 1) = 7,5 \text{ kOm}$$

**3-masala.** Nominal kuchlanishi  $150 \text{ V}$ , ramkasining qarshiligi  $20 \cdot 10^3 \text{ Om}$  li magnitoelektrik voltmetrning o'lchash doirasi  $250 \text{ V}$  gacha kengaytirilganda ichki isrof quvvati qanchaga o'zgaradi?

**Yechish.** Nominal kuchlanish  $150 \text{ V}$  da magnitoelektrik voltmetrning ichki isrof quvvati:

$$P_{pV_1} = \frac{U_1^2}{R_{pV_1}} = \frac{150^2}{20 \cdot 10^3} = 1,125 \text{ Vt}$$

oltmetning o'lchash chegarasini 250 V gacha kengaytirish uchun qo'sh ncha ulanadigan qarshilik:

$$R_q = R_{pV_1}(n-1) = 20 \cdot 10^3 \cdot (1,66-1) = 13333,3 \text{ Om}$$

bu yer la:  $n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{250}{150} = 1,66$  bo'lish koeffitsiyenti.

Hosil bo'lgan umumiy qarshilik:

$$R_{pV_2} = R_{pV_1} + R_q = 20000 + 13333,3 = 33333,3 \text{ Om}$$

O'lchash chegarasi kengaytirilgandan keyin ichki isrof:

$$P_{pV_2} = U_2^2 / R_{pV_2} = 250^2 / 33333,3 = 1,875 \text{ Vt}$$

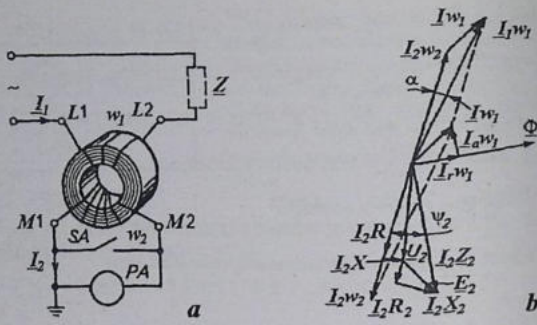
bo'ladi.

### 2.3.3. O'lchash transformatorlari

Shuntlovchi va qo'shimcha qarshiliklardan foydalanib, o'lchash diapazonini kengaytirish imkoniyati chegaralangan: ular yordamida 5 kA gacha tokni va 30 kV gacha kuchlanishni o'lchash mumkin. Bundan katta tok va yuqori kuchlanishlarni o'lchashda ularning massasi va o'lchamlari juda oshib ketadi hamda foydalanish xavfli bo'lib qoladi. Bunday hollarda tok va kuchlanish o'lchash transformatorlaridan foydalaniladi. Tok o'lchash transformatorlari (TA) katta toklarni, odatda, 0 - 5 A gacha bo'lgan doiraga kamaytirib berib, o'lchash xavfsizligini bemaolol ta'minlaydi (2.35 - rasm). TA birlamchi chulg'amning o'ramlari soni ikkilamchi chulg'amnikiga qaraganda ancha kam bo'ladi. Simlarning qarshiliklari ancha kichik bo'lgani sababli TA qisqa tutashish holatiga yaqin holatda ishlaydi. Tok transformatori vektor diagrammasini qurishni  $I_2$  tok vektorini istalgan holatda joylashtirishdan boshlagan ma'qul (2.35 - rasm, b).  $I_2 w_2$  magnitlovchi kuch vektori  $I_2$  vektor bilan ustama-ust joylashtiriladi.  $U_2$  kuchlanish vektori  $I_2 R_2$  va  $I_2 X_2$  vektorlar yig'indisidan iborat.  $E_2 = U_2 + I_2 z_2$  ifoda asosida ikkilamchi chulg'amdagi  $E_2$  EYuK vektorini hosil qilamiz.  $E_2$  va  $I_2$  vektorlar orasidagi faza siljish burchagi  $\psi_2$  ni tashkil etadi.

Transformator o'zagidagi ( $\Phi$ ) magnit oqimi umumiy magnitlovchi kuch ( $Iw_1$ ) hisobidan hosil bo'lib, transformatorlarning birlamchi va ikkilamchi zanjirlarining magnitlovchi kuchlarining vektor yig'indisiga proporsionaldir. Umumiy magnitlovchi kuch quyidagicha topiladi:

$$Iw_1 = I_1 w_1 + I_2 w_2$$



2.35 - rasm. Tok o'lchash transformatori:  
 a - ulanish sxemasi; b - vektor diagrammasi

$I_1 w_1$  MYuK o'zaki M.YuK o'zaki dagi uyurmaviy toklar va gisterezisga sarf bo'ladigan quvvat isrofini belgilovchi  $I_a w_1$  aktiv va magnitlanishga sarf bo'ladigan quvvatni belgilovchi  $I_p w_1$  reaktiv tashkil etuvchilarning yig'indisidan iborat.

$I_1 w_1$  va  $I_2 w_2$  magnit yurituvchi kuch (m.yu.k.) lar o'zaro teng bo'lmaganligi sababli, transformatorning haqiqiy transformatsiya koeffitsiyentini o'ramlar sonining nisbati ifodasidan topib bo'lmaydi, ya'ni:

$$k_f = I_1 / I_2 = w_2 / w_1$$

Nominal transformatsiya koeffitsiyenti:

$$k_{fn} = I_{1n} / I_{2n} \approx w_2 / w_1$$

TA tok kattaligi bo'yicha xatoligi:

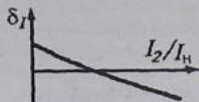
$$\delta_I = \frac{k_{fn} - k_f}{k_f} \cdot 100\%$$

Bu xatolikni kamaytirish maqsadida ferromagnit o'zak magnit singdiruvchanligi maksimal qiymatiga erishguncha qo'shimcha magnitlanadi. Bunday TA lar kompensatsiyalangan TA lar deb ataladi.

Vektor diagrammadan ko'rinib turibdiki TA burchak xatoligini belgilovchi  $\alpha$  burchak ham  $\delta_I$  xatolik bog'liq bo'lgan parametrlarning qiymatlariga qarab o'zgaradi.

TA o'ta yuklanib ishlaganda,  $I_1 w_1$  m.yu.k. oshib,  $I_1 w_1$  ga teng bo'lib qoladi va magnit oqimning yuz martalab oshishiga olib keladi. Bunday hoatda TA xatoligining ortishi kuzatiladi (2.36 - rasm). Magnit oqimning ortishi  $E_2$  EYUK ni ham keskin oshishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun ham TA ishlab turganda

uning ikkilamchi chulg'amini ajratish qat'iy an qilinadi. Aks holda chiqish chulg'amidagi o'ta kuchlanish uning izolyatsiyasini ishdan chiqaradi.



2.36-rasm.TA xatoligini yuklamaga bog'likligi

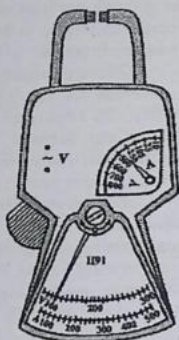
O'lchanayotgan tok 50 A dan oshmasa, universal TA lar, 10 kV kuchlanishli zanjirlarda ТОПОЛЬ 10 rusumli TA lari qo'llaniladi.

Katta toklarni o'lchash texnikasida magnit o'tkazgichi ombursimon ajraladigan va ikkilamchi zanjiri ampermetrga ulanadigan tok transformatori - o'lchash omburidan foydalaniladi (2.37 - rasm).

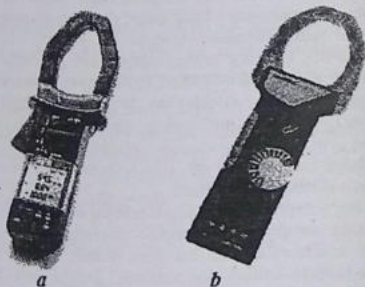
**Elektroenergiya sifatini tezkor nazorat qiluvchi ko'p funksiyali tok omburlari.** Rossiya Federatsiyasining «Diagnost» kichik korxonasida ishlab chiqilgan zamonaviy tok omburlarining F23 va F27 modellari tezkor tashxis va elektr kattaliklarni o'lchash uchun mo'ljallangan (2.38- rasm). Ular tok, kuchlanish, chastota, aktiv, reaktiv va to'la quvvat; mavjud quvvat koeffitsiyenti  $\cos \varphi$ ; elektr kuchlanish sifatini belgilovchi amplituda koeffitsiyenti va garmonik buzilishlarni o'lchaydi. Misol uchun, tok omburining F27 modeli o'zgarish tokni va o'zgaruvchan tokni 25-garmonikasigacha alohida o'lchaydi. O'lchangan kattaliklar displey ekraniga o'rta kvadratik qiymatlarda chiqariladi. Bundan tashqari bu model RS-232 standartidagi interfeysga ega bo'lib, shaxsiy kompyuterga yoki printeriga ulanishi mumkin. Modelning dasturiy ta'minoti WINDOWS operatsion tizimda ishlaydi va kattaliklarni yozish hamda xotirlashni ta'minlaydi. Tok omburining qo'l dastagiga o'lchash sxemasi, boshqarish qismlari va displey joylashtirilgan. Manba sifatida 4x1,5 V ishqoriy elementlar yoki akkumulyatordan foydalaniladi. Elektr batareyalari 40 soat ishlashi mumkin va uning ish holati to'g'risida axborot ekranga chiqariladi.

Tok omburlari simmetrik uch fazali tarmoq uchun uchta faza mavjudligini avtomatik ravishda aniqlaydi va natijani displeyga beradi. Nosimmetrik uch fazali tarmoqda o'lchashlar har bir faza uchun alohida bajariladi. Barcha holatlarda faza ketma-ketligi ko'rsatiladi, bu yig'ish jarayonida yuzaga keladigan xatoliklarni oldini oladi.

Ichida raqamli soat borligi va quvvatni o'lchash imkoni bo'lgani uchun tok omburlari bilan energiya sarfini ham o'lchash mumkin.



2.37- rasm. Ombursimon tok o'Ichagich.



2.38- rasm. Tok omburlarining F23 (a) va F27 (b) modellari.

**Ko'p funksiyali F27 tok omburining asosiy texnik xarakteristikalar:**

Tok o'lchash doirasi, A	0,3 – 1000.
Kuchlanishni o'lchash doirasi, V	0,05 – 600.
Amplituda koeffitsiyenti	1 – 10.
O'zgarmas tok kuchlanishining pulsatsiyasi	2 – 1000.
Chastota, Gs	0,5 – 20 000.
Aktiv quvvat, Vt	10 – 600 000.
Reaktiv quvvat, var	10 – 600 000.

To'la quvvat, VA	10 – 600 000.
Quvvat koeffitsiyenti, $\cos \varphi$	0 – 1.
Tok va kuchlanish fazalarining siljish burchagi ishorasi	- 1 — +1.
Koeffitsiyent, K(KF)	1 – 30.
Ayrim garmoniklarning 25-tartibgacha bo'lgan qiymatlari	Absolut (A yoki B) yoki nisbiylar (%) da.
Buzilish koeffitsiyenti, %	0,2 – 100.
Axborotlarni kompyuterga avtomatik ravishda uzatish, vaqti, min.	1 – 60.
Dasturlangan optik RS – 232 standartdagi interfeys mavjud.	

O'lchash omburi yuklama tokini simni uzmasdan o'lchashga imkon beradi.

Sanoat miqyosida ishlab chiqarilayotgan tok transformatorlarining (TA) yuqori o'lchash chegarasi undagi po'lat o'zakni kuchli magnit maydonida to'yinib qolish xususiyati tufayli cheklangan bo'ladi. Bunday hollarda o'lchash chegarasini kengaytirish uchun po'lat o'zakdagi ishchi magnit oqimi qiymatini kamaytirishga harakat qilinadi. Bunda po'lat o'zak magnit qarshiligini sun'iy oshirish, o'zakda ishchi magnit oqimiga qarama-qarshi magnit oqimini hosil qilish va boshqa usullardan foydalaniladi.

2.39 - rasmda (Toshkent temir yo'l muhandislari institutining "Elektr ta'minoti va mikroprotsessorli boshqaruv" kafedrasida yaratilgan) ko'p o'lchash doirali TA ning konstruktiv sxemasi keltirilgan: a - aksonometrik tasviri; b - oldidan ko'rinishi; c - yuqoridan ko'rinishi (shinalarsiz).

TA elektr o'tkazgich materialdan yasalgan xalqasimon elementlar 1 va 2, diametral ulamalar 3 va 4, dielektrik 5, yopiq ferromagnit o'zak 6 va unga o'ralgan o'lchash chulg'ami 7 hamda diametral joylashgan shina 8 dan tashkil topgan. 1 va 2 elementlarning o'zaro qarama-qarshi va aks tomonlari tirqish ga ega.

TA quyidagicha ishlaydi. TA shinasini 8 dan nazorat qilinayotgan tok o'tkaziladi. O'lchash chulg'ami 7 o'lchash asbobiga ulanadi. Nazorat qilinayotgan zanjirda o'lchash doirasining maksimal toki o'rnatiladi. Metall xalqani aylantirish yo'li bilan o'lchash asbobi darajasi chegarasida chiqish signalining zaruriy kattaligi o'rnatiladi va xalqaning holati qisqichlar orqali qayd qilinadi (chizmada ko'rsatilmagan).

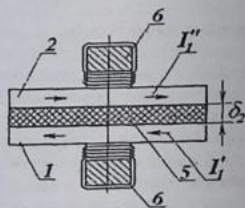
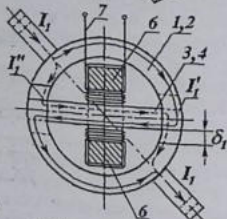
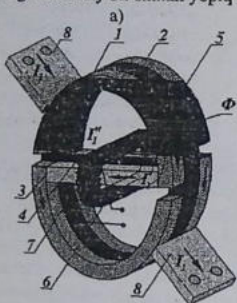
Bu TA da diametral ulamalar 3 va 4 dagi tok yo'nalishlari o'zaro qarama-qarshi yo'nalgan. Xalqasimon elementlar sektorlarining uzunliklari har xil bo'lganligi sababli ulamalardagi toklar turlicha qiymatlarga ega bo'ladi. Shuning uchun yopiq ferromagnit o'zak 6 da magnit oqimi ulamalardan o'tayotgan toklar farqidan hosil bo'ladi.

Uncha katta bo'lmagan toklarni o'lchash uchun shinalar diametral ulamalar qisqalariga ulanadi. Bunda o'lchanayotgan tok diametral ulamalar orqali faqat bir tomonga o'tadi, chunki ikkala xalqalarning uchlarida  $\delta_1$  tirqishlar bor.

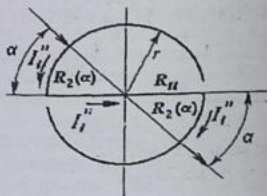
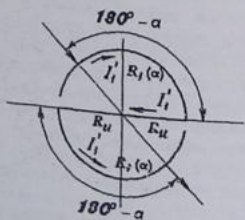
Natijada, uncha katta bo'lmagan toklarni o'lchashda ushbu TA ning o'lchash chegarasi oddiy bir shinali yopiq ferromagnit o'zakli TA niki kabi bo'ladi.

Ulamalardagi toklar farqining o'lchanayotgan tokka bog'liqligini aniqlaymiz. Buning uchun har bir xalqa uchun  $I_1'$  va  $I_1''$  toklar yo'llarini ko'rsatami va ularning elektr qarshiliklarini quyidagicha aniqlaymiz (2.40 - rasm):

$$R_1(\alpha) = \rho \frac{l_1(\alpha)}{S} = \rho \frac{\pi(180^\circ - \alpha)}{180^\circ S}$$



2.39-rasm. Ko'p o'lchash doirali TA ning konstruktiv sxemasi: a - aksonometrik tasviri; b - oldidan ko'rinishi; c - yuqoridan ko'rinishi (shinalarsiz).



2.40 - rasm. Halqaiardan  $I_1'$  va  $I_1''$  toklarni o'tish yo'llarini

$$R_2(\alpha) = \rho \frac{l_2(\alpha)}{S} = \rho \frac{\pi r \alpha}{180^\circ S},$$

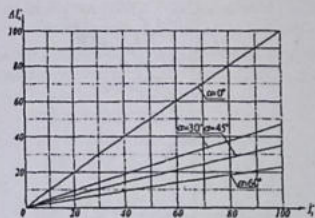
$$R_u(\alpha) = \rho \frac{2r}{S},$$

bu yerda  $\rho$ ,  $S$  - mos ravishda materialning solishtirma elektr qarshiligi va xalqa elementlarining ko'ndalang kesim yuzasi;  $l_1(\alpha)$ ,  $l_2(\alpha)$  - mos ravishda birinchi va ikkinchi xalqasimon elementlar sektorlarining uzunliklari;  $R_u$  - diametral ulama elektr qarshiligi.

Diametral ulamalardagi toklar farqi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta I_u = I_1' - I_1'' = \frac{R_2(\alpha) - R_1(\alpha)}{R_1(\alpha) + R_2(\alpha) + R_u} \cdot I_1 = \frac{\frac{\pi \cdot r}{90^\circ} \alpha - \pi \cdot r}{r(2 + \pi)} \cdot I_1 = \frac{\pi}{2 + \pi} \frac{\alpha - \pi}{90^\circ} \cdot I_1.$$

$\Delta I_u = f(I_1)$  ifoda shuni ko'rsatadiki, toklar farqi xalqa elementlarining o'lchanayotgan tok o'tayotgan shinaga nisbatan burilish burchagiga bog'liq. 2.41-rasmda  $\alpha$  burchakning har xil qiymatlarida  $\Delta I_u = f(I_1)$  funksiyaning grafigi keltirilgan. Bu grafikdan ko'rinib turibdiki,  $\alpha$  burchak  $90^\circ$  ga yaqinlashtirilganda toklar farqi  $\Delta I_u$  keskin kamayadi va natijada katta toklarni o'lchashda magnit o'tkazgich materiali to'yinishining oldi olinadi.



2.41 - rasm.  $\Delta I_u = f(I_1)$  funksiyaning grafiklari

Shunday qilib, yuqorida bayon qilingan TT juda keng o'lchash doirasida toklarni o'lchash imkoniyatini beradi.

Sanoatda ommaviy ishlab chiqariladigan tok transformatorlarining aniqlik klassi: 0,01 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 va 10,0.

O'lchash transformatorlarini o'lchash asboblari to'g'ri ulash uchun transformator qismlarini mos holda belgilab qo'yish lozim bo'ladi.

Kuchlanish o'lchash

transformatorlari (TV) tuzilishi va ishlash prinsipiga ko'ra kuch transformatorlari bilan bir xil bo'lib birlamchi chulg'ami yuqori kuchlanish tarmog'iga, ikkilamchi chulg'ami esa ichki qarshiligi katta bo'lgan o'lchash asboriga ulanadi (2.42 - rasm. a). TV larda har doim  $w_1 > w_2$  shart bajariladi. TV birlamchi (yuqori kuchlanish) chulg'amidan o'tadigan o'zgaruvchan tok transformator berk magnit

o'tkazgich (ferromagnit o'zak) da o'zgaruvchan magnit oqimini hosil qiladi. Bu oqim esa o'z navbatida ikkala chulg'amni kesib o'tib ularda elektromagnit induksiya qonuniga binoan o'zgaruvchan EYuK  $E_1$  va  $E_2$  larni induksiyalaydi.  $E_2$  EYuK ta'siri ostida ikkilamchi (quyi kuchlanish) chulg'amiga ulangan o'lchash asbobidan TV ga berilgan kuchlanishga proporsional bo'lgan tok hosil bo'ladi.

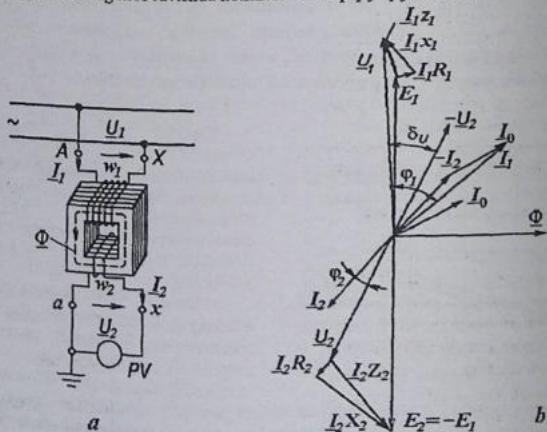
*Kuchlanish transformatorlarining qismlari elektr ta'minat transformatorlaridagiga o'xshash A-X, a-x va hokazo deb belgilanadi.*

TV larning o'ziga xos xususiyatlaridan biri shundan iboratki, uning ikkilamchi chulg'amiga ulangan o'lchash asbobining ichki qarshiligi juda katta bo'lib, TV salt ish holatga yaqin holatda ishlaydi. TV ning kuchlanish bo'yicha xatoligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\delta_U = \frac{K_{U_v} - K_U}{K_U} \cdot 100\%,$$

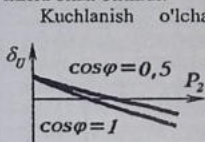
bu yerda  $K_{U_N} = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} \approx \frac{w_1}{w_2}$ ,  $K_U = \frac{U_1}{U_2} \neq \frac{w_1}{w_2}$  - TV transformatsiya

koeffitsiyentlarining mos ravishda nominal va haqiqiy qiymatlari.



2.42 - rasm. Kuchlanish o'lchash transformatori:  
 a - ulanish sxemasi; b - vektor diagrammasi

2.42 - rasm, b da  $TV$  ning soddalashtirilgan vektor diagrammasi keltirilgan. Uni qurish tartibi  $TA$  vektor diagrammasiga o'xshash. Diagrammadan ko'rinish turibdiki,  $\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 z_1$  vektor  $\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{I}_2 z_2$  vektordan moduli va fazasi jihatdan farq qiladi. Buning oqibatida transformatsiya jarayoni natijasida burchak bo'yicha xatolik  $\delta_U$  yuzaga keladi. Agar birlamchi kuchlanish vektori ikkilamchi kuchlanish vektoridan orqada qolsa, u holda  $\delta_U$  xatolik musbat ishora bilan olinadi.



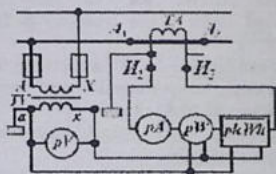
2.43 - rasm.  $TV$  burchak xatoligini ikkilamchi chulg'amga ulangan o'lchash asbobi iste'mol qiladigan quvvatga bog'likligi

Kuchlanish o'lchash transformatori burchak xatoligini ikkilamchi chulg'amga ulangan o'lchash asbobi iste'mol qiladigan quvvatga bog'liklik grafigi 2.43 - rasmda keltirilgan. Grafikdan ko'rinish turibdiki, burchak xatolik zanjir quvvat koeffitsiyentining qiymatiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Asosiy xatolikning ruxsat etilgan qiymatlariga ko'ra  $TV$  lar 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0 aniqlik sinflariga bo'linadi.

kuchlanishga, I-510 transformator esa 15 kV gacha bo'lgan kuchlanishni  $100/\sqrt{3}$  dan 150 V gacha bo'lgan kuchlanishga pasaytirib beradi.

Tok transformatori ( $TA$ ) ning birlamchi chulg'amining boshlanishi va oxmos ravishda  $J1$  va  $J2$  liniya bilan, ikkilamchi chulg'amning boshlanishi va oxiri  $H1$  va  $H2$  (o'lchash asbobi) bilan belgilanadi.

Bir fazali zanjirga o'lchash asboblari komplektini kuchlanish va tok transformator orqali ulash sxemasi 2.44- rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda ampermetr ( $pA$ ), vattmetr ( $pW$ ) va ener-giya hisoblagich ( $p kWh$ ) kuchlanish zanjiriga kuchlanish transformatori  $TV$  va  $TA$  orqali ulangan.



2.44- rasm. Bir fazali zanjirga o'lchash asboblari komplektini kuchlanish va tok transformator orqali ulash sxemasi

Neytral simsiz uch fazali qurilmalarda ishlatiladigan o'lchash asboblari uchun ikkitadan tok ( $TA1, TA2$ ) va kuchlanish transformatorlari ( $TV1$  va  $TV2$ ) zarur (2.45- rasm).

O'lchash asbobiga nisbatan ikkilamchi kuchlanish fazasi bo'yicha birlamchi kuchlanishga mos tushadi. Bunga ikkilamchi chulg'am va asbob qismlarini kerakli tutashtirib erishiladi. Demak,  $TV1$  va  $TV2$  larning chulg'amlari ulanishning 0 guruhiga

muvofiq tutashtiriladi. Shunday qilib, kuchlanish transformatorlari ikkilamchi zanjirga birlamchi yuqori kuchlanishning

proporsional tarzda o'zgartgan qiymatini va uning fazasini uzatadi. Bu esa past kuchlanish ( $U_2$ ) ni o'lchab, birlamchi yuqori kuchlanish ( $U_1$ ) ni aniqlash imkonini beradi. Fazasini to'g'ri uzatish voltmeter yoki chastotalar uchun emas, balki vattnetr va energiya hisoblagich (schetchik) uchun muhim.

O'lchash transformatorlarining ma'lum transformatsiya koeffitsiyentlarida muntazam ishlashi uchun mo'ljallangan vattnetr va energiya hisoblagichlar mos ravishda koeffitsiyentlarni hisobga olgan holda darajalanadi. Ko'p transformatorlarda ikkilamchi nominal kuchlanish bir xil standart qiymat – 100 V ga teng bo'ladi.

O'lchash transformatorlari bilan ishlashda texnika xavfsizligi. O'lchash transformatorlari elektr qurilmalarining o'lchash asboblari va releli himoyalash zanjirlarida qo'llaniladi. Ma'lumki, kuchlanish transformatorlari yuqori kuchlanishning o'lchash zanjiriga ulangan bo'ladi, ishlab turgan tok transformatorlarining ikkilamchi chulg'amlari uzilganda, ularning uchlarida o'ta kuchlanish paydo bo'ladi.

Shuning uchun iste'molchilar elektr qurilmalarining texnik ishlatish qoidalarini va ulardan foydalanish texnika xavfsizligi qoidalarini bo'yicha quyidagilarga rioya qilishlari shart:

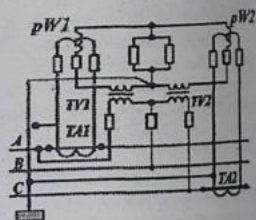
1. O'lchash asboblari va releli himoyalash zanjirlarida bajariladigan ishlarning xavfsizligini ta'minlash uchun barcha tok va kuchlanish transformatorlarining ikkilamchi chulg'amlari doim yerga ulangan bo'lishi shart.

2. O'lchash asboblari va relelarning tok zanjirlarini uzish zarurati tug'alsa o'lchash tok transformatorlarining ikkilamchi chulg'amlari avval bunga maxsus mo'ljallangan qisqichlar bilan qisqa tutashtirilgan bo'lishi shart.

3. Tok transformatorlari va ularning maxsus qisqa tutashtiruvchilarini uzilishiga olib keluvchi ishlarni bajarish taqiqlanadi.

4. Kuchlanish transformatorlarining zanjirlariga qo'shimcha manbada kuchlanish berilayotganda, kuchlanishi yuqori va quyi tomonlaridagi uchta saqlagich olib tashlangan hamda ikkilamchi chulg'amlardan avtomatik ajratilgan bo'lishi shart.

5. Ko'chma asboblari va tok o'lchovchi ombur (kleshchi)lar bilan o'lchash ishlari ikki kishi tomonidan bajarilishi kerak bo'lib, ulardan bittasining malakasiz IV guruhdan kichik bo'lmisligi lozim. Qo'llaniladigan o'lchash omburlarining



2.45- rasm. Neytral simsiz uch fazali zanjirga o'lchash asboblari komplektini kuchlanish va tok transformator orqali ulash sxemasi

ampermetrlari ishchi joyiga o'rnatilgan bo'lishi kerak, boshqa ampermetrlarni qo'llash taqiqlanadi. O'lchash tik oyoqda, egilmasdan, omburni ushlab turgan holda olib boriladi, bunda dielektrik qo'lqoplar, ko'zoynak va rezina poyandozdan foydalaniladi. O'lchayotganda asbob qarshiliklari va ularning simlariga tegish taqiqlanadi.

6. Kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan shinalar toki maxsus belgilangan joylarda turib, tok omburlari bilan o'lchanadi.

7. Yer tutashtirgichlari bo'lgan havo liniyalarining tayanchlarida turib har qanday o'lchash ishlarini bajarish qat'iyan man qilinadi.

**Masala.** 220 V kuchlanishga va 5 A tokka mo'ljallangan aktiv energiya hisoblagichi tok transformatori 50/5 va kuchlanish transformatori 3000/100 orqali tarmoqqa ulangan (2.31- rasmga qarang). Hisoblagich oying boshida 1234,2 kVt · soatni, oxirida esa 1478,5 kVt · soatni ko'rsatdi. Bir oy ichida sarf qilingan energiyani aniqlang?

**Yechish.** Tok va kuchlanish transformatorlarining transformatsiya koeffitsiyentlari:

$$k_1 = 50/5 = 10, \quad k_U = 3000/100 = 30.$$

Bir oy ichida hisoblagich ko'rsatgan aktiv energiyani aniqlaymiz:

$$W_h = 1478,5 - 1234,2 = 244,3 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$$

Tarmoqdan qabul qilingan elektr energiya:

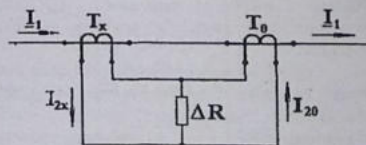
$$W_E = W_h k_1 k_U = 244,3 \text{ kVt} \cdot \text{soat} \cdot 10 \cdot 30 = 73290 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$$

ga teng bo'ladi.

**Masala.** 2.46 – rasmda keltirilgan sxema bo'yicha ulangan  $T_x$  va  $T_0$  tok transformatorining nominal transformatsiya koeffitsiyentlari  $K_{I_N} = 200/5$  ga, birlamchi tok esa  $I_1 = 100 \text{ A}$  ga teng.  $T_x$  transformatorning tok bo'yicha xatoligi  $f_{I_x} = 0,6 \%$ , burchak bo'yicha xatoligi  $\delta_{I_x} = 40'$ ,  $T_0$

transformatorniki mos ravishda  $f_{I_0} = -0,5 \%$ ,  $\delta_{I_0} = 5'$ .

Zanjirning qarshiligi  $\Delta R = 1 \text{ Om}$  bo'lgan qismidagi kuchlanish topilsin.



2.46-rasm

quyidagicha aniqlanadi:

**Echish.**  $\Delta R$  qarshilikdagi tok

$$\begin{aligned} \Delta I &= I_{2x} - I_{20} = \frac{I_1}{K_{I_N}} (1 + \lambda_{I_x}) - \frac{I_1}{K_{I_N}} (1 + \lambda_{I_0}) = \frac{I_1}{K_{I_N}} (\lambda_{I_x} - \lambda_{I_0}) = \\ &= \frac{100 \cdot 5}{200} (0,006 + j2,91 \cdot 10^{-4} \cdot 40 + 0,005 - j2,91 \cdot 10^{-4} \cdot 5) = \\ &= (0,0163 + j0,0254) \text{ A,} \end{aligned}$$

bu yerda  $\lambda_{I_x} = f_{I_x} + j\delta_{I_x}$  va  $\lambda_{I_0} = f_{I_0} + j\delta_{I_0}$  -  $T_x$  va  $T_0$  tok transformatorlarining kompleks xatoliklari.

$\Delta R$  qarshilikdagi kuchlanish:

$$U_{\Delta R} = \Delta I \cdot \Delta R = (0,0163 + j0,0254) \cdot 1 = (16,3 + j25,4) \text{ mV}$$

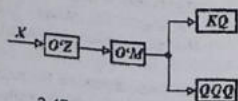
yoki  $|U_{\Delta R}| = 39,2 \text{ mV}$ .

## 2.4. Qayd qiluvchi asboblalar

### 2.4.1. Qayd qiluvchi asboblarning umumiy xossalari va qismlari

Ishlab chiqarishda texnologik jarayonlarni kuzatishda ko'pincha fizik kattaliklar qiymatlarini nafaqat o'lchash, balki avtomatik qayd qilish ham talab qilinadi. Buning uchun qayd qiluvchi asboblalar (QQA) qo'llaniladi.

O'lchanayotgan kattaliklarni o'zgartirish usuliga ko'ra QQA bevosita o'lchovchi va taqqoslovchi QQA ga bo'linadi. Sanoatda, kinyoviy texnologiya jarayonlarida, asosan, bevosita o'lchovchi QQA qo'llanilganligi sababli, shu xil asboblarni batafsil o'rganamiz. QQA ning umumlashgan struktura sxemasi 2.47-rasmda keltirilgan. O'lchash zanjiri (O'Z) da o'lchanayotgan kattalikning masshtabi tanlanadi va u proporsional ravishda elektr tokiga o'zgartiriladi. O'lchash mexanizmi (O'M) ga ta'sir etadigan tok ko'rsatkich qurilma (KQ) ni va u bilan mexanik ravishda bog'langan qayd qilish qurilmasi (QQQ) ni proporsional ravishda ma'lum birlikka siljitadi.



2.47 - rasmda QQA ning umumlashgan struktura sxemasi

bo'linadi.

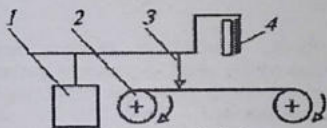
QQQ va axborot tashuvchi qism turi va chastota kengligiga ko'ra QQA o'ziyozar asboblalar, yorug' nurli ossilloqraflar va magnitograflarga

### 2.4.2. O'ziyozar asboblalar

O'ziyozar asboblalar (O'YoA) da o'lchanayotgan kattaliklarni yozish shakli har xil bo'lgan axborot tashuvchi diagramma ko'rinishida yoziladi, axborot tashuvchi diagrammalar har xil bo'lishiga qaramay, tuzilishi va ishlash asoslari

bir xil (2.48- rasm). O'YoA ning asosiy qismi katta aylantirish momentiga ega bo'lgan o'lchash mexanizmidir. Informatsiya tashuvchi (diagrammali qog'oz)ni siljitiib turish uchun lenta tortuvchi mexanizmdan foydalaniladi. Axborot maxsus uskuna yordamida qayd qilinadi. U mexanik ravishda hisoblash qurilmasi bilan bog'lanadi.

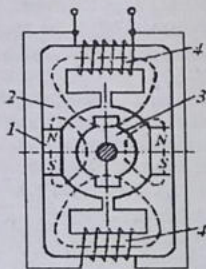
O'lchash mexanizmi o'lchanayotgan kattalikni mexanik siljishga o'zgartiradi va yozuvchi qism – tasmada iz qoldiradi. Katta aylantiruvchi moment hosil qilinishi kerak bo'lganligi sababli magnitoelektrik va ferrodinamik O'M lari ishlatiladi. O'YoA chastota doirasini kengaytirish uchun xususiy tebranish chastotasi kattaroq O'M larni tanlash kerak bo'ladi. Bu talabga ikkita magnitli magnitoelektrik O'M javob beradi (2.49 - rasm).



2.48 - rasm. O'ziyozar asbobjning sxematik tuzilishi. 1-o'lchash mexanizmi; 2-axborot tashuvchi; 3-qayd qiluvchi qurilma; 4-ko'rsatkich

Zamonaviy O'YoA da OOO ikki xil guruhga bo'linadi: 1. O'M qo'zg'aluvchan qismiga bevosita ulangan. 2. Xarakteristikani tekislovchi qurilma orqali ulanadigan OOO.

Axborotni qayd qilish usullari turlicha: axborot tashuvchi yuzasidan material qatlamini ko'chirish, axborot tashuvchining yuzasiga material qatlamini qoplash va yuzadagi modda holatini o'zgartirish. Yuzaga material qatlamini qoplash uchun qalamlar, maxsus siyohlar, nusxa ko'chiruvchi qog'ozlar va boshqalar ishlatiladi. Yuzadan material qatlamini ko'chirishda ko'pincha igna ishlatiladi. Ba'zi bir O'YoA da yorug' nurli ossillograflar ishlatiladi.



2.49 - rasm. Elektromagnit qutblangan mexanizmning tuzilishi: 1-doimiy magnitlar; 2-magnit o'tkazgich; 3-qo'zg'aluvchan silindr; 4-boshqarish chulg'amlari

O'YoA da axborot tashuvchilar diagrammali tasma va disklar ko'rinishida tayyorlanadi. Axborot tashuvchilar uch turga bo'linadi: nochiyiq masshtab to'rtli tasmalar (xarakteristikani tekislovchi qurilmasiz O'YoAda), to'g'ri burchakli koordinatalar tizimli tasmalar (xarakteristikani tekislovchi qurilmasi O'YoAda) va axborot tashuvchi O'YoA aylanadigan

diagrammali disklar. Diagrammali tasmlarning kengligi 40 mm. dan 400 mm. gacha bo'lishi mumkin.

O'YoA ning aniqlik klassi axborot tashuvchi lenta kengligini hisobga olgan holda belgilanadi.

Zamonaviy O'YoA bir va ko'p kanalli (8 ta kanal gacha) ko'rinishda ishlab chiqilmoqda.

Diagramma shaklida keng ishlatilayotgan H338 rusumli O'YoA chastotasi 150 Gs gacha o'zgaradigan jarayonlarni qayd qilish uchun ishlatiladi. Asbobning diagrammaga ko'rsatishi siyoh bilan yoziladi. Kanallar soni tuzilishi jihatdan 8 tagacha, tasmaning eni esa 380 mm bo'ladi.

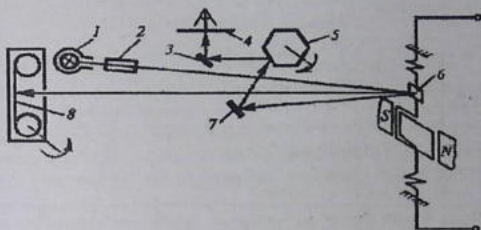
### 2.4.3. Yorug' nurlari ossilloqraflari

Yorug' nurlari ossilloqraflari (YoNO) konstruksiya jihatidan turlicha bo'lishiga qaramay, o'lchash mexanizmi (O'M), optik va yoyuvchi qurilmalar, vaqtni belgilovchi hamda yordamchi qismlardan iborat bo'ladi. YoNO ning O'M magnitoelektrik ossilloqrafik galvanometr dan iborat bo'lib, uning qo'zg'aluvchan qismi ramka yoki simli sirtmoqdan tashkil topgan. Ramka yoki simli sirtmoq ossilloqrafning doimiy magnit maydoni ichiga joylashtiriladi. Galvanometrning konstruktiv tuzilishi qo'llanilayotgan tinchlantirgich turiga bog'liq. Ko'pincha magnitoiduksion va gidravlik tinchlantirgichlar ishlatiladi. Galvanometrlarga qo'yiladigan asosiy talablar: qo'zg'aluvchan qismning xususiy chastotasi ( $\omega_0$ ) imkoni boricha katta, sezgirligi yuqori va tashqi o'lchamlari minimal bo'lishi kerak. Galvanometrlarning dinamik xarakteristikalarini uning xususiy chastotasi va sezgirligi bilan aniqlanadi. Bu ikkala parametrdan ko'paytmasi doimiy bo'lib, u galvanometr asliligini belgilaydi. Agar  $\omega_0 \leq \omega_x$  bo'lsa, dinamik xatolar yuzaga keladi, bu yerda:  $\omega_x$  - qayd etilayotgan kattalik chastotasi. Shuning uchun  $\omega_x = (5 - 10)\omega_0$  bo'lishi kerak.

YoNO ning optik yoki yoyuvchi qurilmasining sxematik tuzilishi 2.50-rasmda keltirilgan. Yorug'lik manba 1 dan linzalar tizimi 2 orqali galvanometr oynasi 6 ga tushadi. Oynadan qaytgan nurning asosiy qismi yorug'likni sezuvchi axborot tashuvchi kasseta 8 tomonga yo'naladi. Nurning qolgan qismi oynali prizma 7 orqali qo'zg'aluvchan oynali baraban 5 ga, undan prizma 3 orqali ekran 4 ga tushadi. Optik qurilmaning bu qismi qayd etilayotgan jarayonni vaqt bo'yicha yoyilgan tasvirini hosil qilish va kuzatish vazifasini bajaradi. Agar qayd etilayotgan jarayonning chastotasi va oynali harabanning aylanish chastotasi o'zaro teng yoki karrali bo'lsa, u holda ekranda tasvir harakatsiz ko'rinadi.

Zamonaviy YoNO da ikki xil axborot tashuvchi fotoqog'ozlar: kunduzgi yorug'lik va ultrabinafsha nurlarni sezuvchi fotoqog'ozlar ishlatiladi. Ular yordamida chastotasi 3 kGs gacha bo'lgan jarayonlarni qayd etish mumkin.

YoNO mexanizmlarni tadqiq qilish, sinash va noelektrik kattaliklarni qayd etishda keng qo'llaniladi. Hozirgi vaqtda H145' rusumli YoNO ishlatiladi. U bir vaqtning o'zida chastotasi 30 kGs bo'lgan 24 ta jarayonni qayd etishi mumkin. Axborot eni – 120 yoki 200 mm bo'lgan fotoqog'ozga yoziladi.



2.50 – rasm. YoNOning optik yoki yoyuvchi qurilmasining sxematik tuzilishi

#### 2.4.4. Magnitograflar

Zamonaviy o'lchashlarda nazorat qilinayotgan parametrlar magnit axborot tashuvchilar yordamida qayd etilmoqda. Bunday asboblarni magnitograflar deb atalib, o'lchanayotgan kattalik kuchaytiriladi va kerakli shaklga aylantirilib keyin yozuvchi qurilma yordamida magnit tasmaga yoziladi.

Magnitograflarning qo'llanilishi axborotlarni bitta tasmaga qayta-qay yozish imkonini beradi. Shu bilan birga, masalan, H048 rusumli magnitograf- (tasmasining eni 25,4 mm) bir paytning o'zida 14 ta jarayonni qayd etishi imkoniga ega. Chastota kengligi 0,3 – 16 kGs, sezgirligi  $\pm 1 V$ , kirish qarshiligi 50 Om, chiqish kuchlanishi  $\pm 1 V$  dan kam emas. Tashqi o'lchamlari 630x340x465 mm, og'irligi 80 kg.

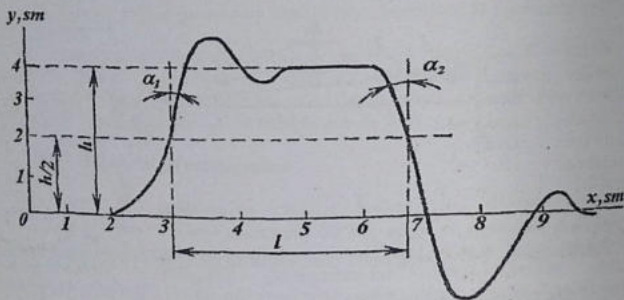
Magnitograflar transportda elektr mashinalari va qishloq xo'jalik texnikalarini tadqiq qilish hamda sinashda keng qo'llaniladi.

**Masala.** Ossillogrammasi 2.51 -rasmda keltirilgan kuchlanish impulsining amplitudasi va uzunligini aniqlash lozim. Og'ish va yoyish koeffitsiyentlari mos ravishda  $1 V/sm$  va  $10 mks/sm$  ga teng.

**Echish.** Davlat standartiga asosan impulsning amplitudasi va uzunligiga mos keluvchi  $h$  va  $l$  o'lchamlari 2.51 - rasmda ko'rsatilgan.  $y$  va  $x$  o'qlari bo'yicha masshtablarni hisobga olib, impuls amplitudasi  $4 V$ , uzunligi esa  $40 mks$  ga teng ekanligiga ishonch hosil qilish mumkin.

Impuls amplitudasini aniqlash xatoligini hisoblash uchun og'ish koeffitsiyenti xatoligi  $\delta_{ok}$ , o'tkinchi jarayonni aks ettiruvchi egri chiziqning

notekisligi  $\delta_N$ , nur chizig'ining qalinligi  $b$  qiymatlarini bilish kerak bo'ladi. Aytaylik,  $\delta_{ok} = 5\%$ ,  $\delta_N = 2\%$  va



2.51 - rasm

$b = 0,6 \text{ mm}$ . Kuchlanishni vizual o'lchash xatoligi

$$\delta_{VU} = \frac{0,4b}{h} \cdot 100\% = 0,5\%$$

Kuchlanish impulsi amplitudasini o'lchash xatoligi:

$$\delta_U = \sqrt{\delta_{ok}^2 + \delta_N^2 + \delta_{VU}^2} = 5,5\%$$

Ushbu holat uchun  $\delta_U$  xatolik asosan og'ish koeffitsiyenti xatoligi bilan aniqlanadi. Agar ossillograf ekranidagi tasvir vertikal o'q bo'yicha 10 marta kichraytirilsa, u holda  $\delta_{VU}$  qiymati 6% ga,  $\delta_U$  esa 8% ga yetar edi. Shuning uchun ham ossillograf ekranida iloji boricha kattaroq tasvir hosil qilish kerak bo'ladi.

Impuls uzunligi o'lchash xatoligini aniqlash uchun Davlat standarti bo'yicha yoyish koeffitsiyenti  $\delta_{yok}$ , uzunlikni vizual o'lchash xatoligi  $\delta_{VT}$  va impulsning 0,5 amplitudasi sathini topishdagi noaniqlik natijasida yuzaga keladigan xatolik  $\delta_{0,5U}$  larni bilish kerak bo'ladi.

Aytaylik,  $\delta_{yok} = 5\%$  bo'lsin. Vizual xatolik:

$$\delta_{VT} = \frac{0,4b}{l} \cdot 100\% = 0,5\%$$

$\delta_{0,5U}$  ni aniqlash uchun  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  burchaklar qiymatlarini bilish zarur bo'ladi (2.51 - rasm). Aytaylik,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 10^\circ$  bo'lsin. U holda

$$\delta_{0,5U} = \frac{0,28b}{l} \sqrt{tg^2 \alpha_1 + tg^2 \alpha_2} \cdot 100 \% = 0,1 \%, .$$

Oxirgi tenglikdan ko'rinib turibdiki, impuls uzunligini o'lchash xatoligi asosan yoyish koeffitsiyentiga bog'liq.

### O'z-o'zini sinash savollari

1. Qayd qiluvchi asboblari qanday vazifalarni bajaradi?
2. Qayd qiluvchi asboblarda axborot tashuvchilarning turlarini ayting va ularga qisqacha baho bering.
3. Qanday qayd etish usullarini bilasiz?
4. O'ziyozar asboblarning tuzilishini va ishlatilishini tushuntirib bering.
5. Yorug' nurli ossillografning tuzilish sxemasini, uning ishlashini bayon qiling.
6. Nima sababdan o'ziyozar asboblari va yorug' nurli ossillograflarda o'lchash mexanizmi sifatida asosan magnitoelektrik mexanizmlar ishlatiladi?
7. Magnitograf qanday o'lchashlarni bajarish uchun mo'ljallangan?

## 2.5. Elektron o'lchash asboblari

### 2.5.1. Elektron o'lchash asboblarning umumiy xususiyatlari va qismlari

O'lchash texnikasini mukammallashtirish istiqboli – asboblarni hozirgi zamon elektronikasi va mikroprotessorlar asosida yaratilishidir. *Elektron o'zgartkichlar asosida tuzilgan o'lchash asboblari elektron o'lchash asboblari (EO'A) deb ataladi.* Chiqish o'zgartkichi sifatida ko'pincha magnitoelektrik asboblari, ossillograflarda elektron nurli trubkalar ishlatiladi. EO'A elektromexanik asboblari singari analog asboblari turkumiga kiradi. Ular tezkorligi, o'lchash doirasining kengligi, aniqligining yuqoriligi bilan elektromexanik asboblardan ustun turadi.

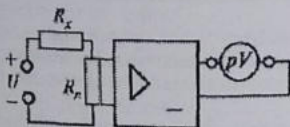
EO'A elektrik kattaliklar (voltmetrlar, chastota o'lchagichlari va boshqalar) ni o'lchovchi; elektr zanjir parametrlari (qarshilik, sig'im, induktivlik va boshqalar) ni o'lchovchi; shuningdek, har xil elektr signallar manbalarini o'lchovchi (o'lchash generatori) guruhlariga bo'linadi.

O'lchanayotgan kattalik turiga qarab EO'A asbobning nom belgisidagi harflariga ko'ra turlarga bo'linadi: B – kuchlanishni o'lchovchi EO'A; G – o'lchash generatorlari va kuchaytirgichlari; E – elektr zanjirining taqsimlangan parametrlarini o'lchovchi EO'A; S – signallar shaklini kuzatuvchi va tadqiq etuvchi EO'A; Ch – chastota o'lchagichlari va hokazo.

### 2.5.2. Elektron ommetrlar

Qarshiliklarni bevosita o'lchashda qo'llaniladigan elektron asboblari elektron ommetrlar deyiladi.

Elektron ommetrlarning ishlashi mo'tadil (stabilashtirilgan) kuchlanish manbaining namunaviy va o'lchanayotgan qarshiliklarda hosil qilingan kuchlanish pasayishlarini taqqoslashga asoslangan (2.52 - rasm). Kuchlanish manbaiga  $R_n$  va  $R_x$  qarshiliklardan iborat bo'lgan kuchlanish bo'lgich ulangan.



2.52 - rasm. Elektron ommetrlarning tuzilishi

Qarshilikdagi kuchlanish pasayishi voltmeter bilan o'lchanadi.  $R_x$  dagi kuchlanish pasayishi  $R_n$  ga to'g'ri proporsional bo'lganligi uchun voltmetrning shkalasi  $Om$  larda

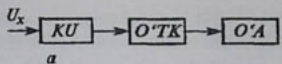
darajalanadi. Elektron ommetrning xatoligi namuna qarshiligining metrologik xarakteristikalariga, manba kuchlanishining mo'tadilligiga va elektron voltmeter xatoligiga bog'liq bo'ladi. Elektron ommetrlar  $10^{-4}$  dan  $10^{12} Om$  gacha bo'lgan qarshiliklarni o'lchash uchun mo'ljallangan. Keltirilgan xatoligi 1,5 foizdan oshmaydi. Ishlab chiqarishda elektron ommetrlar, asosan, elektr qurilmalar izohyatsiya qarshiliklarini o'lchashda va liniyadagi shikastlangan joylarni aniqlashda ishlatiladi.

Keng qo'llaniladigan M 419 rusumli elektron ommetrdagi manba kuchlanishi 220 V, chastotasi 45...500 Gs, doirasi 0...5 M $\Omega$ , aniqlik klassi 2,5, tashqi o'lcham(gabarit)lari 80x80x100 mm, og'irligi 0,2 kg.

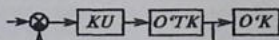
### 2.5.3. Elektron voltmetrilar

Elektron voltmetrilar (EV) o'zgaruvchan va o'zgarmas tok zanjirlarida keng qo'llaniladigan EO'A bo'lib, vazifasiga ko'ra o'zgarmas, o'zgaruvchan va universal voltmetrlarga bo'linadi. O'lchanayotgan kuchlanishni o'zgartirish usuliga ko'ra EV to'g'ridan-to'g'ri, muvozanatlanuvchi va aralash o'zgartiruvchilarga bo'linadi (2.53 - rasm, a, b, d).

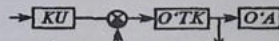
To'g'ridan-to'g'ri (bevosita) o'zgartirishga asoslangan voltmetrlarda o'lchanayotgan kuchlanish ( $U_x$ ) bir yo'nalishda, kirishdan chiqishga tomon, o'zgartiruvchi yordamida o'zgartiriladi (2.53 - a rasm). Bu struktura bo'yicha qurilma voltmetrning asosiy qismi kirish uskunasi (KU), o'zgarmas tok kuchaytirgichi (O'TK) va magnitoelektrik tizimli o'lchash asbobidan (O'A) iboratdir. Muvozanatlanuvchi usuliga asoslangan EV ikkita - to'g'ridan-to'g'ri o'zgartirish va teskari bog'lanuvchi zanjirlardan iborat bo'ladi.



a



b



d

2.53-rasm. Elektron voltmترلarning tuzilish sxemalari

Agar teskari bog'lanuvchi zanjir to'g'ri zanjirning bir qismini o'rab olsa, u holda aralash o'zgartirishga asoslangan voltmetr hosil bo'ladi (2.53 - d rasm).

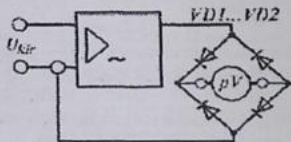
Umumiy holda *EV* ning struktura sxemasi ketma-ket ulangan masshtab o'zgartirishi yoki kuchlanish bo'lgichi, kuchaytirgich va ko'rsatish asbobi qurilmalaridan tashkil topgan.

Masshtab o'zgartirishlari o'lchanayotgan kuchlanish kattaligini o'zgartirish uchun xizmat qiladi va aktiv (kuchaytirgich) hamda passiv (bo'lgich) turlariga bo'linadi.

*EV* da kuchaytirgichlar kuchlanishni oshirish va voltmetr kirish qismini uning boshqa qismlari bilan moslash uchun xizmat qiladi.

O'zgaruvchan tok *EV* da o'lchanayotgan kuchlanish passiv masshtab o'zgartirishi orqali o'zgaruvchan tok kuchaytirgichiga beriladi va undan kuchlanishning o'rtacha ta'sir etuvchi yoki amplituda, qiymat o'zgartirishga uzatiladi. Bunday *EV* da kuchlanish bo'lgichlari sifatida ketma-ket ulangan bir necha *R* va *C* dan iborat zanjir xizmat qiladi.

*EV* da o'rtacha qiymatni o'zgartirish vazifasini ikki yarim davrli to'g'rilagich sxemasi bajaradi (2.54 - rasm).



2.54 - rasm. O'rtacha qiymatni o'lchovchi voltmetr blok-sxemasi

Amplituda qiymat o'zgartirish diod va kondensatordan iborat bo'lib u *EV* o'lchash qurilmasining kirish qismasiga ulanadi.

Umuman olganda, *EV* yuqori aniqlikka ega, kam quvvat iste'mol qiladi, chastota doirasi juda keng - o'zgarish tokdan to 1 GGs gacha. *EV* o'zgarish va o'zgaruvchan tok

zanjirlarida qo'llanilishi mumkin.

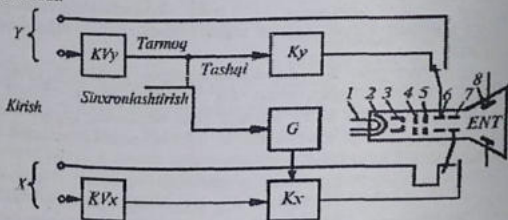
#### 2.5.4. Elektron nurli ossilloqraflar

Elektron nurli ossilloqraflar (*ENO*) dan elektr signallari shakllarini kuzatish va qayd etish, parametrlarini o'lchash, vaqt va fazaviy parametrlarni aniqlash uchun foydalaniladi.

ENO ning asosiy metrologik va texnik xarakteristikalariga: *signalni o'tkazish kengligi; amplituda – chastota xarakteristikasining notekisligi; impuls signalni tasvirlash sifati, sezgirligi kiradi.*

ENO ning struktura sxemasi 2.55 - rasmda keltirilgan. Juda tez o'zgaradigan jarayonlarni o'rganish uchun signal ossillografning kirishi (Y) ga beriladi va kuchaytirilib, vertikal og'uvchi elektrodlarga uzatiladi. Yoyuvchi generatordan arrasimon signallar maxsus kuchaytirgich orqali gorizontal og'uvchi elektrodlarga beriladi. Kuchaytirgich yordamida tasvirning masshtabi tanlanadi.

**Elektron nurli trubka (ENT)** – ossillograflarning o'lchash qismi bo'lib, unda o'rganilayotgan signal ko'zga ko'rinadigan tasvirga aylantiriladi. ENT konussimon yoki to'g'ri burchakli ballon bo'lib, ichidagi havo butunlay so'rib olinadi. Ekran qismi lyuminofor qatlami bilan qoplangan bo'lib, elektron oqimi ta'sirida yorishadi.



2.55 - rasm. Elektron nurli ossillograflarning struktura sxemasi. KVy – Y kirish kuchlanish bo'lgichi; KVx – X kirish kuchlanish bo'lgichi; G – generator; Ky – Y kirish kuchaytirgichi; Kx – X kirish kuchaytirgichi; ENT – elektron nurli trubka. 1–cho'g'lanish tolasi; 2–katod; 3–modulyator; 4–fokuslovchi elektrod; 5–anod; 6–gorizontal elektrodlar; 7–vertikal elektrodlar; 8–ikkinchi anod.

Elektron nurlari ikki juft plastinalar (elektrodlar 6 va 7) yordamida boshqariladi (2.55 - rasm).

Ekrandagi nur holatini o'zgarishining shu o'zgarishni yuzaga keltirgan elektrodlardagi kuchlanish o'zgarishiga nisbati ENT ning sezgirligi deb ataladi  $S = h/U$ . Zamonaviy ENO da sezgirlik 0,1 mm/V gacha yetadi. ENT ning muhim parametrlaridan biri – elektron nurlarga ta'sir to'xtagandan keyin ekrandagi tasvir yoritilganligining 1 foiz kamayishiga ketgan vaqt oralig'idir. ENO da bu vaqt 0,01 sekunddan 0,1 sekundgacha bo'lishi mumkin.

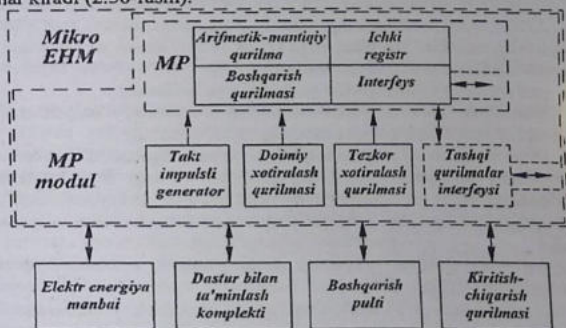
**Vertikal og'ish kanali** ekraunda tasvirlangan axborotga har xil ishlov berish vazifasini bajaradi.

**Gorizontal kanal** numi ekran bo'ylab bir tekis siljishini ta'minlaydi.

### 2.5.5. O'lchash texnikasida mikroprotessorli tizimlar. O'lchash-hisoblash majmualari

*Mikroprotessorli tizimlar.* Mikroprotessor - katta integral sxema (KIS) texnologiyasi asosida tayyorlangan hamda axborotlarga ishlov berish va boshqarish uchun mo'ljallangan qurilmadir. Mikroprotessor har biri bir necha ming komponentlardan iborat bo'lgan bir yoki bir nechta kristall ko'rinishida yasaladi. Mikroprotessor ishlab chiqarilishining samaradorligi ma'lum(24-48) sonli tashqi qismlarga ega bo'lgan KISlar to'plami ko'rinishida yasalishi va dasturli ishlashini nazarda tutgan holda konstruksiyasini yaratishning modul prinsipi bilan aniqlanadi. Turli mikroprotessorli tizimlarni qurish uchun maxsus ishlab chiqarilgan KISlar to'plamiga mikroprotessor (MP), tezkor (operativ) xotiralash qurilmasi (TXQ), doimiy xotiralash qurilmasi (DXQ), qayta dasturlanadigan xotiralash qurilmasi (QDXQ), dasturli boshqarish bloki (DBB), axborotlarni kiritish va chiqarish qurilmasi va boshqalar kiradi.

Mikroprotessor asosida qurilgan hisoblash vositalarining tarkibiga quyidagilar kiradi (2.56-rasm):



2.56-rasm. Mikroprotessorli hisoblash vositalarining umumiy blok-sxemasi

- mikroprotessorning o'zi - arifmetik - mantiqiy qurilma funksiyalarini bajaradigan bir yoki bir nechta KIS lar, ichki registrlar (Rg), boshqaruvchi qurilma (BQ); qayd qiluvchi qurilmalarni bir-biri bilan bog'laydigan ichki interfeyslar;

- mikroprotessorli modul - funksional yakunlangan va tarkibida MPLi KISlar, TXQ, DXQ, tashqi qurilmalar interfeyslari hamda takt impulsi generator (TIG) joylashtirilgan yagona plata. Bunday modul MPLi tizimga o'ratilganda BQ (kontroller) funksiyasini ham bajarishi mumkin;

- mikro EHM - konstruktiv jihatdan yakunlangan avtonom raqamli hisoblash qurilmasi bo'lib, MPLi modullar, elektr energiya manbai, axborotlarni kiritish va chiqarish qurilmasi, boshqarish puliti hamda dastur bilan ta'minlangan komplekt (DTK)lardan iboratdir.

O'lchash vositalarida foydalaniladigan dasturiy ta'minot o'lchanadigan kattaliklar ro'yxati, o'lchash natijasini ifodalash shakli, olinadigan axborotlarni ishlov berish mezonlari, axborot hajmi va unga ishlov berish xarakterini hisobga olgan holda funksional qurilmalar ishlashining ketma-ketligi va boshqalarni aniqlaydi.

*O'lchash-hisoblash majmualari (O'HM).* O'HM o'lchash axborotini olish, unga ishlov berish va foydalanishni ta'minlaydigan hamda dasturlar yordamida boshqariladigan hisoblash va yordamchi vositalardan iborat majmuadir.

O'HM o'lchash natijalarini olish va ularga ishlov berish, eksperiment jarayonida alohida qurilmalarni muhimlik darajasini inobatga olib muloqot rejimini boshqarish, alohida komplekslar ishga yaroqliligini nazorat qilish, metrologik tavsiflarini nazorat qilish, olingan axborotlarni xotiralash, natijalarni grafik, jadval shaklida tasvirlash va boshqa ayrim funksiyalarni bajaradi.

O'HM blokli modul prinsipi asosida qurilganligi sababli, uning strukturasi o'zgartirish mumkin. Shu bilan birga O'HM ning o'lchash va hisoblash vositalari yagona algoritm asosida o'zaro bog'langan.

Ishlatilishiga ko'ra O'HMlar quyidagilarga bo'linadi:

-ilmiy-tadqiqotlarning avtomatlashtirilgan tizimlarini hamda materiallar va ayrim jihozlarni sinash uchun yaratiladigan universal O'HM;

-ma'lum bir muammoni hal qilishga yo'naltirilgan O'HM. Ular texnologik jarayonlarni boshqarish tizimlarini yoki bir turdagi ilmiy -tadqiqotlarning avtomatlashtirilgan tizimlari muammolarini hal qilishda foydalaniladi;

-yagona o'ziga xos tadqiqotlar va sinovlarda qo'llaniladigan universal O'HM.

O'HMlarning ishga yaroqliligi ularning *texnik, matematik va metrologik ta'minoti* bilan aniqlanadi.

*Texnik ta'minotga* o'lchash, hisoblash va yordamchi vositalar kiradi.

O'lchash vositalariga raqamli, analog o'lchash asboblari, funksional ishlatilishi turlicha bo'lgan o'lchash o'zgartkichlari, o'lchash zanjirlarining kommutatorlari, kalibratorlar, o'lchashda qo'llaniladigan elektr manbalari va h.k. kiradi.

O'HM hisoblash vositalariga analogli, gibridd va raqamli hisoblagichlar kiradi.

O'HMning *matematik ta'minotiga* algoritmlar va ma'lum tilda tuzilgan dasturlar kiradi. Algoritmlar fizik kattaliklarni o'lchash, o'lchash natijalariga ishlov berish bilan bog'liq amallarni bajarishni ta'minlaydi. Dasturlar O'HM umumiy boshqarishni ta'minlaydi.

*Metrologik ta'minotga* quyidagilar kiradi:

- metrologik xarakteristikalarini hisoblash, nazorat qilish va ishonchlash bilan bog'langan metrologiya nazariyasi;

- o'lchash vositalarini sinash, ishonchlash va nazorat qilishga mo'ljallangan etalon o'lchash vositalari;

- o'lchash birligini ta'minlaydigan normativ xujjatlar (davlat va soha standartlari va turli uslubiy ko'rsatmalar).

Har qanday O'HM funksional qismlarining *tizimli mutanosibli* quyidagilar bilan ta'minlanadi:

-signallarning barcha turlari va parametrlarini unifikatsiyalash va me'yorlash (axborot mutanosibli);

-kompleksdagi o'lchash vositalari metrologik xarakteristikalarining bir xilligi (metrologik mutanosiblik);

-foydalanilgan dasturlar va nimdasturlar hamda dasturlash tillarini mutanosibli (dasturiy mutanosiblik);

- ishlatiladigan modullarni unifikatsiyalash (konstruktiv mutanosiblik);

-atrof-muhitni me'yorlanishi bilan (eksploatatsion mutanosiblik);

Axborot va konstruktiv mutanosiblik standart interfeyslardan foydalanish bilan bajariladi.

## 2.5.6. Mikroprotsektor bilan boshqariladigan o'ziyozar asboblari

*O'YoA* ning istiqbollari mikroprotsektorlardan foydalanish bilan bog'liq. So'nggi yillarda *mikroprotsektorlar elektron nurli ossillograflarning texnik imkoniyatlarini kengaytirishda qo'llanib kelinyapti*. Ossillograflarning ba'zi konstruksiyalari mikroprotsektorlar o'lchash jarayonini boshqarish uchun qo'llanilgan bo'lsa, boshqalaridan o'lchash va natijalarga avvaldan belgilangan dastur bo'yicha ishlov berish uchun qo'llaniladi. *Mikroprotsektorlar asosida raqamli xotiraga ega bo'lgan ossillograflar yaratilgan*.

Mikroprotsektorli elektron nurli ossillograflarning barcha ishlari *dasturlangan mikroprotsektor* tomonidan boshqarilib turiladi, shuning uchun ulardan *raqamli xotiraga ega bo'lgan asbob* sifatida foydalanish mumkin. Bir necha jarayonlarni tadqiq etish uchun ko'p nurli ossillograflar ishlatiladi.

Ossillografda turli qiymatdagi *kuchlanish va vaqt intervallarini o'lchash* uchun vertikal yoki gorizontal yoyish koeffitsiyentlari qayta ulagichlar yordamida tanlab olinadi.

### 3- laboratoriya ishi

Elektron ossillograf yordamida davriy elektrik kattaliklarning o'zgarishini kuzatish va ularni o'lchash.

#### O'z-o'zini sinash savollari

1. Elektr ommetr sxemasidan foydalanib, uning ishlashini tushuntirib bering.
2. O'zgarmas va o'zgaruvchan tok elektron voltmeter blok-sxemasidan foydalanib, uning ishlashini izohlang.

- Elektron chastotomerni sxemasi bo'yicha ishlashini bayon eting.
- Elektron nurli ossillografning tuzilishini bayon eting va ishlashini tushuntirib bering.
- Mikroprotsektor bilan boshqariladigan o'ziyozar asboblarda qanday tarkibiy qismlardan iborat? Uning ishlashini bayon eting.

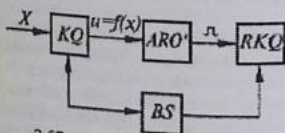
## 2.6. Raqamli o'lchash asboblari

### 2.6.1. Raqamli o'lchash asboblari haqida umumiy ma'lumotlar

Raqamli o'lchash asboblari (RO'A) – bu o'lchash signali avtomatik ravishda hosil qilinadigan va ko'rsatish raqam shaklida bo'lgan o'lchash asbobidir. RO'A ning ishlashi o'lchanayotgan uzluksiz, ya'ni analog kattalikni unga proporsional bo'lgan diskret kattalikka o'zgartirishga asoslangan.

Ishlash asosiga va konstruktiv tuzilishiga ko'ra RO'A elektromexanik va elektron RO'A ga bo'linadi.

RO'A ning ishlash asosini uning umumlashgan tuzilish sxemasidan ko'rish mumkin (2.57 - rasim).



2.57 - rasim. Raqamli o'lchash asbobining tuzilish sxemasi.

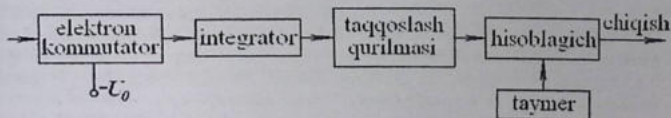
O'lchanayotgan kattalik ( $X$ ) kirish qurilmasi ( $KQ$ ) da masshtablanadi va analog raqamli o'zgartkich ( $ARO$ ) da kodga aylantiriladi. Bu kodlar raqamli ko'rsatish qurilmasi ( $RKQ$ ) da o'nli sonlar ko'rinishida ifodalanadi. Boshqarish sxemasi ( $BS$ ) barcha bloklarni boshqaruv signallari bilan

ta'minlab turadi.

$ARO$  quyidagi asoslarda quriladi:

- ketma-ket hisoblash usuli. Bu usulga ko'ra o'lchanayotgan kattalik ma'lum bir vaqt oralig'ida qiymati oldindan ma'lum kattalik bilan taqqoslanadi;
- (zaryadsizlanish) razryad bo'yicha muvozanatlash usuli. Bu usulga muvofiq o'lchanayotgan kattalik qiymati berilgan qonuniyat (ikki-o'nli kod) asosida o'zgaruvchi kattalik bilan ketma-ket taqqoslanadi;
- integrallash usuli. O'lchanayotgan kattalik qiymatlarini ma'lum bir vaqt oralig'ida qo'shishga asoslangan;
- bir vaqtda hisoblash usuli. Bu usulda o'lchanayotgan kattalik bir vaqtning o'zida ma'lum kattalikning bir necha qiymatlari bilan taqqoslanadi. Bunda ma'lum kattalik qiymatlari orasidagi munosabat ma'lum algoritim asosida tanlanadi.

Integrallovchi ARO'lar orasida ikki taktli integrallovchi o'zgartkich sxemasi aniqligining yuqoriligi va narxining nisbatan arzonligi sababli keng qo'llanilmoqda (2.58 - rasm). O'lchanayotgan analog kattalik masshtab o'zgartkichidan keyin elektron kommutatsiya qurilmasi kirishiga beriladi va u  $U_0$  tayanch kuchlanish bilan taqqoslanadi. Keyin signal integratorida qayd qilin(fiksrlan)gan vaqt mobaynida integrallanadi. Bu vaqt davomida integrator chiqishidagi signal noldan maksimum qiymatgacha ortib boradi, keyin esa yana nolgacha kamayadi. Shu bilan birga integratorida joylashtirilgan generatorning taktli impulslari sanaladi. Integrator chiqishidagi kuchlanishning maksimal qiymatidan nolgacha kamayish vaqtida sanalgan taktli impulslar soni kuchlanishga proporsional bo'ladi.



2.58 - rasm. Ikki taktli integrallovchi ARO'ning o'zgartkich sxemasi

O'lchanayotgan kattaliklarga ko'ra RO'A voltmترلar, chastotomerlar, fazmetrlar, ommetrlar, vattmetrlar va boshqalarga bo'linadi.

O'lchanayotgan kattalikning qanday qiymatini ko'rsatishiga qarab RO'A oniy qiymatni va o'rtacha qiymatni o'lchovchi RO'A ga bo'linadi. Bundan tashqari RO'A aniqligi, tezkorligi, ishonchligiga qarab guruhlariga ajratiladi.

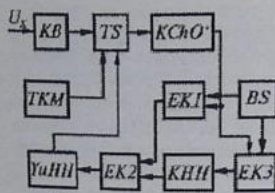
RO'A ning asosiy xarakteristikalariga statik va dinamik xatoliklari, o'lchash doirasi, sezgirligi, ma'lumotni qabul qilish qobiliyati, tezkorligi, ishonchligi kabilari kiradi.

## 2.6.2. Raqamli voltmترلar

O'zgarmas tokli raqamli voltmترلar RO'A ning eng ko'p tarqalgan turiga kiradi. Ular o'z navbatida ikki turga: hadma-had taqqoslovchi va ikki marta integrallovchi o'zgartkichli RO'A ga bo'linadi.

2.59 - rasmda hadma-had taqqoslovchi o'zgartkich asosida ishlaydigan raqamli voltmetrning sxemasi keltirilgan.

O'lchanayotgan kuchlanish ( $U_x$ ) o'lchash doirasini belgilovchi kuchlanish bo'lgichi (KB) orqali taqqoslash sxemasi (TS) ga beriladi. Tayanch kuchlanish manbai (TKM) chiqishida tegishli kuchlanish paydo bo'lguncha va yuqori hadli hisoblagich (YuHH) holatiga ko'ra, boshqarish sxemasi kuchlanishni chastotaga o'zgartiradi (KChO'). Agar boshqaruvchi sxema (BS) elektron kalit (EK1) va (EK2) ni oclasa, YuHH chiqishida kirish kuchlanishga yaqin bo'lgan son paydo bo'ladi. Ya'ni, kuchlanish chastotaga o'zgartirilgandan so'ng boshqarish



2.59 - rasm. Hadma-had taqqoslovchi o'zgartkich asosida ishlaydigan raqamli voltmetrning sxemasi

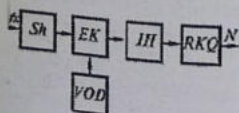
ishlovga beriladi. Bunda elektron kalit (EK3) ochiladi va kichik hadli hisoblagich (KHH) ishga tushadi, uning natijasi YuHH dagi son bilan qo'shiladi.

Raqamli voltmetrlar (o'zgaras tokda) 1 mkV dan 1000 V gacha kuchlanishlarni 0,1 foiz xatolik bilan o'lchash imkoniga ega.

Yuqori aniqlikka ega o'zgaras tok raqamli voltmetrlarning V7-28 rusumi va boshqa turlari ma'lum.

### 2.6.3. Raqamli chastota o'lchagichlar

Raqamli chastota o'lchagichlar (RChO') ning ishlashi  $t_u$  vaqt oralig'ida  $f_x$  chastotali impulslar sonini sanashga asoslangan (2.60 - rasm).



2.60 - rasm. Raqamli chastota o'lchagich sxemasi.

EK dan  $t_u$  vaqt oralig'ida chiqadigan impulslar impuls hisoblagich (III) yordamida sanalib, raqamli ko'rsatish qurilmasi (RKQ) ga beriladi.  $t_u$  vaqt oralig'ida  $f_x$  chastotali impulslar soni  $N$  quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$N = \frac{t_u}{T_x} = t_u \cdot f_x.$$

2.61 - rasmda keltirilgan RChO'ning vaqt diagrammasidan ko'rinib turibdiki, chastota o'lchagichda paydo bo'ladigan xatoning birdan-bir sababi diskretlash jarayonida yuzaga keladigan xatolikdir. Datchiklar ishlab chiqaradigan davomiyli o'zgaras bo'lgan vaqt oraliqlariga

impulslarni hisoblagich orqali (YuHH) raqamli indikator (RI) ga uzatadi va tegishli raqamni ko'rsatadi. Asbobning nol ko'rsatkichini korreksiya qilish uchun o'zgaruvchan rezistor yordamida taqqoslash sxemasining chiqishidagi kuchlanish sozlanadi. Buning uchun normal elementga ega bo'lgan chiquvchi signali (TKM) dan foydalaniladi.

TS da mazkur son (kuchlanish) o'lchanayotgan kuchlanishdan ayiriladi va hosil bo'lgan ayirma ikkilamchi

Chastotasi noma'lum bo'lgan kuchlanish ( $U_{fx}$ ) shakllantirgich (Sh) da davomiyli  $t_u$  bo'lgan to'g'riburchakli impulslarga aylantiriladi. Bu impulslar elektron kalit (EK) kirishiga beriladi va vaqt oralig'i datchigi (VOD) ishlab chiqayotgan impulslar bilan taqqoslanadi.

Chastotasi noma'lum bo'lgan kuchlanish ( $U_{fx}$ ) shakllantirgich (Sh) da davomiyli  $t_u$  bo'lgan to'g'riburchakli impulslarga aylantiriladi. Bu impulslar elektron kalit (EK) kirishiga beriladi va vaqt oralig'i datchigi (VOD) ishlab chiqayotgan impulslar bilan taqqoslanadi.

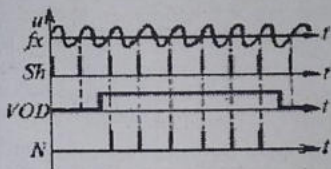
Chastotasi noma'lum bo'lgan kuchlanish ( $U_{fx}$ ) shakllantirgich (Sh) da davomiyli  $t_u$  bo'lgan to'g'riburchakli impulslarga aylantiriladi. Bu impulslar elektron kalit (EK) kirishiga beriladi va vaqt oralig'i datchigi (VOD) ishlab chiqayotgan impulslar bilan taqqoslanadi.

shakllantirgichdan keladigan impulslarning barchasi kirmaydi. Shuning uchun diskretlash xatoligi  $\pm 1$  impulsga teng bo'lishi mumkin. *RChO*'lar xatoligining boshqa tashkil etuvchilariga vaqt oraliqlari manbasining nomu'tadilligi kiradi.

Bu kamchilikni bartaraf etish uchun vaqt oraliqlarini mo'tadillash maqsadida manba sxemasida kvardsdan foydalaniladi.

*RChO*' xatoligi vaqt oralig'ini diskretlash xatoligidan va  $t_i$  vaqt oralig'ini noaniq tanlash xatoligidan iborat bo'ladi.

O'lchash vaqtini qisqartirish maqsadida signal chastotasi emas, balki uning davri o'lchanadi. Bunda vaqt oralig'i datchigi *VOD* o'rniqa



2.61 - rasm. Chastota o'lchagichning vaqt diagrammalari.

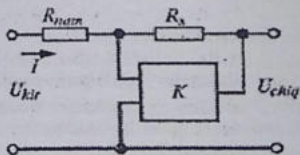
katta chastota generatori qo'llaniladi. Raqamli ommetr va vattmetrlar ham shu asosda ishlaydi.

#### 2.6.4. Kombinatsiyalangan raqamli asboblari

Hozirgi zamon elektronikasining elementlar bazasi keng imkoniyatlarga ega bo'lgan raqamli o'lchov asboblari yaratishga imkon beradi.

Kombinatsiyalangan raqamli asboblari (*KRA*) ning asosiy qismi - *integrallovchi* xossaga ega o'zgarmas tok kuchaytirgichidan iborat. *KRA* ning kirish qismiga o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantiruvchi, o'rtacha ta'sir etuvchi yoki *amplituda* qiymatlarini o'zgartiruvchi, qarshilik, induktivlik va sig'imni kuchlanishga o'zgartiruvchi o'zgartiruvchi ulanadi.

*KRA* yordamida rezistor qarshiligini o'lchashni misol tariqasida ko'rib chiqamiz (2.62 - rasm).  $R_x$  kuchaytirgich *K* ning manfiy teskari bog'lanish zanjiriga ulanadi.



2.62- rasm. Kombinatsiyalangan raqamli asbob sxemasi.

chiqish kuchlanishi:

$$U_{chiq} = IR_x$$

bo'ladi.

Qo'llanilayotgan kuchaytirgichlarda kuchlanish bo'yicha kuchaytirgich koeffitsiyenti juda katta bo'lgani uchun rezistor  $R_x$  kuchaytirgichga ulanganda kuchaytirgichning chiqish qismida kuchlanish hosil bo'ladi. *K* ning kirish qismidan o'tuvchi tok kichik bo'lganligi sababli asosiy tok  $R_x$  rezistor qarshilik orqali o'tadi. Shuning uchun *K* ning

KRA turkumiga raqamli III4-4313 rusumli asboblarni misol qilib keltirish mumkin. Bu asboblarda 5 mV dan 500 V o'zgaruvchan kuchlanishni 5 mA dan 500 mA o'zgaruvchan tokni, 50 Om dan 5000 kOm qarshilikni o'lchashga mo'ljallangan. Qayd etilgan parametrlarni 45 - 2000 Gs diapazonda o'lchashi mumkin. Asbob 220 V o'zgaruvchan kuchlanish tarmoqdan yoki 17,5 V li avtonom manbadan ta'minlanadi. Og'irligi 3 kg, gabarit o'lchamlari 300x70x300 mm.

### 2.6.5. Raqamli fazometrlar

Faza siljish burchagini o'lchash uchun ikkita sinusoidal kuchlanishni qo'shish yoki ayirish qoidasidan foydalaniladi:

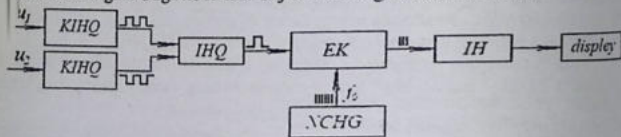
$$U_1 + U_2 = (U_1 + U_2)^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2 \cos \varphi$$

yoki

$$U_1 - U_2 = (U_1 - U_2)^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \varphi.$$

$$\text{Bundan } \varphi = \arccos \left[ \frac{(U_1 + U_2)^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2} \right].$$

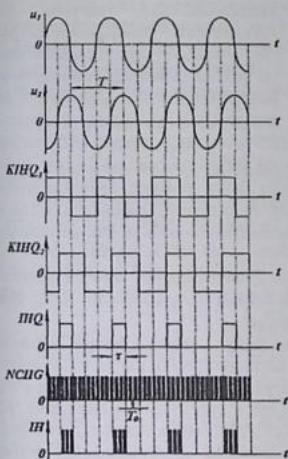
Shuni aytib o'tish joizki, nafaqat sinusoidal shakldagi kuchlanishlarni, balki boshqa shakldagi signallarni qo'shish yoki ayirish mumkin. Qo'shish yoki ayirish prinsipi asosida ishlaydigan raqamli fazometr funksional sxemasi 2.63 - rasmda keltirilgan. Unga ko'ra faza siljish burchagi o'lchanishi talab



2.63 - rasm. Raqamli fazometr funksional sxemasi

qilinayotgan  $u_1$  va  $u_2$  kuchlanishlar parallel ravishda ikkita bir xil kuchaytirgich - impuls hosil qilgich (KIHQ) kirishiga beriladi va ularning chiqishlarida to'g'ri burchakli impulslar hosil bo'ladi (2.64 - rasm). Bu impulslar keyingi impuls hosil qilgichning (IHQ) kirishiga uzatiladi va uning chiqishida bir xil ishorali, uzunlikdagi va faza siljish burchagi  $\varphi$  ga proporsional bo'lgan impulslar hosil bo'ladi. Bunda faza siljish burchagini vaqt intervaliga o'zgartirish usulidan foydalaniladi. Ikkala signal orasidagi faza siljish burchagi quyidagi formulada yordamida aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{\tau}{T} 360^\circ.$$



2.64 - rasm. Raqamli fazometr elementlari signallarining vaqt diagrammalari

$\tau$  va  $T$  vaqt intervallari  $T_0$  davrli namuna chastotali impuls bilan to'ldiriladi. Impuls soni impuls hisoblagich (IH) yordamida sanaladi.

Namuna chastotali generator (NChG) ning  $f_0$  impulslari IH ga elektron kalit (EK) orqali beriladi. EK IHQ chiqish signali yordamida boshqariladi. Agar NChG impulslari  $u_1$  va  $u_2$  kuchlanishlarning  $n$  ta davri mobaynida sanalsa, u holda raqamli fazometr ko'rsatkichi faza siljish burchagining o'rtacha qiymatiga proporsional bo'ladi, ya'ni:

$$\varphi_{\text{sp}} = \frac{T_0}{T} 360^\circ \frac{N}{n},$$

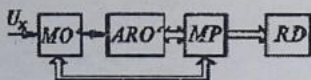
bu yerda  $N$  -  $n$  ta davr mobaynidagi impuls soni;  $T$  -  $N$  ta impulslarni sanash uchun ketgan vaqt.

Chastota doirasi, o'lchash chegarasi (graduslarda) va xatoligi raqamli fazometrlarning asosiy xarakteristikalari hisoblanadi.

## 2.6.6. Mikroprotessor bilan boshqariladigan raqamli o'lchash asboblari

O'lchash asboblari tarkibida mikroprotessorlarni qo'llash o'lchash jarayonini soddalashtiradi, ularni qiyoslashni va kalibrashni avtomatlashtiradi, o'lchash axborotiga statistik ishlov beradi va asboblarning metrologik xarakteristikalarini yaxshilaydi. Quyida voltmetr va chastota o'lchagichlarda mikroprotessorlardan foydalanish misollari keltirilgan.

Raqamli mikroprotessorli voltmetrning (2.65 - rasm) kirish bloki *mashtab o'zgartkichi (MO')* dan iborat bo'lib, u bir yo'la o'zgaruvchan ( $U_x$ ) kuchlanishni o'zgarmas kuchlanishga aylantiradi. So'ng o'zgarmas tok kuchlanishi *analog - raqamli o'zgartkich (ARO')* ga beriladi va u yerda raqam shakliga keltiriladi. Hozirgi zamon mikroprotessorli asboblarda ikki bosqichda integrallaydigan *ARO'* lar keng tarqalgan.



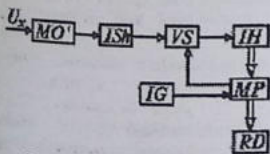
2.65 - rasm. Raqamli mikroprotessorli voltmetr sxemasi.

va raqamli axborotni raqamli displeyga (RD) chiqarib beradi. RD naf o'lgangan kattalikni, balki unga tegishli matnli axborotni ham yozib chiqara

Zamonaviy mikroprotessorli voltmetrlar ko'p dasturli asboblardan bo'lgan o'lgangan kattaliklar ustida barcha arifmetik va algebraik amallarni, o'zgaruvchi kvadratik og'ish, dispersiya, matematik kutishlarni hisoblash hamda xotirani amallarini bajarishi mumkin.

Mikroprotessorli voltmetrlarga Rossiya Federatsiyasida III1531, III1532, B7-39, B7-40 rusumli hamda Germaniyada ishlab chiqariladigan 7055, 7056 turdagi voltmetrlarni misol qilib keltirish mumkin.

Mikroprotessorli chastota o'lchagichda (2.66 - rasm) o'lchash ketma-ketma hisoblash usulida bajariladi. Chastotasi o'lchanayotgan kuchlanish massivi o'zgartirgichi (MO) orqali impuls shakllantirgich (ISH) ga uzatiladi. Bu yerdagi kuchlanish impulslarning davriy ketma-ketligiga aylantirilib, vaqt selektori (VS) ga beriladi. Mikroprotessor (MP) ma'lum davomiyli (misol uchun 1 s bo'lgan) impulslar ishlab chiqaradi va ularni VS ning ikkinchi kirish qismlariga uzatadi. Bu impulslarning davomiyliyi impulsli generator (IG) bilan belgilanadi. VS ning ikkala kirishiga ta'sir qilayotgan signalga ko'ra, uning mikroprotessor



2.66 - rasm. Mikroprotessorli chastota o'lchagich sxemasi.

Raqamli o'lchash asboblari turli parametrlarni o'lchashning istiqbolli o'lchash vositasidir. Bu asboblarning narxi analogli asboblarga qaraganda qimmat bo'lishiga qaramay, ularga bo'lgan talab yuqori.

Kirish kuchlanish proporsional bo'lgan ma'kr ketma-ketlikdagi impulslar ARO' dan mikroprotessor (MP) interfeysiga uzatiladi. va MP o'zaro taktli impuls bog'langan. Mikroprotessor integrallash jarayonini boshqaradi.

belgilaydigan vaqt davomiyliги bilan chegaralangan impulslar soni hisoblanadi.

Bu vaqt davomida ishlab chiqarilgan impulslar impuls hisoblagich (IH) bilan sanaladi hamda mikroprotessor xotirasidagi chastotaning o'zgarish miqdori (konstantasi) bilan solishtiriladi. Solishtirish natijasi raqamli displey (RD) ga beriladi.

## 2.6.7. Elektron elektr energiya hisoblagich

Ma'lum vaqt oralig'ida yuklama iste'mol qilayotgan energiyani hisoblash uchun shu vaqt oralig'idagi aktiv quvvat qiymatlarini integrallash lozim bo'ladi. Raqamli elektr energiya hisoblagichlarda ma'lum vaqt oralig'idagi aktiv quvvatlar muntazam ravishda qo'shib boriladi. Iste'mol qilinayotgan energiya umumiy ravishda quyidagicha yoziladi:

$$W = \int_0^T p(t) dt,$$

bu yerda  $p(t)$  - aktiv quvvatning oniy qiymati,  $T$  - o'lchash vaqti.

Energiya manbaidagi kuchlanish va tok sinusoidal bo'lganda, oniy quvvat:

$$p(t) = u(t)i(t) = U_m \sin \omega t I_m \sin(\omega t + \varphi) = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi).$$

Oniy quvvatni bir davr mobaynidagi integrali iste'mol qilinayotgan aktiv quvvatga teng, ya'ni:

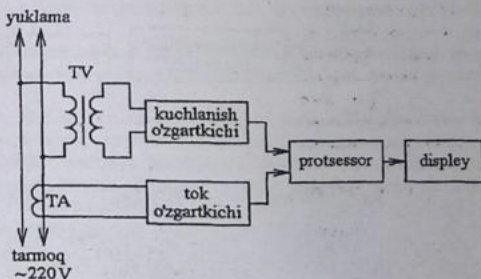
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = UI \cos \varphi = S \cos \varphi. \quad (2.9)$$

Zanjirning reaktiv quvvati:

$$Q = UI \sin \varphi = S \sin \varphi.$$

Zanjirning quvvati ( $P$ ,  $Q$  yoki  $S$ ) ni elektron hisoblagich yordamida aniqlash (hisoblash) uchun  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  va  $\varphi$  lardan ixtiyoriy ikkitasi qiymatini o'lchash lozim bo'ladi.

2.67 - rasmda elektron energiya hisoblagich sxemasi keltirilgan. Bu



2.67 - rasm. Elektron energiya hisoblagich sxemasi

sxemada tok va kuchlanishlarning uzluksiz oniy qiymatlari diskret vaqt oralig'lariga o'zgartiriladi hamda protessor yordamida ularga ishlov beriladi. Buning uchun protessorning kirishiga tok va kuchlanish o'zgartkichlaridan

zanjirdagi tok va kuchlanishlarga proporsional bo'lgan signallar beriladi. signallarga P, Q, S va  $\varphi$  qiymatlarini hosil qilish maqsadida ishlov beriladi. Masalan, zanjirning aktiv quvvati (2.9) tenglama asosida aniqlanishi mumkin. Bunda aktiv quvvat tok va kuchlanishlar mos diskret qiymatlar ko'paytmalarining davr mobaynidagi o'rtacha arifmetigiga teng bo'ladi, ya'ni:

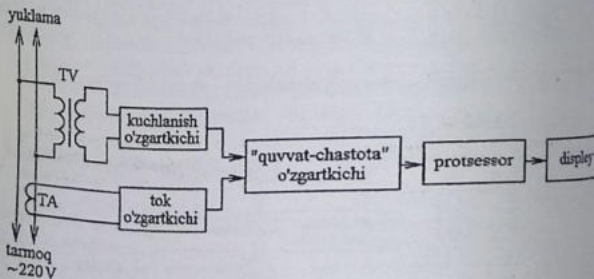
$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i I_i, \quad (2.9)$$

bu yerda  $N = \frac{f_d}{f_c}$  - o'lchanayotgan signal bir davri mobaynidagi hisoblash

soni;  $f_d$  - diskretlash chastotasi;  $f_c$  - manba chastotasi.

(2.10) ifodadan ko'rinib turibdiki, o'lchash xatoligi diskretlash chastotasi ortishi bilan kamayadi. Lekin  $f_d$  ning oshirilishi energiya hisoblagich dastur ta'minotini murakkablashtiradi.

Ma'lumotlarga ishlov berish algoritmini soddalashtirish va asbob narxini kamaytirish maqsadida 2.68 - rasmdagi sxema qo'llaniladi. Bu sxemada P, Q, S va  $\varphi$  parametrlardan birini yoki bir nechtasini o'lchash funksiyasini quvvat va kuchlanish o'lchovchi mikrosxema bajaradi. Eng oddiy holatda bu mikrosxema chiqishi

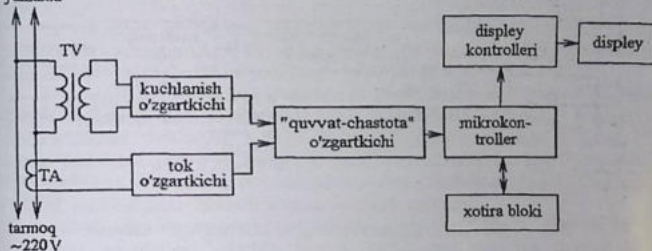


2.68 - rasm. Elektron energiya hisoblagich sxemasi

aktiv quvvatga proporsional bo'lgan impuls chastotasi hosil bo'ladi. Strukturada mikrokontroller impulsni sanash, ma'lumotni ekranga chiqarish boshqa ayrim funktsiya (tarifni o'zgartirish, avariya rejimlari haqida ma'lumotlarni xotirada saqlash, ish faoliyatiga oid ma'lumotni taqsim qilish) qurilmalarga chiqarish yoki tok va kuchlanishlar orasidagi faza siljish burchagini o'lchash) larni bajaradi.

Impuls sonini bilish, ma'lumotni ekranga chiqarish va manba kuchlanish avariya natijasida yo'qolib qolishidan himoya qilish kabi vazifalarnigina bajar

lozim bo'lganda, tizim 2.69 - rasmda keltirilgan struktura bo'yicha qurilishi mumkin. Tarmoqdagi tok va kuchlanish to'g'risidagi signallar tok va kuchlanish datchiklaridan mikrosxemaning "quvvat-chastota" o'zgartkichining kirishiga beriladi. Uning chiqishidan chastotali signal mikrokontroller kirishiga beriladi. Mikrokontroller unga kirayotgan impulslarni to'plab, Vt-soat energiyaga proporsional bo'lgan signalga o'zgartirib beradi. Har bir Vt-soat energiyaga mos impulslar yig'ilganda, unga mos ma'lumot ekranga chiqariladi va xotira qurilmasiga uzatiladi. Tarmoqdan elektr energiya ta'minoti vaqtincha to'xtaganda ham energiya hisoblagich xotirasida sarflangan energiya miqdori to'g'risidagi ma'lumot saqlanib qoladi. Tarmoqda elektr energiya ta'minoti qayta tiklanganda mikrokontrollerdan ma'lumot o'qilib ekranga chiqariladi va hisoblash shu qiymatdan davom ettiriladi. Bu strukturani amalga oshirishda yuklama



2.69 – rasm. Elektron energiya hisoblagich sxemasi

mikrokontrollerdan 1 kbayt hajmdagi xotira talab etiladi. Ekran (displey) sifatida mikrokontroller yordamida boshqariladigan oddiy suyuq kristalli indikator ishlatiladi.

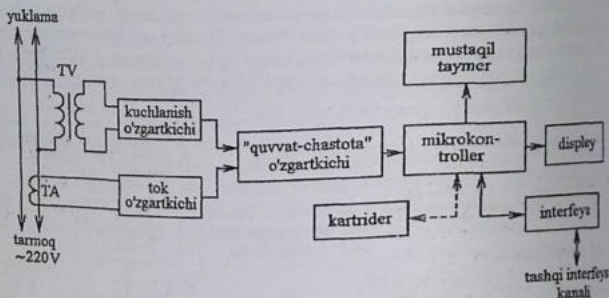
Ko'p tarifli elektron energiya hisoblagichda tashqi qurilmalar bilan ketma-ketli interfeys orqali axborot almashinadi. Bundan tashqari, interfeys elektr tarmog'iga elektr energiya hisoblagich guruhini ulash va har biriga murojaat qilish imkonini beradi. Bunday qurilma struktura sxemasi 2.70 - rasmda keltirilgan. Energiya hisoblagichning ishlash algoritmi quyidagicha. Qurilma xotirasi bir nechta qismga bo'lingan bo'lib, ularda to'rt xil: imtiyozli, umumiy, pik(yuklama miqdori maksimal qiymatga ega paytlar) paytdagi va jarima tarifi to'plangan elektr energiya haqidagi axborotlar saqlanadi. Xotiraning birinchi qismi (banki) da energiya hisoblagich foydalanishga topshirilgan vaqtdan boshlab to'plangan axborotlar saqlanadi. Xotiraning keyingi bir nechta bankida avvalgi 11 va hozirgi oylar mobaynidagi axborotlar saqlanadi. Bu holat yilning istalgan oyida sarflangan elektr energiya miqdorini aniqlash imkonini beradi.

Elektr energiya tarifini kunning ixtiyoriy vaqtlari bo'yicha o'zgartirish mumkin: haftaning har bir kuni uchun tarif jadvalini tuzish mumkin bo'ladi.

Iste'molchining xohishiga qarab bir yilda 16 kungacha dam olish kunlari tarifi bo'yicha bayram kunlari belgilanishi mumkin.

Elektron energiya hisoblagichda bir oyda iste'mol qilinadigan quvvat va energiyani cheklash holatini nazarda tutish mumkin. Bu holatga ko'ra energiya hisoblagich bir oyda belgilangan (limit) energiyadan ortig'ini alohida qayd etadi.

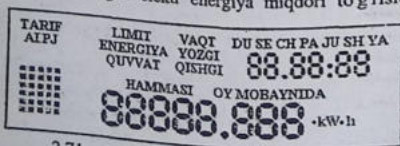
Elektron energiya hisoblagich iste'molchiga elektr tarmog'idan kelayotgan energiya uzilib qolgan vaqt va uning davomiyligini alohida qayd etib beradi.



2.70 - rasm. Elektron energiya hisoblagich sxemasi

Energiya hisoblagichni dasturlash RS-232 yoki RS-485 interfeys yordamida qayd qilingan topshiriqlar tizimi asosida amalga oshiriladi. Bu topshiriqlar bitta hisoblagich bilan o'zaro aloqani amalga oshiruvchi shaxsiy va interfeysga ulangan hisoblagichlar guruhi uchun umumiy topshiriqlar tizimiga bo'linadi. Kun, vaqt, vaqtinchalik tariflar, quvvat limitlari, bayram kunlarini rejalovchi topshiriqlar tizimi mavjud. Bundan tashqari, energiya hisoblagichni testlovchi va darajalovchi qiluvchi topshiriqlar ko'zda tutilgan.

Bir nechta tarif turining mavjudligi hisoblagich displeyiga turli tariflar iste'mol qilingan elektr energiya miqdori to'g'risidagi ma'lumotlarni chiqarish o'ladi.



2.71 - rasm. Elektron energiya hisoblagich displeyi

Bunday hisoblagich displey (2.71 - rasm) ga iste'mol qilingan energiya to'g'risidagi ma'lumot 8 quy daraja (razryad) ko'rinishida chiqariladi (maksimal qiymati)

99999. 999 kVt·s). Dastlab hozirgi oyda iste'mol qilingan elektr energiya ("oy mobaynida" yozuvi ostida), keyin esa hisoblagich foydalanishga topshirilgandan buyonggi iste'mol qilingan energiya ("hammasi" yozuvi ostida) chiqariladi. Bir vaqtning o'zida indikator belgilar maydoni (5x7 nuqtalar)da joriy tarifga mos keluvchi belgi ("a" - asosiy, "i" - imtiyozli, "p" - pik, "j" - jarima) paydo bo'ladi. Agar iste'molchi bir oy uchun belgilangan energiya miqdoridan ko'proq iste'mol qilgan bo'lsa, u holda ekranda "energiya limiti" yozuvlari paydo bo'ladi.

O'tgan 11 oy mobaynidagi energiya iste'moli to'g'risidagi axborotni olish uchun hisoblagich qutisida maxsus tugma ko'zda tutilgan.

Elektron energiya hisoblagich:

- elektr energiyani yuqori aniqlikda hisoblash imkonini beradi va konstruksiyasi aylanuvchan qismga ega emasligi tufayli yuqori ishonchlilikka ega;

- bir vaqtning o'zida energiyaning aktiv va reaktiv tashkil etuvchilarini aniqlash imkonini yaratadi. Hisoblagichning bu xususiyati ayniqsa uch fazali zanjirlardagi energiyani hisobga olishda juda qo'l keladi;

- ko'p tarifli energiya hisoblagichlarni yaratish imkonini beradi. Kundalik tarifni tanlash avtomatik ravishda amalga oshiriladi. Masalan, kechasi va bayram kunlari "imtiyozli" tarifga o'tilsa, ish kunlarining soat 13<sup>00</sup> dan 15<sup>00</sup> gacha "maksimal (pikoviy)" tarifga o'tiladi. "Jarima" tarifi esa energiya iste'moli limitidan ortib ketganda joriy etilishi mumkin. Boshqa paytlarda hisoblagich "asosiy" tarif bo'yicha ishlashini nazarda tutish mumkin;

- tashqi interfeys amalga oshirilishi mumkin. Bunda diagnostika va boshqaruv amallarini bajarish hamda bir necha energiya hisoblagichlar markazlashgan axborot tarmog'iga ulanish mumkin;

- statistik hisoblarni amalga oshirish mumkin. Masalan, iste'mol qilinayotgan o'rtacha quvvat va uning dispersiyasi hisoblanishi mumkin. Energoresurs taqsimlanishi istiqbolini belgilash va uni boshqarishda statistik ma'lumotlar foydalanish energetik tizim ish samaradorligini oshiradi;

- elektr energiya iste'moli, uni hisoblash, taqsimlash va to'lovni avtomatlashtirilgan tizimi talablariga to'liq javob beradi.

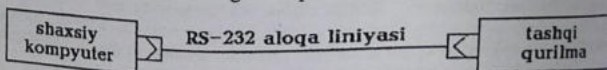
## 2.6.8. O'lchash asboblari qo'llaniladigan interfeyslar

Zamonaviy raqamli o'lchash asboblari RS-232 va RS -485 ruzumli standart interfeyslar qo'llaniladi. Bu interfeyslar yordamida nafaqat ma'lumotlarni kompyuterga uzatish yoki printerdan chiqarish, balki o'lchash asbobini masofadan turib to'liq boshqaruvini amalga oshirish mumkin. RS -232 ruzumli interfeys hozirgi kunga kelib keng qo'llanilayotgan bo'lsa, RS -485 ruzumli interfeys ko'pchilik foydalanuvchilar uchun yangilik hisoblanadi. RS -485 ruzumli interfeys RS -232 bajaradigan funksiyalardan tashqari kompyuterga bir paytning o'zida 32 tagacha o'lchash asbobini ikkita simli sxema yordamida

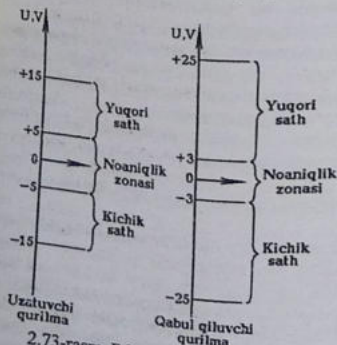
ulash va ularni axborotlar yig'uvchi va ishlov beruvchi ko'p kas avtomatlashtirilgan tizimga birlashtirish kabi qo'shimcha funksiyalarini bajaradi.

Ikkala interfeysning ish faoliyatida ham SCPI (dasturlanuvchi asbob uchun standart topshiriqlar) dastur tili qo'llaniladi. Bu standart topshiriqlar qilinganda, dastur qo'llanilayotgan o'lchash asboblarning rusumlari bilan balki amalga oshiriladigan ishlari bilan belgilanadi. Buning natijasida bularni bajaradigan asboblarning o'rinlarini almashtirish imkoniyati paydo bo'ladi.

Hozirgi kunda keng qo'llanilayotgan va ma'lumotlarni sinxron va asinxron ravishda uzatadigan ketma-ketlikli RS-232 rusumli interfeys avval kompyuter terminalar bilan bog'lash maqsadida qo'llanilgan. So'nggi paytlarga kelib interfeysning imkoniyatlari kengaytirilgan - printer, skaner, modem va boshqalar tashqi qurilmalarni kompyuterga ulash, kompyuterlarni o'zaro bog'lash kabi ishlarni ham bajaradi. RS-232 ning asosiy elementi - oddiy ulovchi kabel iborat. Bu kabellarning uzunligi tashqi xalaqitlarning ta'siri sezilarli bo'lganligi sababli 15 m dan oshmaydi. RS-232 interfeysni tarmoq hosil qilish uchun qo'llashni imkoniyati yo'q, chunki u faqat ikkita qurilmani o'zaro bog'laydigan xolos (2.72 - rasm). Bu qurilmalarni boshqarish uchun liniya bo'ylab uzatiladigan ma'lumotlar tarkibiga boshqaruv belgilari kiritiladi.

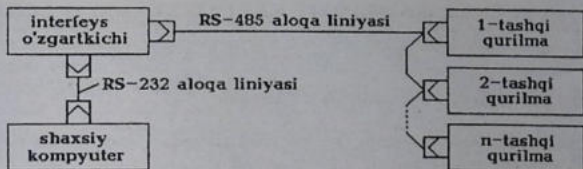


2.72 - rasm. RS-232 interfeysi yordamida ikkita qurilmani ulash sxemasi



2.73-rasm. RS-232 aloqa liniyasining uzatuvchi va qabul qiluvchi qismlarida signallarning sathlari

Ma'lumotlar RS-232 orqali baytma-bayt ketma-ket uzatiladi. Bunda ma'lumotlar dupleks holatda, ya'ni ikkala yo'nalishda ham uzatilishi mumkin. Tashqi xalaqitlardan himoyalash maqsadida barcha signallar kuchlanish sathlari bo'yicha uzatiladi (2.73 - rasm): quyi sathga mantiqiy "1", yuqori sathga mantiqiy "0" mos keladi. RS-232 bo'yicha signallarni uzatish 110; 150; 300; 600; 1200; 2400; 4800; 9600; 19200; 38400; 57600; 115200 bit/s tezliklarda amalga oshiriladi.



2.74 - rasm. RS-485/232 interfeysining moslagich (adapter)-o'zgartkichi

Qurilmalarni o'zaro bog'lovchi aloqa liniyasi ekran ichiga joylashtirilgan va juft qilib o'ralgan hamda to'lqin qarshiligi 120 Om ga teng bo'lgan simlar ko'rinishida yasaladi. Tashqi xalaqitlar ta'sirini kamaytirish maqsadida ekran yerga ulanadi (2.74 - rasm).

#### 4- laboratoriya ishi

Raqamli asboblarda yordamida elektr kattaliklarni o'lchash.

##### O'z-o'zini sinash savollari

1. Raqamli va analogli o'lchash asboblari nima bilan farqlanadi?
2. Raqamli o'lchash asbobining tuzilish sxemasini chizing va uning ishlashini tushuntiring.
3. Raqamli o'lchash asboblarda qanday analog - raqamli o'zgartkichlar qo'llaniladi?
4. Raqamli voltmetrlar va chastota o'lchagichlarning ishlashini, ularning struktura sxemasini tushuntiring.
5. Raqamli asboblarda xatoliklarning sabablari nimalardan iborat?
6. Mikroprotessorli raqamli voltmetrlar qanday afzalliklarga ega?

### III bob. ELEKTR VA MAGNIT KATTALIKLARNI O'LCHASH

#### 3.1. Tok va kuchlanishni o'lchash

##### 3.1.1. O'zgarmas tok zanjirida o'lchashlar

Ishlab chiqarish sharoitida va ilmiy tadqiqotlarda o'zgarmas tok zanjirida  $10^{-7}$  dan  $10^6$  A gacha tokni,  $10^{-7}$  dan  $10^8$  V gacha kuchlanishni o'lchash zarurati tug'iladi.

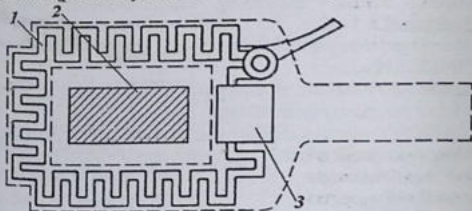
Galvanometr yordamida qayd etilishi mumkin bo'lgan eng kichik tok  $10^{-11}$  A bo'lib, undan kichigi esa bilvosita usullar yordamida (namuna qarshilikdagi kuchlanish pasayishi yoki kondensator zaryadi bo'yicha) o'lchanadi.

0,1 A dan 10 A gacha o'zgarmas tokni o'lchashda elektrodinamik ampermetrlarni qo'llash mumkin. Quvvat iste'molining kattaligi va sezgirligining pastligi bu asboblarning imkoniyatlarini chegaralaydi.

10 A dan 100 A gacha o'zgarmas tokni o'lchashda yuqori o'lchash chegarasi shuntlar yordamida kengaytirilgan ampermetrlar qo'llaniladi.

100 A va undan katta (metall eritish sexlari, elektroliz jarayoni, to'g'rilagich sxemalari, generator va motorlar qo'zg'atuvchi va yakor chulg'amlaridagi va h.k.) toklarni o'lchashda shuntlardan foydalanish o'lchash zanjiridagi quvvat isrofini va o'lchash xatoligining keskin ortib ketishiga olib keladi. Bunday hollarda bilvosita o'lchash usullaridan foydalaniladi. Aksariyat hollarda tokli o'tkazgich atrofidagi magnit maydonining ta'siridan foydalaniladi.

3.1 - rasmda (prof. Zaripov M. F. va dots. Plaxtiyev A.M. lar tomonidan



3.1 - rasmda. Katta toklar o'lchash o'zgartkichining soddalashtirilgan konstruktiv sxemasi

taklif etilgan) katta toklar o'lchash o'zgartkichining soddalashtirilgan konstruktiv sxemasi keltirilgan. Bu o'zgartkich avvalgilaridan yuqori o'lchash chegarasining kengligi bilan farq qiladi. Unda gofra ( $n$  marta bukilgan) shakldagi yaxlit po'latdan yasalgan magnit o'tkazgich 1 tokli shina 2 ni o'rab olgan. Magnit o'tkazgich 1 ning havo oralig'iga magnit maydonini sezuvchi element - Xoll

datchigi (4.6-paragrafga karang) 3 joylashtirilgan. Bu o'zgartkich ko'pincha ombur ko'rinishda yasaladi va u tokli shina ish jarayonini to'xtatmasdan o'lchash imkonini beradi. Shina 2 dan katta qiymatli o'zgarimas tok o'tganda uning atrofidagi magnit o'tkazgichda o'lchanayotgan tokka proporsional bo'lgan o'zgarimas magnit oqimi hosil bo'ladi. Magnit oqimi Xoll datchigini kesib o'tganda uning chiqish qismlarida o'zgarimas EYuK hosil bo'ladi. EYuK ning qiymati shinadagi tokka to'g'ri proporsional ravishda o'zgaradi. Magnit o'tkazgich uzunligini sun'iy ravishda (n marta bukish hisobiga) oshirish uning magnit qarshiligini oshishiga va binobarin, magnit oqimini kamayishiga olib keladi. Buning natijasida magnit o'tkazgich yasalgan materialning to'yinish jarayoni faqat juda katta toklarda yuz beradi va o'zgartkichning yuqori o'lchash chegarasi ancha kengayadi.

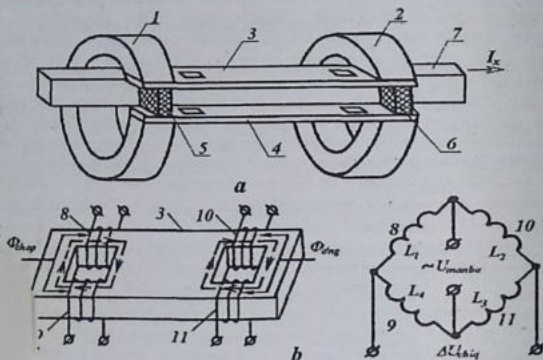
Yuqorida bayon etilgan o'zgartkichning texnik xarakteristikalarini quyida keltirilgan:

- o'lchash doirasi - 1500 A gacha;
- sezgirligi -  $1,6 \cdot 10^{-3}$  Gn;
- statik xarakteristikasining nohiziqlik darajasi - 6,1 %;
- magnit o'tkazgichning o'lchamlari -  $12 \cdot 10^{-3} \times 13,6 \cdot 10^{-2}$  m;
- gofirlangan magnit o'tkazgichning yuzasi -  $8 \cdot 10^{-3} \times 14 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>;
- massasi - 0,3 kg.

Shu o'rinda aytib o'tish joizki, tokli shina atrofidagi magnit maydon kattaligini o'lchashda  $X_{11}$  magnit o'zgarimasdan foydalanilganda datchik parametrlarining stabil emaligi o'lchash aniqligini ancha pasaytirib yuboradi. O'lchash aniqligini oshirish maqsadida aksariyat hollarda magnitomodulyasion foydalaniladi. Bu usulning mohiyati shundan iboratki, o'zgarimas tutashib turgan magnit o'tkazgichning magnit qarshiligi avtonor qilgan o'zgaruvchan magnit maydoni yordamida davriy o'zgart oqibatida o'lchanishi lozim bo'lgan magnit oqimining ham davri erishiladi, ya'ni u mustaqil manba yordamida modu Magnitomodulyasion usulda ishlaydigan (dotsentlar Ahrorov N. A. A. M. lar tomonidan taklif etilgan) katta qiymatli o'zgarimas toklarni o'qollaniladigan o'zgartkichning konstruksion sxemasi 3.2 - rasmda keltirilgan.

O'zgartkich ikkita o'zaro parallel tekisliklarda joylashtirilgan C - simon magnit o'tkazgich 1, 2 dan tashkil topgan bo'lib, ularning uchlari o'zaro parallel ikkita ferromagnit plastina 3, 4 lar yordamida ulangan. Ularning har birida ikkita to'g'ri to'rtburchak shakldagi teshiklar o'yilgan. Ferromagnit plastinalar o'zaro qat'iy parallelligini ta'minlash maqsadida havo oralig'iga izolyasion materialdan yasalgan ikkita tirsak 5, 6 o'rnatilgan. C - simon magnit o'tkazgichlarning tirqishlari orqali shina 7 o'tadi. Ferromagnit plastina teshiklariga 8 - 11 chulg'amlar o'rangan va o'zaro ko'prik sxema ko'rinishida ulangan bo'lib, ko'prikning bitta diagonali o'zgaruvchan kuchlanish manbaiga, ikkinchisi esa o'lchash asbobiga ulanadi. Har bir teshikka o'rangan ikkita chulg'am o'zaro shunday ulanganki, ularning o'zgaruvchan kuchlanish

manбайдan hosil bo'lgan magnet oqimlari faqat teshik atrofi bo'ylab birlashadi (3.2 - rasm, b). Bunda 8 - 11 chulg'amlar nochiqiq element vazifasini bajaradi.



3.2 - rasm. Katta qiymatli o'zgarmas toklarni o'lchashda qo'llaniladigan o'zgartkichning konstruksion sxemasi

O'lchash o'zgartkichining ishlash asosi quyidagicha. Shina 7 dan o'tayotgan tok nolga teng bo'lganda 8-11 chulg'amlarning induktiv qarshiliklari o'zaro teng bo'lganligi uchun ko'prik muvozanat holatda bo'lib, uning o'lchash diagonalida kuchlanish nolga teng bo'ladi. Shina 7 dan o'lchanishi lozim bo'lgan o'zgarmas tok o'tganda uning atrofida C - simon magnet o'tkazgichlar orqali birlashuvchi doimiy magnet oqimlari hosil bo'ladi. Bu oqimlarning asosiy qismi magnet o'tkazgichlar bo'ylab birlashadi, ya'ni chapda joylashgan C - simon magnet o'tkazgichda hosil bo'lgan magnet oqimi  $\Phi_{chap}$  ferromagnet plastina - o'ngdagi C-simon magnet o'tkazgich - ikkinchi ferromagnet plastina bo'ylab tutashadi. O'ngdagi C - simon magnet o'tkazgichda hosil bo'lgan magnet oqimi  $\Phi_{o'ng}$  ham shu yo'l bo'ylab tutashadi. Shuni esda tutish joizki,  $\Phi_{chap}$  va  $\Phi_{o'ng}$  magnet oqimlari magnet o'tkazgichlar bo'ylab o'zaro qarama-qarshi yo'nalgan.  $\Phi_{chap}$  va  $\Phi_{o'ng}$  magnet oqimlarning uncha katta bo'lmagan qismlari ferromagnet plastinalar orasidagi havo oralig'ini bir yo'nalishda kesib o'tadi.  $\Phi_{chap}$  magnet oqimi ferromagnet plastina bo'ylab o'tganda chulg'am 8 dagi o'zgaruvchan tok hosil qilgan oqim bilan (bitta yarim davrda) qo'shiladi, chulg'am 9 dagi o'zgaruvchan tok hosil qilgan oqim bilan esa ayiriladi. Natijada chulg'am 8

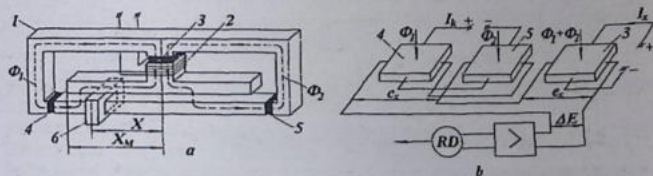
o'ralgan o'zakdagi magnit induksiya keskin oshib, chulg'amning induktiv qarshiligi o'zak magnit singdiruvchanligini kamayishi hisobiga kamayadi.  $\Phi_{o'ng}$  magnit oqimi hisobidan chulg'am 10 va 11 larda ham xuddi shunga o'xshash jarayon yuzaga keladi. Buning natijasida o'lchash ko'prigining muvozanati buziladi va uning o'lchash diagonalida shina 7 dan o'tayotgan o'zgarma tokka proporsional bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanish paydo bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan o'lchash o'zgartkichi aniqligining yuqoriligidan tashqari yuqori o'lchash chegarasining juda kengligi bilan boshqa katta toklarni o'lchashda foydalaniluvchi o'zgartkichlardan tubdan farq qiladi.  $\Phi_{chap}$  va  $\Phi_{o'ng}$  magnit oqimlarining C - simon magnit o'tkazgichlarda o'zaro qarama-qarshi yo'nalganligi nihoyatta katta toklarda ham magnit o'tkazgichlarni to'yinmasligini ta'minlaydi. Ferromagnit plastinalar orasidagi havo oralig'i kattaligini o'zgartirib o'zgartkich o'lchash doirasini rostdash mumkin.

O'zgarma kuchlanishni bevosita o'lchashda magnitoelektrik voltmترلar keng qo'llaniladi. Ular yordamida 600 V gacha bo'lgan kuchlanishni o'lchash mumkin. O'lchash doirasini kengaytirish maqsadida qarshiliklar ishlatiladi. 300 V gacha o'zgarma kuchlanishni o'lchashda ayrim hollarda elektrodinamik voltmترلar qo'llaniladi. Ammo bu asboblarning aniqligi yuqori bo'lsa ham, sezgirligi past va quvvat iste'moli ko'p.

O'zgarma tok zanjirida tokni bilvosita o'lchashda kompensatorlar ishlatiladi.

3.3 - rasmda (Toshkent politexnika institutida prof. Zaripov M. dotsentlar Ahrarov N. A. va Qo'rg'onboyeva S. Yu. tomonidan taklif etilg; o'zgarma tokni o'lchashda qo'llaniladigan kompensator hamda undagi Xoll elementlarining ulanish sxemalari keltirilgan. Kompensator magnit o'tkazgich 1, ko'zgatish chulg'ami 2, Xoll elementlari 3, 4, 5 va



3.3 - rasm. O'zgarma tokni o'lchashda qo'llaniladigan kompensator hamda undagi Xoll elementlarining ulanish sxemalari

qo'zg'aluvchan qisqa tutashtirilgan chulg'am vazifasini bajaruvchi mis halqa - elektromagnit ekran (to'siq) 6 dan tashkil topgan (3.3 - rasm, a). Xoll elementi 3 ning tok qismlariga qiymati o'lchanishi lozim bo'lgan tok  $I_x$ , Xoll elementlari 4 va 5 ning tok qismlariga esa qiymati mo'tadil bo'lgan kompensatsiyalovchi

tok  $I_k$  beriladi. Xoll elementlari 4 va 5 ning potensial qismalari o'zaro ketma-ket va qarama-qarshi ulangan bo'lib, ularda hosil bo'ladigan  $e_k$  sinusoidal signal Xoll elementi 3 potensial qismalaridagi  $e_x$  sinusoidal signal bilan taqqoslanadi (3.3 - rasm, b). Bunda:  $E_{x-} = KI_x(\Phi_1 + \Phi_2)$  va  $E_{k-} = 2KI_k I_q w_q g x$ , bu yerda  $K$  - Xoll elementlari koeffitsiyenti,  $\Phi_1, \Phi_2$  - qo'zg'atuvchi chulg'am tokining magnit o'tkazgichda hosil qilgan magnit oqimlari.

$\Delta E = E_{x-} - E_{k-}$  farq faza sezuvchan kuchaytirgichning kirishiga beriladi. Kuchaytirilgan signal reversiv dvigatel (RD) ga uzatiladi. RD kompensator qo'zg'atuvchan qismi - ekran 6 ni to  $\Delta E$  signal nol bo'lgunga qadar u yoki bu tomonga siljitadi. Ekraning koordinatasi  $x$  ning qiymati o'lchanayotgan  $I_x$  tokka proporsional bo'ladi.

Kompensatorning asosiy texnik xarakteristikalari quyida keltirilgan:

Maksimal siljish $X_m$	125 mm
Qo'zg'atuvchi chulg'am o'ramlar soni $w_k$	500
Qo'zg'atuvchi chulg'amga berilgan kuchlanish $U_k$	6.3 V
Sezgirlik	6.0 mm/mA
Geometrik o'lchamlari	300x50x25 mm <sup>3</sup>
Massasi	1,0 kg
$X = f(I_x)$ statik xarakteristikasining noxizizlik darajasi	0,5 %

Ushbu kompensator nisbatan kichik toklarni yuqori aniqlik bilan o'lchash imkoniyatini beradi.

O'zgarmas kuchlanishni aniq o'lchash talab qilinganda, kompensator va raqamli voltmetrlardan foydalaniladi.

Bir necha volt dan yuzlab kilovoltgacha kuchlanishni o'lchashda elektrostatik voltmetrlar qo'llaniladi. Bu asboblarning sezgirligi past, quvvat iste'moli kam. 0,05; 0,1; 0,2 aniqlik klassiga ega bo'lgan asboblarning narxi balandligi tufayli ular kam ishlab chiqariladi.

### 3.1.2. O'zgaruvchan tok zanjirida o'lchashlar

O'zgaruvchan tok zanjirida kuchlanish va tokning o'rtacha, maksimal va ta'sir etuvchi qiymatlari o'lchanadi. Bu uchala qiymat o'zaro shakl  $k_{sh} = U/U_{o'rt}$  va  $k_A = U_m/U$  amplituda koeffitsiyentlari orqali bog'langanligi sababli, ulardan faqat bittasini o'lchash kifoya. O'rtacha qiymatni o'lchashda to'g'rilagichli, elektron va raqamli asboblardan qo'llaniladi.

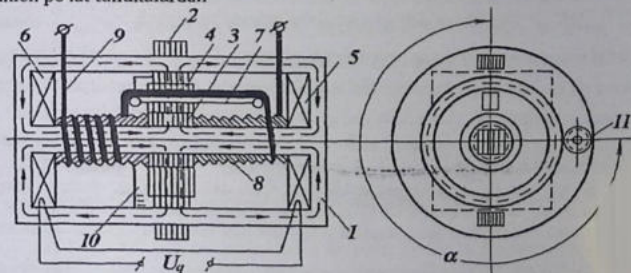
Sinusoidal tok zanjirlarida tok va kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatlarini o'lchashda elektromagnit, elektro va ferrodinamik, elektrostatik (faqat voltmetrlarda) va termoelektrik asboblardan qo'llaniladi.

*O'lchash doirasini kengaytirish uchun o'lchash transformatorlari qo'llaniladi.*

Elektrostatik asboblarga esa shu maqsadda kondensator ulanadi. Bunda transformatorlarning aniqlik klassi va asbobning ikkilamchi chulg'amining maksimal qarshiligi asbob chulg'amining qarshiligidan kichik bo'lmasligi kerak.

Yuqori aniqlikda o'lchashlarni bajarish uchun kompensatoridan foydalaniladi. Ma'lumki, *kompensatorning ishlash asosi o'lchanayotgan kattalikni avvaldan ma'lum bo'lgan kattalik bilan taqqoslashga asoslangan.*

Bunda kompensatorning o'lchash aniqligi unda qo'llaniladigan kompensatsiyalovchi elementning aniqligi bilan belgilanadi. 3.4 - rasmda (Toshkent politexnika institutida prof. Zaripov M.F. va dots. Qurbonov T.M. tomonidan tavsiya etilgan) ko'p o'rimli kontaktsiz kompensatsiyalovchi elementning konstruktiv sxemasi keltirilgan. Kompensatsiyalovchi element III-simon po'lat tunukalardan



3.4 - rasm. Ko'p o'rimli kontaktsiz kompensatsiyalovchi elementning konstruktiv sxemasi

yig'ilgan berk magnet o'tkazgich 1, uning ikkita chet sterjenlarining o'rtasida mahkamlangan halqasimon tunukalardan yig'ilgan magnet o'tkazgich 2, o'rta sterjenga kiydirilgan qo'zg'almas halqasimon magnet o'tkazgich 3, 2 va 3 magnet o'tkazgichlar orasiga joylashtirilgan va aylanish imkoniyatiga ega bo'lgan halqasimon magnet o'tkazgich 4, ikkita 5 va 6 qismli qo'zg'atish chulg'ami, magnet o'tkazgich 4 aylanganda maxsus roliklarda harakatlanuvchi chizg'ich 7 yordamida ishchi g'altak 8 ga o'raladigan qo'zg'aluvchan o'lchash chulg'ami 9 va magnet o'tkazgich 4 ni aylantiruvchi maxsus tishli g'ildirak 10 va 11 dan tashkil topgan.

Ko'p o'rimli kontaktsiz kompensatsiyalovchi element quyidagicha ishlaydi. Qo'zg'atish cho'lg'amiga sinusoidal tok berilganda yo'nalishlari - rasmda ko'rsatilgan magnet oqimi hosil bo'ladi. Bu oqimning vaqt bo'yicha o'zgarishi

natijasida o'lchash cho'lg'ami 9 ning chap va o'ng qismlarida elektromagnit induksiya qonuni asosida EYuKlar hosil bo'ladi. Chap va o'ng qismlardagi o'ramlar soni teng bo'lganda ular o'zaro ketma-ket va induktiv jihatdan qarama-qarshi ulanganligi sababli kompensatsiyalovchi elementning chiqish signali nolga teng bo'ladi. Magnit o'tkazgich 4 tishli g'ildirak 10 va 11 lar yordamida aylantirilganda o'lchash chulg'ami simlari uning bir qismi(masalan, chap)dan yechilib, rolikka o'rnatilgan chizg'ich orqali ikkinchi (o'ng) qismga o'raladi. Natijada qismlardagi o'ramlar soni o'zgaradi va kompensatsiyalovchi element chiqishida undagi aylanuvchi qism burilish burchagiga proporsional bo'lgan signal hosil bo'ladi. Magnit o'tkazgich 1 parallel o'zaklarining magnit qarshiliklari hisobga olinmaganda bu EYuK quyidagicha aniqlanadi:

$$\underline{E} = -j2\omega w_{o'ch} U_{\mu K} \frac{X_M \alpha}{Z_{\mu\delta} \alpha_M}$$

bu yerda  $\omega$  - manba kuchlanishining o'zgarish chastotasi;  $w_{o'ch}$  - o'lchash chulg'ami o'ramlar sonining solishtirma qiymati;  $U_{\mu K}$  - qo'zg'atish chulg'ami hosil qilgan MYuK;  $Z_{\mu\delta}$  - ishchi magnit oqimi yo'lidagi havo oraliqlarining magnit qarshiligi;  $X_M$  - o'lchash cho'lg'ami bitta qismining undagi o'ramlar soni maksimal bo'lgandagi uzunligi;  $\alpha$ ,  $\alpha_M$  - kompensatsion element aylanuvchan qismi burilish burchagi va uning maksimal qiymati.

Ko'rib chiqilgan kompensatsion element ish holatiga tashqi magnit paydonining ta'siri kamligi va aylanuvchan qism doirasining kengligi (50 va undan ham ortiq aylanishlar) sababli o'zgaruvchan tok kompensatorlarida keng o'llaniladi.

Yuqori chastotali sinusoidal tok va kuchlanishlarni o'lchashda to'g'rilagich sxemali, issiqlik, elektron va raqamli asboblardan foydalaniladi.

Tok va kuchlanishning oniy qiymatlari qayd qiluvchi o'ziyozar asboblari, yorug' nurlari yoki elektron nurlari ossillograflar yordamida o'lchanadi.

**Simmetrik uch fazali zanjirlarda** tok va kuchlanishlarni o'lchash uchun mos ravishda bitta ampermetr yoki voltmetr kifoya.

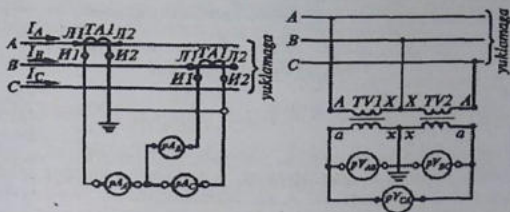
**Nosimmetrik zanjirlarda** liniya kuchlanishini o'lchash uchun uzgich - ulagich bilan voltmetrdan foydalaniladi.

O'lchash doirasini kengaytirish maqsadida o'lchash transformatorlari ishlatiladi. Bunda 2 ta transformatoridan, 3 ta o'lchash asbobidan va  $\underline{I}_C = -(\underline{I}_A + \underline{I}_B)$ ,  $\underline{U}_{CA} = -(\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC})$  tenglamadan foydalaniladi. (3.5-rasmlar, a va b).

*O'lchanayotgan kattalik (tok yoki kuchlanish) ning haqiqiy qiymati asbob ko'rsatkichiga o'lchash transformatorining transformatsiya koeffitsiyenti ko'paytirib topiladi.*

Ampermetr yoki voltmetr o'lchash zanjiriga ulanganda qo'shimcha xatoliklar yuzaga keladi. Tok bo'yicha xatolik:

$$\delta_I = \pm \left( \frac{I - I_x}{I_x} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{R_{pA}/R_{yuk}}{1 + R_{pA}/R_{yuk}} \right) \cdot 100\%$$



3.5 - rasm. Uch simli uch fazali zanjirda liniya toklarini (a) va liniya kuchlanishlarini (b) o'lchash sxemalari.

bu ifodada:  $R_{pA}$  va  $P_{pA}$  – ampermetrning ichki qarshiligi va iste'mol quvvati;  $R_{yuk}$  – yuklama qarshiligi bu yerda  $R_{pA}$   $R$  deb olinadi.

Kuchlanish bo'yicha xatolik:

$$\delta_U = \pm \left( \frac{U - U_x}{U_x} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{R_{yuk}/R_{pV}}{1 + R_{yuk}/R_{pV} + R_{yuk}/R_{ich}} \right) \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Bu yerda:  $R_{ich}$  – manbaning ichki qarshiligi;  $R_{pV}$  – voltmetrning ichki qarshiligi.

*Yuqorida keltirilgan ifodalardan ko'rinib turibdiki, ampermetrning ichki qarshiligi mumkin qadar kichik bo'lishi, voltmetrniki esa katta bo'lishi kerak.*

**1-masala.** Aktiv quvvati  $P = 100$  Vt, nominal kuchlanishi 220 V bo'lgan yuklamaning qabul qiladigan tokini o'lchash uchun E 59 rusumdagi ichki qarshiligi  $R_{pA} = 0,06$  Om bo'lgan ampermetrdan foydalaniladi. Tok o'lchash yuzaga keladigan xatolikni hisoblang.

**Yechish.** Yuklama qarshiligini hisoblaymiz:

$$R_{yuk} = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484 \text{ Om}.$$

Ampermetr ulanishdan paydo bo'ladigan xatolik:

$$\delta_I = \frac{R_{pA}/R_{yuk}}{1 + R_{pA}/R_{yuk}} \cdot 100\% = \frac{0,06/484}{1 + 0,06/484} \cdot 100\% = 0,12\%$$

**2-masala.** Ichki qarshiligi  $R_{ich} = 5$  Om va e.y.u.k.  $E = 12$  V ga teng bo'lgan manbaga aktiv qarshiligi  $R_{yuk} = 50$  Om bo'lgan yuklama ulangan. Yuklamadagi

kuchlanishni o'lchash uchun ichki qarshiligi  $R_{pV} = 32 \text{ Om}$  bo'lgan voltmetrdan foydalanilganda, yuzaga keladigan xatolikni hisoblang.

**Yechish.** (3.1) ifodadan foydalanib, xatolikni topamiz:

$$\delta_U = \frac{R_{yuk}/R_{pV}}{1 + R_{yuk}/R_{pV} + R_{yuk}/R_{ich}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{50/32}{1 + 50/32 + 50/5} \cdot 100\% = \frac{1,56}{1 + 1,56 + 10} \cdot 100\% = 12,42\%.$$

**3-masala.**  $I = 4 \text{ A}$  tokni o'lchash lozim. Buning uchun ikkita ampermetrdan foydalanish imkoniyati mavjud. Ulardan birining aniqlik sinfi 0,5 va yuqori o'lchash chegarasi 20 A ga, ikkinchisniki esa mos ravishda 1,5 va 5 A. Qaysi ampermetrda asosiy nisbiy xatolikning ruxsat etilgan chegarasi kichik ekanligini va  $I = 4 \text{ A}$  tokni o'lchashda qaysi ampermetrdan foydalanish maqsadga muvofiqligini aniqlang.

**Echish.** Asosiy xatoliklarning ruxsat etilgan chegaralari: 0,5 aniqlik sinfiga ega ampermetr uchun

$$\Delta I_1 = \delta_1 I_{N1} = \pm \frac{0,5 \cdot 20}{100} = \pm 0,1 \text{ A};$$

1,5 aniqlik sinfiga ega ampermetr uchun esa

$$\Delta I_2 = \delta_2 I_{N2} = \pm \frac{1,5 \cdot 5}{100} = \pm 0,075 \text{ A}.$$

Nisbiy xatoliklarning eng katta qiymatlari quyidagicha aniqlanadi: tok 0,5 aniqlik sinfiga ega bo'lgan ampermetr bilan o'lchanganda

$$\delta_{1m} = \frac{\Delta I_1}{I} \cdot 100\% = \pm \frac{0,1}{4} 100\% = \pm 2,5 \%;$$

tok 1,5 aniqlik sinfiga ega bo'lgan ampermetr bilan o'lchanganda

$$\delta_{2m} = \frac{\Delta I_2}{I} \cdot 100\% = \pm \frac{0,075}{4} 100\% = \pm 1,9 \%.$$

Shunday qilib, xatoliklar qiymatlarini solishtirib xulosa qilish mumkinki  $I = 4 \text{ A}$  tokni o'lchash uchun aniqlik sinfi 1,5 va yuqori o'lchash chegarasi 5 A bo'lgan ampermetrdan foydalanish maqsadga muvofiq.

### Amaliy ish

O'zgarmas va o'zgaruvchan kuchlanish zanjiriga ulangan yuklamaning toki va kuchlanishini ampermetr va voltmetr bilan ulanganda yuzaga keladigan xatolikni hisoblash.

### 5- laboratoriya ishi

Analog elektromexanik hamda raqamli asboblarda tok va kuchlanishni o'lchash.

## 6- laboratoriya ishi

O'zgarmas katta tokni shunt yordamida o'lchash. O'zgaruvchan tokni o'lchash chegaralarini transformator yordamida kengaytirish.

### Referat mavzulari

1. O'zgarmas tok zanjirida kichik va katta tok hamda kuchlanishlarni o'lchash.
2. O'zgaruvchan tok zanjirlarida tok va kuchlanishlarni o'lchash.
3. Tok va kuchlanishni o'lchashda yuzaga keladigan xatoliklar.

### O'z-o'zini sinash savollari

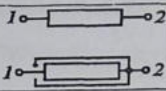
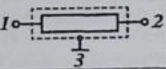
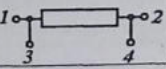
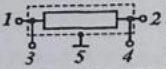
1. Kichik toklar va kuchlanishlar qanday turdagi o'lchash asboblari bilan o'lchanadi?
2. Galvanometrlar bilan o'lchashlar qanday bajariladi?
3. O'zgaruvchan tok zanjirlarida kuchlanish va tokning qanday qiymatlari o'lchanadi?
4. Tok va kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatlari qanday turdagi o'lchash asboblari bilan o'lchanadi?
5. Tok va kuchlanishni yuqori aniqlikda o'lchash uchun qanday asboblardan foydalanish zarur?
6. Ampermetr va voltmeter bilan o'lchashda qo'shimcha xatoliklar qanday yuzaga keladi va ularni kamaytirish yo'llari qanday?

## 3.2. Elektr zanjir parametrlarini o'lchash

### 3.2.1. Parametrlari o'lchanadigan obyektning o'lchash zanjiriga ulash usullari

Elektr va noelektr zanjirlar parametrlarini aniq o'lchash, o'lchanayotgan obyektning o'lchash zanjiriga ulash usuliga bog'liq. Chunki ulanadigan zanjirning xalaqit parametrlari bo'lgan yig'ish sig'imi, simlarning qarshiligi va induktivligi o'lchash natijasiga noaniqliklar kiritadi. Shuning uchun tok sirqib chiqadi (utechka). Elektromagnit maydondan himoyalash uchun turli sxematik va konstruktiv choralar ko'rish lozim bo'ladi.

O'lchanadigan obyektning o'lchash zanjiriga ulashlarning mumkin bo'lgan asosiy usullari 3.1-jadvalda keltirilgan.

O'lchanayotgan obyektning ulash sxemasining nomi	O'lchanayotgan obyektning ulashning elektr sxemasi	Ulash sxemasining asbob yoki namunaviy o'lchov turlarida ishlatilganligi
Ikki qismali		E7 - 5A; E7 - 9; E4 - 7; E4 - 10; P - 544; E4 - 7A.
Uch qismali		E8 - 1; E8 - 2; P - 596; P - 597; KME - 11; KMR - 101.
To'rt qismali		E6 - 12; E6 - 15; E6 - 18; P - 310; P - 321; ДМО 310.
Besh qismali		E7 - 8; E7 - 10; E7 - 11; P 5016; P 5079, E8 - 5; 1683 GR BM - 484.

Ulashning eng sodda usuli ikki qismali (1 va 2 qismali) sxema bo'lib, u tashqi xalaqit omillarga ta'sirchandır.

Obyekt bunday usulda ulanganda, ulanish zanjiri nihoyatda kalta bo'lishi rak.

Elektr va magnit maydonlar ta'sirini o'lchanadigan obyektning bir masiga ulangan metall ekran yordamida kamaytirish mumkin. Bunda to'rtidagi predmetlarning sig'imli bog'lanishi ma'lum darajada kamayadi.

O'lchanadigan obyektning ikki qismali ulanishi rezonans hodisasi asosida ishlaydigan E7 - 5A; E7 - 9 (Rossiya Federatsiyasi) induktiv va sig'im o'lchagichlarda hamda g'altak aslligini o'lchaydigan E4 - 7; E4 - 7A; E4 - 10; E4 - 11; E4 - 12 turdagi asboblarda qo'llanilgan.

### 3.2.2. Qarshilikni o'lchash

Qarshilik elektrotexnik qurilmalarning eng ko'p o'lchanadigan parametrlaridan biri bo'lib,  $10^{-8}$  dan  $10^{18}$  Om gacha o'lchanadi. Bu o'lchash doirasi shartli ravishda uchta oraliqqa ajratiladi: kichik (1 Om gacha), o'rtta (1 Om dan  $10^6$  Om gacha) va katta ( $10^6$  Om dan katta) qarshiliklar.

O'zgarmas tok zanjirida qarshilikni o'lchash. O'zgarmas tok qarshiligini bevosita va bilvosita usullar bilan o'lchash mumkin.

**Bilvosita usulda qarshiliklar ampermetr va voltmetr yordamida o'lchanadi** (3.6- rasm *a, b, d* sxemalar).

«*a*» sxemaga ko'ra SA qayta ulagich «1» – holatda bo'lganda voltmetr  $U_1 = I_1 R_{pV} = (U/R_{pV})R_{pV} = U$  kuchlanishni ko'rsatadi, bunda:  $R_{pV}$  – voltmetrning ichki qarshiligi, «2» – holatda bo'lganda esa:

$$U_2 = I_2 R_{pV} = \frac{U}{R_{pV} + R_x} R_{pV}$$

Bunda qarshilikni asbobning ikkita holatidagi ko'rsatishidan va uning ichki qarshiligidan foydalanib hisoblash mumkin:

$$R_x = \frac{U_1 R_{pV} - U_2 R_{pV}}{U_2} = R_{pV} \left( \frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

Qarshilikni 3.6- *b* rasmga ko'ra SA qayta ulagichni ikkita, ya'ni 1- va 2- holatida ampermetr ko'rsatishiga ko'ra aniqlash mumkin. SA ning 1- holatdagi ampermetrning ko'rsatishi:

$$I_1 = \frac{U}{R_0 + R_{pA}}$$

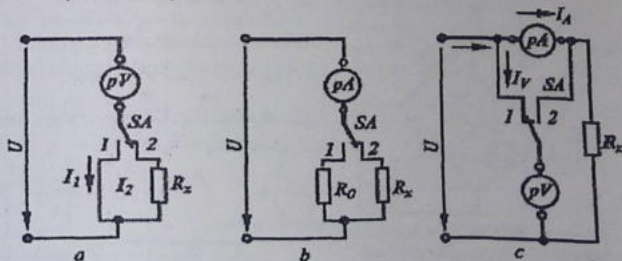
Bu yerda:  $R_0$  – namunaviy qarshilik;  $R_{pA}$  – ampermetrning ichki qarshiligi. 2- holatdagi ko'rsatishi:

$$I_2 = \frac{U}{R_x + R_{pA}}$$

Qarshilik  $R_x$  ni quyidagi formuladan aniqlashimiz mumkin:

$$R_x = I_1/I_2(R_0 + R_{pA}) - R_{pA}$$

Qarshilikni ampermetr va voltmetr yordamida bilvosita o'lchash ham mumkin (3.6 - *d* rasm).



3.6- rasm. Qarshiliklarni ampermetr va voltmetr yordamida o'lchash sxemalari

Asboblarning kirish qarshiliklari  $R_{pA}$ ,  $R_{pV}$  ma'lum bo'lsa, u holda qayta ulagich SA ning 1- holatida:

$$R'_x = \frac{U_{pV} - I_{pA} R_{pA}}{I_{pA}}, \quad \delta' = \frac{R_{pA}}{R_x} \cdot 100\%$$

va qayta ulagich SA ning 2- holatida:

$$R''_x = \frac{U}{I_A - \frac{U_{pV}}{R_{pV}}}, \quad \delta'' = \frac{R_x}{R_x - R_{pV}} \cdot 100\%$$

Shunday qilib, asboblarning kirish qarshiligi ma'lum bo'lganda, yuqorida keltirilgan uchala sxemaning bittasidan foydalanish mumkin. Agar asboblarning kirish qarshiliklari noma'lum bo'lsa, u holda kichik qarshiliklarni o'lchashda ampermetrni voltmetrdan oldin ulash sxemasi, katta qarshiliklarni o'lchashda esa voltmetrni ampermetrdan oldin ulash sxemasi ishlatiladi. Bilvosita ulash usullari qulay bo'lsa-da, ishlatilayotgan asboblarning aniqligiga bog'liq bo'ladi.

Ishlab chiqarish sharoitlarida qarshilikni o'lchashda o'zgarmas tok ko'priklaridan keng foydalaniladi (3.7 - rasm).

Qarshiligi  $R_x$  ga teng bo'lgan rezistor ko'prikning 1-1 qismalariga qarshiligi  $R_S$  bo'lgan sim orqali ulangan bo'lsin. Agar 1-1 qismaga nisbatan asbob izolyatsiyasining qarshiligi  $R_{iZ}$  bo'lsa, ko'prikning umumiy  $R_1$  yelka qarshiligi:

$$R_1 = \frac{(R_x + 2R_S) \cdot R_{iZ}}{R_x + 2R_S + R_{iZ}} = \frac{R_x + 2R_S}{1 + 2R_S / R_{iZ} + R_x / R_{iZ}}$$

$$R_S \ll R_{iZ} \text{ bo'lgani uchun } R_1 = R_x + 2R_S,$$

bunda o'lchashning nisbiy xatoligi:

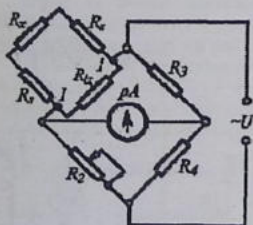
$$\delta_1 = \frac{R_1 - R_x}{R_x} = 2 \frac{R_S}{R_x} \cdot 100\%$$

agar  $R_x$  va  $R_{iZ}$  bir tartibdagi kattalik bo'lsa, u holda:

$$R_1 = \frac{R_x}{1 + R_x / R_S},$$

nisbiy xatolik:

$$\delta_1 = \frac{R_1 - R_x}{R_x} = - \frac{R_x}{R_S} \cdot 100\%$$



3.7- rasm. Qarshilikni o'zgarmas tok ko'priqi yordamida o'lchash sxemasi

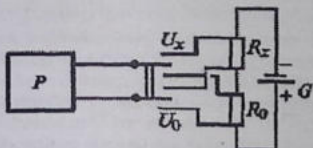
Tadqiqotlarga ko'ra, o'lchash doirasining past chegarasini ulovchi simlar va kontakt qarshiliklari, yuqori chegarasini esa sxema izolyatsiyasi qarshiligi belgilaydi.

*O'lchash xatoligini hisoblashda ko'priknings muvozanat shartidan foydalanish*

Ko'priknings muvozanat sharti  $R_x = R_2(R_3/R_4)$  ni logarifmlab,  $\ln R_x = \ln R_2 + \ln R_3 - \ln R_4$ , undan hosila olingandan so'ng  $\Delta R_x/R_x = \Delta R_2/R_2 + \Delta R_3/R_3 - \Delta R_4/R_4$  ko'rinishga ega bo'ladi. Agar  $\Delta R_x/R_x$  nisbiy xatolik  $\delta_x$  bo'lsa, unda  $\delta_x = \delta_2 + \delta_3 - \delta_4$ . Ko'priknings yordamida qarshilikni o'lchash asosan ikkita operatsiyadan iborat: avval o'lchash diapazoni tanlanadi, keyin muvozanatga keltiriladi.

Qo'sh ko'priknings sxemalaridan foydalanilganda, noma'lum qarshilik  $R_x = R_0(R_2/R_1)$  formuladan topiladi. Bunda namunaviy qarshilik  $R_0$  va  $R_x$  bilan bir tartibda bo'lsa, ko'priknings sezgirligi hamda aniqligi yuqori bo'ladi.

Qarshiliklar kompensatorlar yordamida o'lchansa, natija aniqligi yuqori bo'ladi (3.8 - rasm).

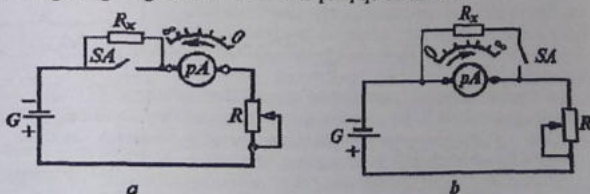


3.8 - rasm. Qarshiliklar kompensatorlar yordamida o'lchash sxemasi

$$R_x = R_0 \frac{U_0}{U_x}$$

bu yerda:  $U_0$  - namunaviy kuchlanish. Qarshiliklar bevosita usulda ommetrlar yordamida o'lchanadi (3.9 - rasm). Rasmdagi sxemalardan ko'rinib turibdiki, magnitoelektrik ampermetr  $pA$  qarshilik  $R_x$  bilan ketma-ket (a) yoki parallel (b sxemada) ulanishi mumkin. O'lchash

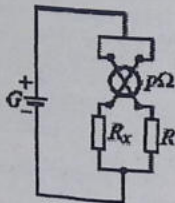
doirasi keng bo'lganligi uchun a sxema ko'proq qo'llaniladi.



3.9- rasm. Qarshiliklarni bevosita usulda ommetrlar yordamida o'lchash sxemasi

Ikkala sxemaning umumiy kamchiligi – o'lchash natijasining manba kuchlanishiga bog'liqligidir. Bu narsa har doim o'lchashdan oldin SA kontaktini ulab, ko'rsatkichni o'zgaruvchan rezistor ( $R$ ) yordamida nolga keltirib turishni taqozo etadi.

Logometrik mexanizmli ommetrlar yuqorida ko'rsatilgan kamchilikdan ancha holi (3.10 - rasm). Bunday asbodbda o'zgarmas tok manbai yoki qo'l bilan harakatga keltiriladigan o'zgarmas tok generatori ishlatiladi. Manba kuchlanishining nomotadilligi ma'lum o'lchash doirasida aniqlikka ta'sir etmaydi. Bunday generatorning kuchlanishi 500 V gacha yetishi mumkin.



3.10 – rasm.  
Logometrik mexanizmli ommetr sxemasi

**Masala.** Elektr mashina yakor chulg'amiga ichki qarshiligi  $R_{pA} = 0,01 \text{ Om}$  bo'lgan ampermetr va ichki qarshiligi  $R_{pV} = 250 \text{ Om}$  bo'lgan voltmeter ulangan. Asboblarga ko'rsatishi 8,5 A va 1,25 V. Minimal xatolikka ega bo'lgan o'lchash sxemasini tanlang. Yakor chulg'amining qarshiligi va nisbiy xatolikni aniqlang.

**Yechish.** Yakor chulg'ami qarshiligini o'lchashda ampermetr va voltmeter usulidan foydalanish mumkin. Bizga ma'lumki, yakor chulg'amining qarshiligi  $R_{ya}$  kichik bo'lgani uchun voltmeter ampermetrdan keyin ulanadi. Om qonuniga ko'ra  $R_{ya} = U_{ya} / I_{ya}$  bo'lib, ampermetr umumiy tok ( $I$ ) ni o'lchaydi.

Ma'lumki,  $U = 1,25 \text{ V}$ ,  $R_{pV} = 250 \text{ Om}$ , voltmeter toki  $I_{pV} = U/R_{pV} = 1,25/250 = 0,005 \text{ A}$ .

Unda yakor chulg'amidagi tok:  $I_{ya} = I - I_{pV} = 8,5 - 0,005 = 8,495 \text{ A}$ .

Yakorning haqiqiy qarshiligi:  $R_{ya} = U/I_{ya} = 1,25/8,495 = 0,1471 \text{ Om}$ .

Asboblarga ko'rsatilgan sxema bo'yicha ulangani uchun yakor qarshiligi:

$$R'_{ya} = U_V / I_A = 0,14905 \text{ Om}.$$

Qarshilikni o'lchashdagi nisbiy xatolik:

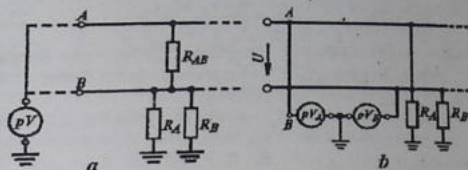
$$\delta_R = \frac{(R'_{ya} - R_{ya})}{R_{ya}} \cdot 100\% = 1,63\%.$$

**O'zgaruvchan tok zanjirida qarshilikni o'lchash.** O'zgaruvchan tok zanjiridagi qarshilik bilvosita usul (ampermetr, voltmeter va vattmetr), taqqoslash (ko'priklar va kompensatorlar) asboblari hamda rezonans hodisasi asosida ishlovchi maxsus asboblarga yordamida o'lchanadi.

Kompleks qarshilikning modulini bilvosita o'lchash – ampermetr va voltmeter yoki ampermetr, voltmeter hamda vattmetr ko'rsatishlari asosida kompleks qarshilikni hisoblashni ko'zda tutadi.

O'zgaruvchan tok zanjirlari kompleks qarshilikning aktiv va reaktiv tashkil universal ko'priklar yordamida alohida o'lchanadi.

**Izolyatsiya qarshiligini o'lbash.** Ikki simli elektr uzatish liniyaning izolyatsiyasini quyidagi ikki sxema yordamida o'lbash mumkin (3.11 - rasm), *a* sxema – manba kuchlanishi ta'sirida bo'lmagan liniya simlarining izolyatsiyasini o'lbash, *b* sxema – kuchlanishli sxema uchun ishlatiladi.

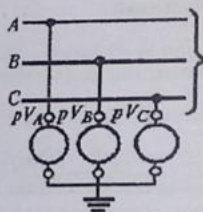


3.11- rasm. Ikki simli elektr uzatish liniyaning izolyatsiyasini o'lbash sxemalari

Liniyaning *A* simi uchun:  $R_A = R_{pV} [(U/U_B) - 1]$ ; *B* simi uchun:  $R_B = R_{pV} [(U/U_A) - 1]$ ; bunda  $U_A, U_B$  – voltmetrilar ko'rsatishlari.

Uch fazali zanjirlarda izolyatsiya qarshiligi uchta voltmetr yordamida o'lchanadi (3.12 - rasm).

Agar biron liniya simida izolyatsiya qarshiligi o'zgarsa, voltmetrilar ko'rsatishlari o'zgaradi. Izolyatsiya normal bo'lganda, voltmetrilar faza kuchlanishlarini ko'rsatadi. Bitta liniya simi uzilib qolsa, shu simdagi voltmetr nolni. qolgan ikkitasi esa liniya kuchlanishini ko'rsatadi.



3.12 – rasm. Uch fazali zanjirlarda izolyatsiya qarshiligi uchta voltmetr yordamida o'lbash sxemasi

lardan foydalaniladi. Bunda

**Kabel liniyalaridagi shikastlangan joyni aniqlash.** Kabel liniyalarining shikastlanishiga simlar, jihozlar orasida qisqa tutashishlar, simning uzilishi va yerga qisqa tutashishi kiradi. Shikastlangan joygacha bo'lgan masofa turli usullar bilan aniqlanadi.

Eng ko'p tarqalgan usullardan solishtirish yoki sirtmoq usullari ma'lum. Bu usullar kabel izolyatsiyasi ishdan chiqqanda yoki simlar bir-biri bilan qisqa tutashgan joyning qarshiligi 1000 *Om* dan oshmaganda qo'llaniladi. Agar tutashgan joyning qarshiligi bundan katta bo'lsa, u katta tok bilan kuydiriladi. Kabelning shikastlangan joyigacha bo'lgan masofani o'lchashda maxsus ko'prik (KM – 61 C yoki P 333 turdagi ko'prik) Varley va Murrey sxemalari qo'llaniladi.

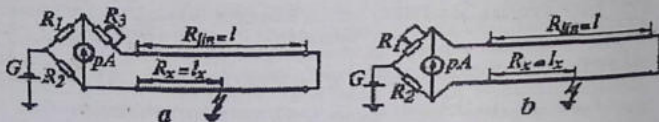
Varley sxemasi (3.13 - a rasm) da shikastlangan kabel liniyasi o'chash ko'prigining bitta yelkasiga ulanadi. Ko'priq muvozanatlangandan so'ng noma'lum qarshilik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$R_x = \frac{R_2(R_3 + 2R_{lin})}{R_1 + R_2}$$

bu yerda:  $R_{lin}$  - liniyaning qarshiligi. Shikastlangan joygacha bo'lgan masofa  $l_x = R_x S / \rho$ , bu yerda:  $\rho$ ,  $S$  - mos ravishda kabel simlari materiallarining solishtirma qarshiligi va kesimining yuzasi.

Murrey sxemasi bo'yicha (3.13 - b rasm) ko'priqning muvozanat sharti:

$$R_1 \cdot R_x = R_2(2R_{lin} - R_x)$$



3.13 - rasm. a - Varley va b - Murrey ko'priq sxemalari.

Binobarin,  $R_x = 2R_{lin}R_2(R_1 + R_2)$ , masofa esa  $l_x = R_x S / \rho$ .

Yuqorida keltirilgan ikki sxemadan birini tanlash liniya qarshiligiga bog'liq. Uzun liniyalar uchun Murrey sxemasidan foydalaniladi.

### 3.2.3. Sig'im, induktivlik va o'zaro induktivlikni o'lchash

Sig'im ( $C$ ), induktivlik ( $L$ ) va o'zaro induktivlik ( $M$ ) ni o'lchashda ushbu parametrlarni harorat, tashqi elektr va magnit maydonlar, namlik va boshqa omillarga bog'liqligini hisobga olish kerak bo'ladi.

Kondensator yoki obyekt sig'imini bevosita o'lchashda 3.14 - a rasmdagi zanjirdan foydalaniladi.

Kondensatorning sig'im qarshiligi  $X_C = 1/(\omega C_x) = U_C / I$ , binobarin  $C = I/(\omega U_C)$ , bu yerda:  $\omega = 2\pi f$  - kuchlanish manbaining burchak chastotasi.

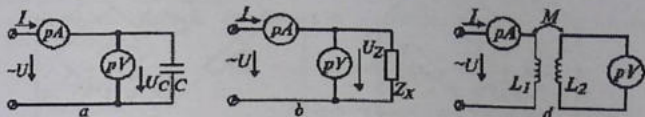
G'altak induktivligini voltmetr - ampermetr bilan o'lchashda (3.14 - b rasm), uning  $R_L$  aktiv qarshiligi  $X_L$  induktiv qarshiligidan ancha kichik bo'lishi kerak. Bunda Om qonunidan:

$$I = U_L/(\omega L), \text{ binobarin, } L = U_L/(\omega I).$$

Aniqroq natija kerak bo'lsa, g'altakning aktiv qarshiligini hisobga olish lozim, chunki

$$Z = U_I / I = \sqrt{R_L^2 + \omega^2 L^2} \text{ binobarin, } L = \left( \sqrt{Z^2 + R_L^2} \right) / \omega,$$

bu yerda:  $R_L$  - g'altakning o'zgarvas tokda o'lchangan aktiv qarshiligi.



3.14 - rasn. Kondensator yoki obyekt sig'imini bevosita o'lchash sxemalari

Ikki g'altak orasidagi o'zaro induktivlik ( $M$ ) ni o'lchash uchun 3.14- d rasmdagi sxemadan foydalaniladi. Bunda ampermetr bilan o'lchanadigan tok va birinchi g'altakdan o'tadigan  $I$  tok, ikkinchi g'altakda e.yu.k. hosil qiladi. Bu e.yu.k. qarshiligi katta bo'lgan voltmetr bilan o'lchanadi, shuning uchun voltmetr ko'rsatgan kuchlanish  $U_{pV}$  o'zaro induktivlikdagi e.yu.k.ga teng desa bo'ladi. Shuning uchun:

$$M = E / \omega l = U_V / \omega l.$$

Elektr zanjirlar parametrlarini voltmetr - ampermetr usuli bilan o'lchashning aniqligi 0,5 foizdan 10 foizgacha.

**Sig'imni o'lchash.** Sig'imni bilvosita o'lchash usulining aniqligi pastligi sababli juda kam qo'llaniladi. Kondensator sig'imini va isrof burchagining tangensini o'zgaruvchan tok ko'priklari yordamida o'lchash keng qo'llaniladi. 3.15 - a rasmdagi sxemaning muvozanat shartidan

$$\left( R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) R_2 = \left( R_0 + \frac{1}{j\omega C_0} \right) R_1$$

binobarin:

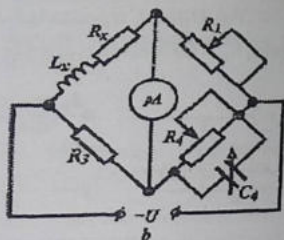
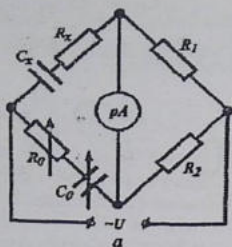
$$C_x = C_0 \frac{R_2}{R_1}, R_x = R_0 \frac{R_2}{R_1}$$

bu yerda:  $C_0$ ,  $R_0$  - mos ravishda namunaviy kondensator sig'imi va rezistor qarshiligi. Dielektrik isrof burchagining tangensi quyidagicha aniqlanadi:

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega R_0 C_0.$$

3.15 - b rasmda universal o'lchash ko'prigining sxemasi keltirilgan. Bu ko'priklar kondensatorlar va induktiv g'altaklar parametrlarini o'lchash uchun qo'llaniladi. Kondensator sig'imini o'lchash uchun  $R_4 - C_4$  yelkaga ulanadi. Bu yerda:  $C_4 = C_x = L_1 / (R_2 R_3)$ ;  $R_4 = R_x = R_2 R_3 / R_1$  va  $\operatorname{tg} \delta_x = \omega R_4 L_1 / (R_2 R_3)$ . G'altak induktivligini o'lchash uchun  $R_1 - L_1$  yelkaga ulanadi, bu yerda:

$$L_1 = L_x = R_2 R_3 C_4; R_1 = R_x = R_2 R_3 / R_4$$



3.15 – rasm. Kondensator sig'imini va isrof burchagining tangensini o'zgaruvchan tok ko'priklari yordamida o'lchash sxemalari

Shu bilan birga bu sxema g'altak aslligini aniqlashga imkon beradi:

$$Q = \omega L_x / R_x = \omega C_4 R_4.$$

Ikkita g'altakning o'zaro induktivligi ularni ketma-ket mos ( $L_{mos}$ ) va ketma-ket qarama-qarshi ( $L_{q.q.}$ ) ravishda ulangan holatlarda o'lchangan induktivliklari asosida quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$M_{1,2} = (L_{mos} - L_{q.q.})/4.$$

Amaliyotda kondensator sig'imini bevosita o'lchash uchun elektromagnit yoki elektrodinamik faradometrilar ishlatiladi. O'lchash mexanizmi sifatida logometrlardan foydalaniladi.

Induktivlik va o'zaro induktivlikni bilvosita o'lchash uchun ularning zanjirlaridan o'tayotgan tokni, kuchlanish pasayishini va aktiv quvvatni o'lchash uchun mos ravishda ampermetr, voltmeter va vattmetrlar qo'llaniladi. Keyin esa g'altakning induktivligi va o'zaro induktivligi quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U_{pV}^2}{I_{pA}^2} - \left[ \frac{P_{pW}}{I_{pA}^2} \right]^2} = \frac{1}{\omega I_{pA}^2} \sqrt{U_{pV}^2 I_{pA}^2 - P_{pW}^2},$$

$$M_{1,2} = \frac{\sqrt{\left( \frac{U}{I} \right)_{mos}^2 - \left( \frac{P_{pW}}{I_{pA}^2} \right)_{mos}^2} - \sqrt{\left( \frac{U}{I_{q.q.}} \right)^2 - \left( \frac{P_{pW}}{I_{q.q.}^2} \right)^2}}{4\omega}$$

bu yerda: indeksdagi *mos* g'altaklarning mos ulanishi, *q.q.* – qarama-qarshi ulanishi.

**Masala.** Induktiv o'zgartkich g'altakka manba chastotasi  $f = 1 \text{ kGs}$  bo'lgan to'rt yekali ko'prik sxemasi orqali ulangan. Agar ko'prik  $L_2 = 0,1 \text{ Gn}$ ,  $R_2 = 10 \text{ Om}$  va  $R_3 = R_4$  holatda muvozanatlangan bo'lsa, g'altak aslligini aniqlang. Ko'prik sxemasini chizing.

**Yechish.** Ko'prik sxemasi 3.16 - rasmda keltirilgan. Ko'prikning muvozanat sharti:

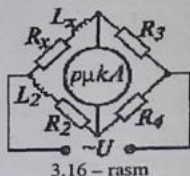
$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}; L_x = L_2 \frac{R_3}{R_4}; \omega = 2\pi f$$

Masala shartiga ko'ra:  $R_3 = R_4$ ; binobarin,  
 $R_x = R_2 = 10 \text{ Om}$ ;

$$L_x = L_2 = 0,1 \text{ Gn}.$$

G'altakning aslligi:

$$Q_L = \frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 0,1}{10} = 62,8$$



3.16 - rasm

### Amaliy ish

1. O'zgarmas tok ko'prik sxemasi yordamida rezistor qarshiligini aniqlashga doir masala.

2. O'zgaruvchan tok ko'prik sxemasi yordamida kondensator va induktiv g'altak parametrini aniqlashga doir masala.

### 7- laboratoriya ishi

Ko'prik sxemasi yordamida o'zgarmas tok elektr zanjiri qarshiligini o'lchash.

### 8- laboratoriya ishi

O'zgaruvchan tok ko'prik sxemasi yordamida kondensator va induktiv g'altak parametrlarini o'lchash.

### Referat mavzulari

1. Rezistorning qarshiligini o'lchash usullari va ularning qiyoslash.
2. Kabel liniyalaridagi shikastlangan joyni aniqlash.
3. Sig'im, induktivlik va o'zaro induktivlikni o'lchash usullari.

### O'z-o'zini sinash savollari

1. Rezistorlar qarshiligini qanday usullar bilan o'lchash mumkin?

- Kondensator va induktiv g'altak parametrlarini o'lchash uchun qanday o'zgaruvchan ko'prik sxemalari qo'llaniladi?
- O'zaro induktivlikni o'lchash usullarini bayon eting.

### 3.3. Quvvatni o'lchash

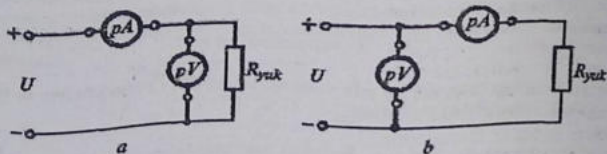
Ishlab chiqarish sharoitlarida o'zgarmas tok zanjiridagi quvvatni, o'zgaruvchan tok zanjiridagi aktiv va reaktiv quvvatni o'lchashda elektrodinamik yoki ferrodinamik asboblardan, yuqori chastotali zanjirlarda esa elektron vattmetrlar qo'llaniladi.

#### 3.3.1. O'zgarmas tok zanjirlarida quvvatni o'lchash

O'zgarmas tok zanjirlarida quvvatni o'lchash uchun zanjirdagi tok va kuchlanish o'lchanadi,  $P = UI$  ifodadan foydalanib quvvat topiladi. Bunda ikki xil sxema bo'lishi mumkin. Iste'molchining qarshiligi (quvvatni o'lchayotgan qismida) voltmetrning ichki qarshiligidan juda kichik bo'lsa, 3.17 - a rasmdagi sxema, iste'molchining qarshiligi ( $R_{yuk}$ ) voltmetr qarshiligi bilan solishtirilgan darajada bo'lsa, 3.17 - b rasmdagi sxema qo'llaniladi.

Bu usul sodda bo'lsa-da, ikkita o'lchash asbobini talab qiladi. Shuning uchun, ko'pincha, quvvatni bevosita o'lchashda elektrodinamik vattmetr qo'llaniladi.

Tok chulg'aming qarshiligi qancha kichik, kuchlanish chulg'aming qarshiligi esa qancha katta bo'lsa, o'lchash xatoligi shuncha kichik bo'ladi. Vattmetrning o'lchash doirasini kengaytirish uchun  $R_q$  qarshilik ulanadi (3.18 - rasm).

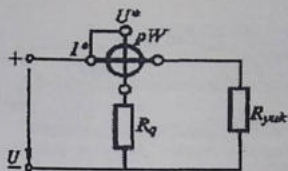


3.17 - rasm. O'zgarmas tok zanjirlarida quvvatni o'lchash sxemalari

Vattmetr doimiysi:

$$S_n = (U_n I_n) / N$$

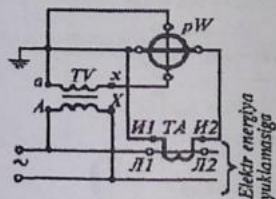
bu yerda:  $N$  - asbob daraja bo'laklarining soni.



3.18 – rasm. Vattmetrning o'lchash doirasini kengaytirish uchun  $R_q$  qarshilikni ulash sxemasi

ulanganda, tok chulg'ami zanjirning o'ta yuklanishiga olib kelishi mumkin.

Ma'lumki, o'lchash doirasini kengaytirish uchun tok va kuchlanish o'lchash transformatorlaridan foydalaniladi (3.19 - rasm).



3.19 – rasm

**2-masala.** Qarshiligi  $R_{yuk} = 400 \text{ Om}$  li rezistor kuchlanishi  $9 \text{ V}$ , ichki qarshiligi  $r_{ich} = 220 \text{ Om}$  bo'lgan e.y.u.k. manbaiga ulansa, unda qanday quvvat ajraladi? Zanjirdan o'tadigan tokni o'lchash uchun ichki qarshiligi  $100 \text{ Om}$  bo'lgan ampermetr va rezistordagi kuchlanishni o'lchash uchun ichki qarshiligi  $1,20 \text{ kOm}$  bo'lgan voltmetrdan foydalanilsa, o'lchash xatoligini kamaytirish uchun asboblarni qaysi sxema bilan ulash lozim?

**Yechish.** Zanjirdan o'tadigan tok:

$$I = \frac{E}{R_{yuk} + r_{ich}} = \frac{9,0}{400 + 220} = 0,0145 \text{ A}$$

Rezistorda ajraladigan quvvat:

$$P = I^2 R = 0,0145^2 \cdot 400 = 0,0842 \text{ Vt}$$

Voltmetrning ichki qarshiligi yuklamaning qarshiligi bilan solishtiriladigan darajada bo'lgani uchun 3.17 - a rasmdagi sxema qo'llaniladi. Zanjirning ekvivalent sxemasi 3.20 - a rasmda keltirilgan.

### 3.3.2. Bir fazali sinusoidal tok zanjirlarida aktiv quvvatni o'lchash

Qayd etib o'tilganidek, aktiv quvvat elektrodinamik yoki ferrodinamik vattmetrlar yordamida o'lchanadi. O'lchash xatoligi asosan asbob parallel zanjirining qarshiligi bilan belgilanadi. Agar zanjirning quvvat koeffitsiyenti noma'lum bo'lsa, u holda asbob zanjirga bevosita

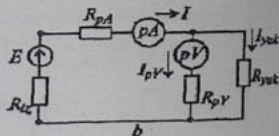
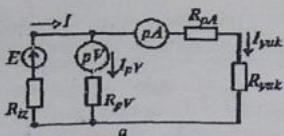
ifodadan topiladi.

**1-masala.** 1,5 aniqlik klassiga ega bo'lgan elektrodinamik vattmetr  $300 \text{ V}$  va  $5 \text{ A}$  ga mo'ljallangan. Vattmetrning eng katta absolut xatoligini aniqlang.

**Yechish.** Vattmetrning nominal quvvati:  $P = 300 \cdot 5 = 1500 \text{ Vt}$ .

Absolut xatolik:

$$\Delta P = \frac{1500}{100} \cdot 1,5 = 22,5 \text{ Vt}$$



3.20 - rasm.

O'lchash asboblari ulangandan so'ng toklarni aniqlaymiz:

$$I = \frac{E}{\frac{(R_{pA} + R_{yuk})R_{pV}}{(R_{pA} + R_{yuk} + R_{pV})} + r_{ich}} = \frac{9}{\frac{(100 + 400) \cdot 1200}{100 + 400 + 1200} + 220} = 0,0157 A,$$

$$I_{yuk} = I \frac{R_{pV}}{R_{pV} + R_{pA} + R_{yuk}} = 0,0157 \cdot \frac{1200}{1200 + 100 + 400} = 0,011 A,$$

$$I_{pV} = I \frac{R_{pA} + R_{yuk}}{R_{pV} + R_{pA} + R_{yuk}} = 0,0157 \cdot \frac{100 + 400}{1200 + 100 + 400} = 0,00462 A$$

Voltmetrning ko'rsatishi:

$$U_{pV} = I_{pV} R_{pV} = 0,00506 \cdot 1200 = 5,544 V$$

O'lchash asbobi ulangandan so'ng rezistordagi quvvat:

$$P = U_{pV} I_{yuk} = 5,544 \cdot 0,011 = 0,061 W$$

3.20 - a rasm bo'yicha o'lchashning nisbiy xatoligi:

$$\delta_I = \left| \frac{0,061 - 0,0842}{0,0842} \right| \cdot 100\% = 27,6\%$$

Ampermetr voltmetrdan oldin ulangan sxemaning nisbiy xatoligini hisoblaymiz. Bu holda ekvivalent sxemaning (3.20 - b rasm) toklarini aniqlaymiz:

$$I = \frac{E}{\frac{R_{yuk} R_{pV}}{R_{yuk} + R_{pV}} + R_{pA} + r_{ich}} = \frac{9}{\frac{400 \cdot 1200}{400 + 1200} + 100 + 220} = 0,0145 A.$$

Yuklama toki:

$$I_{yuk} = I \frac{R_{pV}}{R_{pV} + R_{yuk}} = 0,0145 \cdot \frac{1200}{1200 + 400} = 0,0109 A.$$

Yuklamadagi kuchlanish pasayishi:

$$U_{yuk} = I_{yuk} R_{yuk} = 0,0109 \cdot 400 = 4,360 V$$

Yuklamadagi bilvosita hisoblangan quvvat:

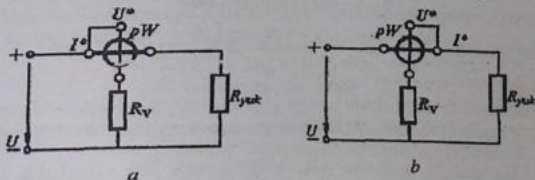
$$P = I_{yuk}^2 R_{yuk} = 0,0109^2 \cdot 400 = 0,0475 W.$$

Nisbiy xatolik:

$$\delta_{II} = \left| \frac{0,0476 - 0,0842}{0,0842} \right| \cdot 100\% = 43,6\%$$

Binobarin, birinchi variantda tanlangan o'lchash sxemasi kichik xatolik beradi.

**3-masala.** O'zgarmas tok zanjiridagi quvvatni o'lchash uchun tok va kuchlanish bo'yicha yuqori o'lchash chegaralari mo'ʻravishda  $I_N = 1 A$  va  $U_N = 150 V$  bo'lgan vattmetrdan foydalanilgan. Vattmetr ketma-ket zanjirining qarshiligi  $R_A = 0,2 Om$ , parallel zanjirniki esa  $R_V = 5000 Om$ . Yuklamadagi tok  $I = 1 A$  va kuchlanish  $U = 100 V$  bo'lganda vattmetr chulg'amlari 3.21 - rasm *a* va *b* da keltirilgan sxemalarning qaysi biri bo'yicha ulansa quvvatni o'lchashdagi nisbiy xatolik nisbatan kamroq bo'ladi?



3.21 - rasm

**Echish.** Vattmetr chulg'amlari -rasm *a* dagi sxema bo'yicha ulanganda quvvat quyidagicha aniqlanadi:

$$P = U_V I = I(U - U_A) = UI + I^2 R_A = 100 \cdot 1 + 1^2 \cdot 0,2 = 100,2 \text{ Vt},$$

bu yerda  $U_A$  - vattmetr tok chulg'amidagi kuchlanish pasayishi.

Vattmetr chulg'amlari -rasm, *b* dagi sxema bo'yicha ulanganda esa:

$$P = UI + UI_V = UI + U \frac{U_N}{R_V} = 100 \cdot 1 + 100 \frac{150}{5000} = 103 \text{ Vt}.$$

Zanjirdagi quvvatning haqiqiy qiymatini  $P_h = UI = 100 \cdot 1 = 100 \text{ Vt}$  ga teng deb qabul qilib, ikkala sxema uchun nisbiy xatolik qiymatlarini hisoblaymiz:

3.21 - rasm, *a* dagi sxema uchun

$$\delta = \frac{\Delta P}{P_h} \cdot 100\% = \frac{100,2 - 100}{100} \cdot 100\% = 0,2\%;$$

3.21 - rasm, *b* dagi sxema uchun

$$\delta = \frac{\Delta P}{P_h} \cdot 100 \% = \frac{103 - 100}{100} \cdot 100 \% = 3 \%$$

Demak, vattmetr chulg'amlari 3.21 - rasm, a da keltirilgan sxema bo'yicha ulanganda nisbiy xatolik kam bo'ladi.

### Amaliy ish

1. O'zgarmas tok zanjirida quvvatni bevosita va bilvosita o'lchash usullari hamda natijalarini solishtirish.
2. O'zgaruvchan tok zanjirlarida aktiv quvvatni o'lchash.

### 9- laboratoriya ishi

Kuchlanishi katta bo'lgan bir fazali zanjirda quvvatni o'lchash.

### Referat mavzulari

1. O'zgarmas tok zanjirlarida quvvatni bevosita va bilvosita o'lchash.
2. Sinusoidal tok zanjirlarida quvvatni o'lchash.
3. Kuchlanishi katta bo'lgan o'zgaruvchan tok zanjirlarida quvvatni o'lchash.

### O'z-o'zini sinash savollari

1. O'zgarmas tok zanjirlarida quvvatni qanday usullarda o'lchash mumkin?
2. Sinusoidal tok zanjirlarida aktiv quvvat qanday o'lchanadi?
3. Ishlab chiqarish sharoitlarida quvvatni o'lchash uchun nega ferrodinamik asboblarni qo'llaniladi?
4. Katta qarshilikka ega bo'lgan yuklamalarda bilvosita usulda quvvat qanday sxemada o'lchanadi?

### 3.3.3. Uch fazali zanjirlarda aktiv va reaktiv quvvatni o'lchash

*Uch fazali tizimning aktiv quvvati har bir fazaning aktiv quvvati bilan neytral sindagi aktiv quvvat yig'indisiga tengdir:*

$$P = P_A + P_B + P_C + P_N$$

*Uch fazali tizimning reaktiv quvvati har bir faza hamda neytral sim qarshiliklaridagi reaktiv quvvatlarning algebraik yig'indisiga tengdir:*

$$Q = Q_A \pm Q_B \pm Q_C \pm Q_N$$

To'la quvvat:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Agar fazalardagi yuklamalar simmetrik bo'lsa, unda  $P_N = Q_N = 0$ , va

$$P_A = P_B = P_C = U_f I_f \cos \varphi,$$

$$Q_A = Q_B = Q_C = U_f I_f \sin \varphi.$$

$\varphi$ - yuklamaning faza kuchlanish vektori  $\underline{U}_f$  bilan shu faza toki vektori  $\underline{I}_f$  orasidagi burchak.

Demak, simmetrik yuklama uchun:

$$P = \sqrt{3} U_f I_f \cos \varphi \text{ yoki } P = 3 U_f I_f \cos \varphi,$$

$$Q = \sqrt{3} U_f I_f \sin \varphi \text{ yoki } Q = 3 U_f I_f \sin \varphi,$$

$$S = \sqrt{3} U_f I_f \text{ yoki } S = 3 U_f I_f.$$

Uch fazali generatorning har bir fazasi ishlab chiqarayotgan energiyani  $W_A$ ,  $W_B$ ,  $W_C$  deb belgilasak, unda generatorning oniy quvvati:

$$P = \frac{d}{dt} (W_A + W_B + W_C) = p_a + p_b + p_c$$

Har bir davr uchun quvvatning o'rtacha qiymati, ya'ni generatorning aktiv quvvati har bir faza aktiv quvvatining yig'indisiga teng:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = P_A + P_B + P_C =$$

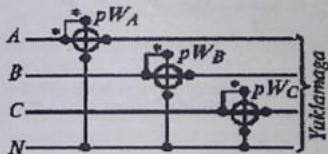
$$= U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c.$$

To'la quvvatni kuchlanish va tok komplekslari orqali ham ifodalash mumkin:

$$\underline{S} = \underline{U}_A \underline{I}_A^* + \underline{U}_B \underline{I}_B^* + \underline{U}_C \underline{I}_C^* = \sqrt{P^2 + Q^2} e^{j \arctg \frac{Q}{P}}, \quad (3.2)$$

bu ifodada  $\underline{I}_A^*$ ,  $\underline{I}_B^*$ ,  $\underline{I}_C^*$  - toklarning qo'shma kompleks qiymatlari.

Uch fazali zanjirlarda aktiv quvvatni o'lchash. To'rt simli uch fazali



3.22 - rasm. To'rt simli uch fazali tizimda aktiv quvvatni o'lchash sxemasi

tizimda har bir fazadagi aktiv quvvatni o'lchash uchun vattmetrni quyidagi sxemada ulash kerak (3.22 - rasm).

Bu sxemada har bir vattmetr bitta fazaning aktiv quvvatini o'lchaydi.

Uch fazali simmetrik yuklamada bitta fazaning aktiv quvvati ( $P_f$ ) ni o'lchash yetarlidir. Unda uch fazali tizimning aktiv

quvvati bir faza quvvatini uchga ko'paytirilganiga teng bo'ladi:

$$P = 3P_f.$$

Uch simli neytral simsiz yuklamalarning ulanishi va xususiyati ixtiyoriy bo'lgan zanjirda liniya toklarining vektor yig'indisi:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$$

Demak:

$$\underline{I}_B = -\underline{I}_A - \underline{I}_C.$$

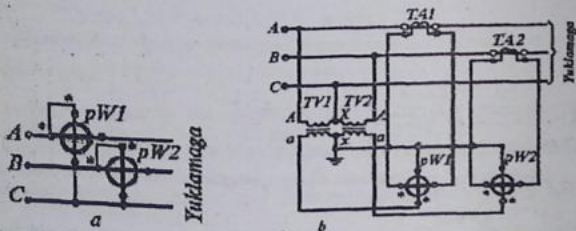
$\underline{S}$  ni (3.2) ifodadan foydalanib aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \underline{S} &= \underline{U}_A \underline{I}_A + \underline{U}_B (-\underline{I}_A - \underline{I}_C) + \underline{U}_C \underline{I}_C = \\ &= (\underline{U}_A - \underline{U}_B) \underline{I}_A + (\underline{U}_C - \underline{U}_B) \underline{I}_C = \underline{U}_{AB} \underline{I}_A + \underline{U}_{CB} \underline{I}_C \end{aligned}$$

Binobarin, tizimning aktiv quvvati:

$$P = U_{AB} I_A \cos(\underline{U}_{AB} \wedge \underline{I}_A) + U_{CB} I_C \cos(\underline{U}_{CB} \wedge \underline{I}_C) = P_{W1} + P_{W2}$$

Uch simli uch fazali tizimning aktiv quvvatini o'lchash uchun faqat ikkita vattmetr ulash bilan kifoyalansa ham bo'ladi (3.23 - a rasm). Bu sxemani nemis olimi Aron birinchi marta qo'llagani uchun o'lchash texnikasida Aron sxemasi deyiladi. Sxemaning afzalligi shundaki, uni simmetrik va nosimmetrik tizimlar uchun ham qo'llash mumkin. 3.23 - b rasmda shu vattmetrlarning tok va kuchlanish transformatorlari orqali ulanishi ko'rsatilgan.

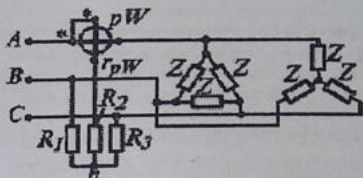


3.23 - rasm. Uch simli uch fazali tizimning aktiv quvvatini o'lchash sxemalari

Uch simli simmetrik uch fazali zanjirlarda sun'iy neytral hosil qilish bilan bitta vattmetr yordamida uch fazali tizimning quvvatini o'lchash usuli 3.24 - rasmda ko'rsatilgan.

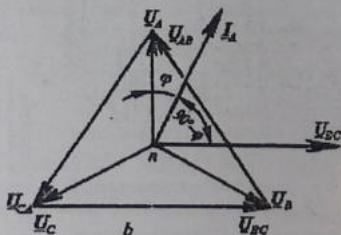
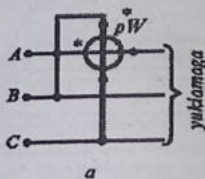
Sun'iy neytral nuqta ( $n$ ), uchta bir xil rezistor ( $R_1 = R_2 = R_3$ ) ni yulduz usulida ulash bilan hosil qilinadi. Yordamchi ( $r_{yor}$ ) qarshiligi, vattmetrning kuchlanish chulg'amining qarshiligi  $r_{pW}$  bilan ketma-ket ulangan holda

umumiy faza qarshiligi ( $R_2$ ) ni hosil qiladi:  $R_2 = r_{pW} + r_{yor}$ . Natijada, faza kuchlanishlarning simmetrikligi ta'minlanadi.



3.24 – rasm. Uch simli simmetrik uch fazali zanjirlarda sun'iy neytral hosil qilish bilan bitta vattmetr yordamida uch fazali tizimning quvvatini o'lchash sxemasi

Uch fazali tizim aktiv quvvatining yig'indisi vattmetr ko'rsatishining uchga ko'paytirilganiga teng. Uch fazali zanjirlarda reaktiv quvvatni o'lchash. Simmetrik uch fazali zanjirlarda reaktiv quvvatni o'lchash sxemasi 3.25 – rasm, a da va unga tegishli vektor diagramma 3.25 – rasm, b da ko'rsatilgan.



3.25 – rasm. Simmetrik uch fazali zanjirlarda reaktiv quvvatni o'lchash sxemasi va vektor diagrammasi

Keltirilgan sxemadan ko'rinib turibdiki:

$$P_W = U_{BC} I_B \cos(\angle U_{BC} \hat{I}_B) = U_{BC} I_B \cos(90^\circ - \varphi) = U_1 I_1 \sin \varphi = Q.$$

va uni  $\sqrt{3}$  ga ko'paytirib, simmetrik uch fazali zanjirning reaktiv quvvatini aniqlaymiz:

$$Q = \sqrt{3} U_1 I_1 \sin \varphi.$$

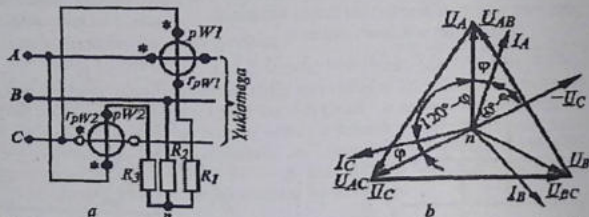
Uch simli simmetrik uch fazali zanjirda umumiy reaktiv quvvat ikki vattmetr usulida aktiv quvvatni o'lchash sxemasidan vattmetrlar ko'rsatishi orqali aniqlash mumkin. Uncha murakkab bo'lmagan trigonometrik o'zgarishlardan keyin  $Q = \sqrt{3}(P_{W1} - P_{W2})$  ekanligini isbot qilish mumkin. Bu

yerda:  $P_{W1}$  – fazasi oldinda bo'lgan fazaga ulangan vattmetrning,  $P_{W2}$  – esa fazasi orqada qolgan fazaga ulangan vattmetrning ko'rsatishi.

**Uch fazali zanjirda reaktiv quvvatni ikki vattmetr yordamida o'lchash.** Uch fazali uch simli zanjirning umumiy reaktiv quvvatini simmetrik va nosimmetrik rejimlarda o'lchashda ikki vattmetr usulidan foydalanishimiz mumkin. Bu usulda nosimmetrik yuklama bo'lishi  $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$  va

$\varphi_A \neq \varphi_B \neq \varphi_C$  mumkin, ammo liniya kuchlanishlari simmetrik bo'lishi kerak, ya'ni  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_l$ .

Ikkita  $pW_1$  va  $pW_2$  bir fazali vattmetrlarni uch fazali uchta simli zanjirlarga ulanishini ko'rib chiqamiz (3.26 – rasm, a).



3.26 – rasm. Uch fazali zanjirda reaktiv quvvatni ikki vattmetr yordamida o'lchash sxemasi va vektor diagrammasi

Sun'iy neytral nuqtasi ( $n$ ) ni hosil qilish uchun yordamchi  $r_{yor1}$  va  $r_{yor2}$  shiklklardan foydalanib:

$$R_1 = r_{pW1} + r_{yor1} \quad \text{va} \quad R_3 = r_{pW2} + r_{yor2}$$

yulduz sxemasini hosil qilamiz. Masalani soddalashtirish uchun liniya toklari simmetrik bo'lgan holatni ko'ramiz.

Agar  $\underline{U}_{AB}$  ga perpendikulyar bo'lgan  $\underline{U}_C$  faza kuchlanishini hamda  $\underline{U}_{BC}$  kuchlanishga perpendikulyar  $\underline{U}_A$  kuchlanishni olib (3.26 – rasm, b), bir fazali vattmetrning kuchlanish chulg'amlariga ulasak, u holda uch fazali uchta simli zanjirning reaktiv quvvatini aniqlash mumkin bo'ladi.

Buning uchun sun'iy hosil qilingan faza kuchlanish  $U_{An}$  va  $U_{Cn}$  lardan foydalanamiz. Unda birinchi vattmetrning ko'rsatishi:

$$P_{W1} = U_{Cn} I_A \cos(60^\circ - \varphi),$$

ikkinchi vattmetr ko'rsatishi:

$$P_{W2} = U_{An} I_c \cos \beta = U_{An} I_c \cos(120^\circ - \varphi),$$

ikkala vattmetr ko'rsatishlarining yig'indisi:

$$P_{W1} + P_{W2} = U_f I_f \left( \frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi - \frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) = \\ = \sqrt{3} U_f I_f \sin \varphi = \sqrt{3} Q_f.$$

Demak, umumiy reaktiv quvvatni topish uchun oxirgi ifodani  $\sqrt{3}$  ga ko'paytirish kerak:

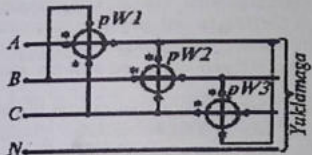
$$Q = \sqrt{3} (P_{W1} - P_{W2}) = 3 U_f I_f \sin \varphi,$$

ya'ni, reaktiv quvvat har bir faza reaktiv quvvatlarining yig'indisiga teng.

Agar  $\varphi = 30^\circ$  bo'lsa ( $\cos \varphi = 0,86$ ), keltirilgan misolda ikkinchi vattmetrning ko'rsatishi nolga teng bo'ladi.

$\varphi < 30^\circ$  da ( $\cos \varphi > 0,86$ ) ikkinchi vattmetrning ko'rsatishi manfiy bo'ladi.

**Reaktiv quvvatni uchta vattmetr yordamida o'lchash.** Simmetrik va nosimmetrik to'rt simli uch fazali zanjirlarda reaktiv quvvatni uchta vattmetr usuli bilan o'lchash mumkin. 3.27 - rasmda uchta vattmetr usulida uch faza uch simli zanjirlarda reaktiv quvvatni o'lchash sxemasi keltirilgan.



3.27 - rasm. Reaktiv quvvatni uchta vattmetr yordamida o'lchash sxemasi

Reaktiv quvvatni o'lchash uchun vattmetr kuchlanish chulg'amlariga  $90^\circ$  ga burilgan kuchlanishni ulash kerak. Kuchlanishlar sifatida simmetrik uch fazali zanjirning liniya (fazalararo) kuchlanishlari  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ ,  $U_{AB}$  larni ishlatishimiz mumkin.

Masalani oddiy tushuntirish uchun simmetrik tizimning vektor diagrammasidan foydalanamiz. Birinchi vattmetr ko'rsatishini aniqlaymiz.

$$P_{W1} = U_{BC} I_A \cos(\underline{U}_{BC} \wedge \underline{I}_A) = U_1 I_1 \cos(90^\circ - \varphi) = U_1 I_1 \sin \varphi;$$

ikkinchi vattmetrning ko'rsatishi:

$$P_{W2} = U_{CA} I_B \cos(\underline{U}_{CA} \wedge \underline{I}_B) = U_1 I_1 \sin \varphi;$$

uchinchi vattmetrning ko'rsatishi:

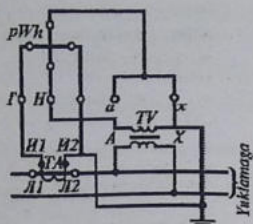
$$P_{W3} = U_{AB} I_C \cos(\underline{U}_{AB} \wedge \underline{I}_C) = U_1 I_1 \sin \varphi.$$

Vattmetrlar ko'rsatishining algebraik yig'indisi:

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = 3 U_1 I_1 \sin \varphi.$$

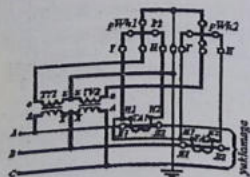
Bu ifodani  $\sqrt{3}$  ga bo'lib, uch fazali zanjirning reaktiv quvvati aniqlanadi:

$$Q = \frac{P}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} U_1 I_1 \sin \varphi = 3 U_f I_f \sin \varphi.$$



3.28 - rasm. Bir fazali zanjirlarda aktiv elektr energiyani bir fazali CO rusumdagi hisoblagich yordamida hisobga olish sxemasi

jihozlanadi. Bunday hisoblagichlar va o'lchash transformatorlari nimstansiyaning umumiy yacheykasida joylashtiriladi. Uch simli zanjirga aktiv  $pWh$  va reaktiv  $pQh$  hisoblagichlarning o'lchash transformatorlari orqali ulanishi 3.31 - rasmda keltirilgan.



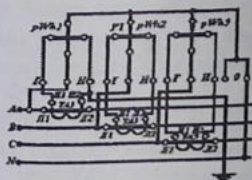
3.29 - rasm. Uch simli uch fazali zanjirda aktiv elektr energiyani CA3 rusumdagi uch fazali ikki elementli hisoblagich yordamida hisobga olinish sxemasi

Hozirgi paytda bir va uch fazali tarmoqlarda elektr energiya hisoblagichning yangi yuqori aniqlikdagi elektron avlodi yaratilgan. Rossiya Federatsiyasida ishlab chiqarilgan COЭ - 5 rusumli elektr hisoblagich bir fazali o'zgaruvchan tokda ishlaydigan yuklamalar uchun foydalaniladi. Bunday hisoblagichlar elektr energiya yuklamalarining nazorat va ko'p tarifli hisoblash avtomatlashtirilgan tizimlarida ishlatilishi mumkin.

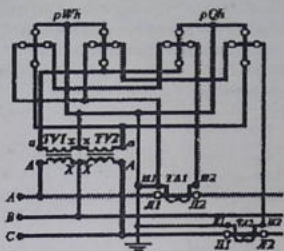
Uch simli uch fazali zanjirda aktiv elektr energiya CA3 rusumdagi uch fazali ikki elementli hisoblagichlar yordamida hisobga olinadi. 3.29 - rasmda bunday hisoblagichning ikkitadan tok va kuchlanish transformatorlari orqali ulanishi keltirilgan.

Uch fazali to'rt simli zanjirlarda aktiv energiya CP4 rusumdagi uch fazali uch elementli hisoblagich ( $pWh1$ ,  $pWh2$  va  $pWh3$ ) lar yordamida hisobga olinadi (3.30 - rasm).

Elektr tarmoqdagi transformatorli nimstansiya (podstansiya) lar o'lchash transformatorlari orqali ulangan aktiv va reaktiv energiya hisoblagichlar bilan o'lchash transformatorlari



3.30 - rasm. Uch fazali to'rt simli zanjirlarda aktiv energiya CP4 rusumdagi uch fazali uch elementli hisoblagichlar yordamida hisobga olinish sxemasi



3.31- rasm. Uch simli zanjirga aktiv va reaktiv hisoblagichlarni o'lchash transformatorlari orqali ulanish sxemasi

lekin ulardagi toklarning farqiga ko'ra, yuklamani tarmoqdan shu onda ajratib tashlaydi va avariya axborotini beradi.

Bundan tashqari, Rossiya Federatsiyasi АББ «ВЭИ Метроника» korxonasida ko'p funksiyali mikroprotsessorli «ЕВРО Альфа» rusumli 0,2 S va 0,5 S klassli elektr energiya hisoblagichlari ishlab chiqariladi. Bu hisoblagichlar elektr energiyadan tashqari aktiv va reaktiv quvvatlarni har bir fazaning kuchlanish va tokini, tarmoq chastotasini, quvvat koeffitsiyentini, kuchlanishlar va toklarning orasidagi faza burchaklarini o'lchashga imkon beradi.

Hozirgi kunga kelib mamlakatimizda elektr energiyani nazorat qilish va hisobga olishning avtomatlashtirilgan tizimi joriy qilinmoqda. Bu tizim quyidagi imkoniyatlarga ega:

- energiya hisoblagich va kontroller(boshqaruvchi ulab-uzgich)dan axborotlarni avtomatik ravishda qabul qilish;
  - axborotlar va ularga ishlov berish markazi bilan avtomatik ravishda ma'lumotlar almashib turish;
  - tarif turini hisobga olgan holda elektr energiya iste'moli bo'yicha hisoblashlar va qayta hisoblashlarni bajarish;
  - diagnostika(texnik tashxis)ga oid ma'lumotlarni avtomatik ravishda yig'ish va saqlash;
  - hisoblashlar natijalarini arxivda saqlash;
  - o'lchovlarni sinxron ravishda amalga oshirish maqsadida yagona vaqt tizimini joriy qilish;
  - elektr energiya iste'molini limitdan ortib ketishini nazorat qilish va h.k.
- "Альфа" rusumli elektr energiya hisoblagichni multipleksor-kengaytirgich(MPK)lar asosida qurilgan elektr energiyani nazorat qilish va hisobga olishning avtomatlashtirilgan tizimiga ulanish sxemasi 3. 32 -rasmda

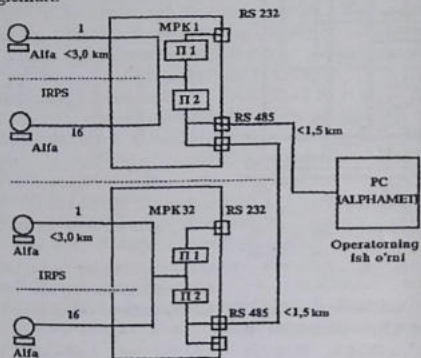
Informatsiyani aks etirish qurilmasi sifatida xalaqitlarga bardosh bera oladigan suyuq kristalli displeydan foydalanilgan.

Hisoblagichning integral sxemasida moslagich bloki mavjudligi chiqish parametrlarining mo'tadilligini kafolatlaydi.

Shu bilan birga, zamonaviy raqamli hisoblagichlarda qo'llanilgan sxematik yechimlar elektr energiyani turli yo'llar bilan o'g'irlashga imkon bermaydi. Raqamli o'lchagichlarni teskariga aylantirib bo'lmaydi, u o'zidan o'tgan energiyani hisobga olaveradi.

«Faza» va «neytral» o'tkazgichlarning joyi o'zaro almashtirilsa, o'tayotgan energiyani hisobga olmaydi,

keltirilgan. Har bir MPK umumiy shinalarga 16 tagacha energiya hisoblagichlarni ulash imkonini beradi. Sxemada  $\Pi$  – interfeys adapterlari,  $\square$  – interfeys ajratgichlari.



3. 32 – rasm. "Alfa" rusumli elektr energiya hisoblagichni multipleksor-kengaytirgichlar asosida qurilgan elektr energiyani nazorat qilish va hisobga olishning avtomatlashtirilgan tizimiga ulanish sxemasi

COЭ – 5 rusumli elektr energiya hisoblagichning texnik xarakteristikalarini:

Aniqlik klassi –	0,2	Sezgirlik ostonasi $mA$ –	25
Ishchi kuchlanish, $V$ –	220	Hisoblagich doimiysi, $kVt \cdot soat$ –	1000
Nominal tok, $A$ –	5	Tashqi o'lchamlari, $mm$ –	208×135
Maksimal tok, $A$ –	40	Og'irligi $kg$ –	1
Ishonchlash davri, $yil$ –	16		

**Masala.** O'zgarmas nominal doimiysi  $C_{n2} = 2500 \text{ kVt} \cdot \text{soat}$  aylanaga teng, aniqlik klassi 2,5, nominal kuchlanishi 127 V, toki 5 A bo'lgan bir fazali hisoblagichni ishonchlash uchun nominal kuchlanishi  $U_n = 300 \text{ V}$ , toki  $I_n = 5 \text{ A}$ , daraja bo'linmalari soni 150 bo'lgan vattmetr qo'llanilgan. Agar hisoblagichning diski 3 minut vaqt davomida 57 marta aylansa, vattmetr 92 bo'linma ko'rsatgan bo'lsa, hisoblagichning nisbiy xatoligi qancha bo'ladi?

**Yechish.** Hisoblagichning nominal doimiysini aniqlaymiz:

$$C_n = \frac{1kVt \text{ soat}}{N} = \frac{1000 \cdot 60}{2500} = 24 \frac{Vt \text{ min}}{ayl}$$

bu yerda:  $N$  – hisoblagichning uzatuvchi soni. Vattmetrning ko'rsatishi:

$$P_W = C_p \alpha = 5 \cdot 92 = 460 \text{ Vt}$$

Yuklamaning energiyasini va hisoblagichning haqiqiy doimiysini aniqlaymiz:

$$W = P_W t = 460 \cdot 3 = 1380 \text{ Vt min.}$$

$$C_x = \frac{W}{N} = \frac{1380}{57} = 24,21.$$

Hisoblagichning nisbiy xatoligi:

$$\delta_W = \left( \frac{C_x - C_n}{C_n} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{24,21 - 24}{24} \right) \cdot 100\% = 0,88\%$$

### Amaliy ishlar

1. Simmetrik uch fazali zanjirlarda quvvatni hisoblash.
2. Nosimmetrik uch fazali zanjirlarda quvvatni hisoblash.
3. Quvvat koeffitsiyentini aniqlashga doir hisoblashlar.
4. Elektr energiya hisoblagichlarga doir masala yechish.

### 10- laboratoriya ishi

Ikki elementli vattmetr yordamida uch fazali zanjirda aktiv va reaktiv quvvatlarni o'lchash.

#### Mustaqil tayyorlanishga doir referat mavzulari

1. Simmetrik uch fazali zanjirlarda aktiv va reaktiv quvvatlarni o'lchash.
2. Nosimmetrik uch fazali zanjirlarda aktiv va reaktiv quvvatlarni o'lchash.
3. Tok va kuchlanish transformatorlarini quvvatlarni o'lchashda qo'llash.
4. Uch fazali zanjirlarda uskunalarning quvvat koeffitsiyentini o'lchash.

#### O'z-o'zi sinash savollari

1. Simmetrik uch fazali zanjirlarning aktiv va reaktiv quvvati qanday o'lchanadi?
2. Nosimmetrik uch fazali zanjirlarning quvvatini o'lchash usullarini bayon eting.
3. Quvvat koeffitsiyenti  $\cos \varphi$  ni o'lchash va aniqlashning qanday usullarini bilasiz?
4. Elektr energiya hisoblagichlarning turlari va ularning xarakteristikalarini qisqacha aytib bering.

5. CO rusumdagi elektr energiya hisoblagichi tok va kuchlanish transformatorlari orqali qanday ulanadi? Sxemasini chizing.
6. CA3 va CA4 rusumdagi elektr energiya hisoblagichlari, CA3 va CA4 larning zanjirga ulash sxemalarini chizing.
7. Elektr energiya hisoblagichlari qanday ishonchlanadi? Ishonchlash sxemasini chizing.

### 3.4. Chastota, faza siljish burchagi va quvvat koeffitsiyentini o'lchash

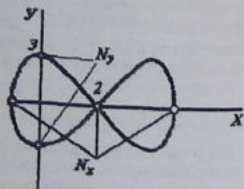
#### 3.4.1. Chastotani o'lchash

Elektroenergetika, radiotexnika, televideniye, aloqa teleo'lchash tizimida chastotani o'lchash katta ahamiyatga ega. *Chastotani o'lchash usuli va asbobni tanlash talab qilinayotgan o'lchash aniqligiga, signal manbaining quvvatiga va boshqa omillarga bog'liq bo'ladi.*

Chastotani o'lchashda taqqoslash usulidan foydalanilganda, katta o'lchash doirasida yuqori aniqlikka erishish mumkin. Chastotani elektron nurli ossillograf yordamida o'lchash usuli amaliyotda keng qo'llaniladi. Bunda chiziqli, aylanal yoyish usullari hamda Lissaju shakllaridan foydalaniladi. Biroq, Lissaju shakllari yordamida faqat sinusoidal kuchlanishlar chastota-sini o'lchash mumkin. Ossillograf gorizontal kanalining kuchaytirgichiga chastotasi noma'lum bo'lgan kuchlanish beriladi. Vertikal kanal qismalariga esa chastotasi ma'lum kuchlanish beriladi. Natijada ossillograf ekranida Lissaju shakllaridan biri hosil bo'ladi. Chastota quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$f_x = f_0 (N_x/N_y),$$

bu yerda:  $N_x, N_y$  – mos ravishda Lissaju shaklini  $x$  va  $y$  o'qlari bilan kesishgan nuqtalar soni (3.33 - rasmda  $N_x = 2; N_y = 3$ );  $f_0$  – ma'lum bo'lgan chastota.



3.33 – rasm. Ossillograf ekranidagi shakllaridan biri

O'lchash xatoligi  $f_0$  xatoligi bilan aniqlanadi. *Chastotani ossillograf usulida o'lchash sodda bo'lsa-da, chastotasi aniq ma'lum bo'lgan kuchlanish generatori kerak bo'ladi.*

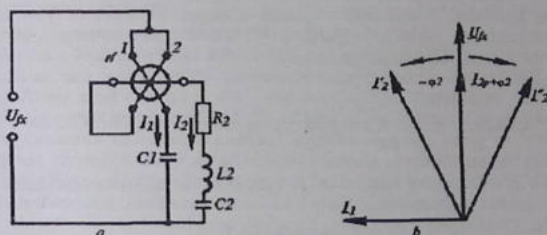
Eng oddiy elektromexanik chastota o'lchagich elektromagnit rezonansli o'lchagichdir. Chastotasi noma'lum kuchlanish elektromagnit chulg'anga beriladi. Elektromagnit maydonida bir tomoni mahkamlangan po'lat plastinalar joylashtirilgan. Plastinalarning bo'sh uchi egilgan va bo'yalgan. O'zgaruvchan maydon ta'sirida plastinalar tebranma harakat qiladi. Xususiy tebraning

chastotasi kuchlanish chastotasining ikkilanganiga teng bo'lgan plastina rezonans hodisasi tufayli katta amplituda bilan tebranadi. Bu chastota o'lchagichlarning o'lchash doirasi tor (45-55 yoki 450-550 Gs), nisbiy xatoligi 1,0-2,5%.

Chastotani *logometr* bilan o'lchashda elektrodinamik o'lchagichning parallel shoxobchalaridan biriga kondensator ( $C_1$ ) ulanadi. Bu kondensator chastotasi o'lchanayotgan kuchlanish va faza siljish burchagi  $\pi/2$  bo'lgan tok orasidagi burchakni hosil qiladi. Ikkinchi shoxobchani ketma-ket ulangan zanjiriga rezonans kontur hosil qiladigan g'altak ( $L_2$ ), kondensator ( $C_2$ ) va rezistor ( $R_2$ ) ulangan (3.34 – rasm, a).

Uning rezonans chastotasi asbob o'lchaydigan chastotasining o'rtacha qiymatiga teng qilib tanlangan. Shu sababdan rezonans holatida asbobning harakatlanuvchi qismi darajaning o'rtasida turadi. O'rtacha  $f_{o'r}$  chastota quyidagi ifodadan topiladi:  $f_{o'r} = (f_{\delta} + f_{ox})/2$ , bu yerda:  $f_{\delta}$ ,  $f_{ox}$  asbob darajasidagi boshlang'ich va oxirgi chastotalar.

O'lchanayotgan chastota rezonans qiymatidan og'sa, tok  $I_2$  vektori ham o'zgaradi (3.34 – rasm, b).



3.34 - rasm. Chastotani *logometr* yordamida o'lchash sxemasi (a) va vektor diagrammasi (b)

Bu holat aylanuvchi moment hosil bo'lishiga va logometning harakatlanuvchi qismini tok  $I_2$  qiymatiga proporsional bo'lgan  $\alpha$  burchak og'ishiga olib keladi:

$$\alpha = F_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \cos \psi_1 \right) = F_2 \left( \frac{x_2}{x_1} \right),$$

bunda

$$x_1 = \frac{1}{\omega_x C_1}; \quad x_2 = \omega_x L_2 - \frac{1}{\omega_x C_2} \quad \text{bo'lgani uchun,}$$

$$\alpha = F_2 \left( \frac{\omega_x L_2 - 1 / \omega_x C_2}{1 / \omega_x C_1} \right) - F_3(f_x)$$

bo'ladi.

Elektromagnit va elektrodinamik chastota o'lchagichlardan asosan sanoat chastotalarini o'lchashda foydalaniladi. Ular juda tor o'lchash doirasiga ega:  $\pm 10$  foiz  $f_0$ 'r, nisbiy xatoligi 0,5 foizdan 2,5 foizgacha, quvvat iste'moli 10 Vt gacha.

### 3.4.2. Faza siljish burchagini o'lchash

Belgilangan vaqtga nisbatan elektromagnit jarayonining asosiy parametrlaridan biri fazadir. Garmonik tebranish  $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$  uchun faza sinusoidal funksiyaning argumenti  $(\omega t + \psi)$  bilan aniqlanadi, bunda  $\psi$  - boshlang'ich faza. Agar chastotalari  $\omega$  bo'lgan ikkita sinusoidal tebranishlarning boshlang'ich fazalarini  $\psi_1$  va  $\psi_2$  bilan belgilasak, ular orasidagi fazalarning siljish burchagi  $\psi_1 - \psi_2$  ga teng bo'ladi. Binobarin, bir xil chastotalarda fazalar siljishi vaqtga bog'liq bo'lmaydi. *Faza siljishi radian yoki gradusda o'lchanadi.*

Ba'zi hollarda sinusoidal signal zanjirlardan yoki muhit orqali o'tganda uning kechikish vaqtini aniqlash lozim bo'ladi. Kechikish chiqish signalining kirish signaliga nisbatan siljishiga olib keladi. Elektrotexnik qurilmalarda, radiotexnika va televideniya faza siljishlarini katta aniqlikda o'lchash zarur.

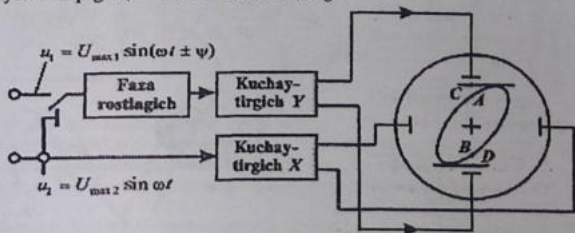
Faza siljishini laboratoriya sharoitida o'lchashning eng sodda usuli - elektron ossillografdan foydalanishdir. Bu usulda faza ossillogrammalar xususiyati va shakliga ko'ra aniqlanadi. O'lchash natijalariga ossillografning vertikal va gorizontal plastinalariga kuchlanish beruvchi kuchaytirgichlar-ning fazaviy va amplitudaviy xarakteristikalari ta'sir etadi. Nochiq buzilishlari va yoyish generatorining sifati chiziqli yoyish usuli bo'yicha ossillograf ekranida faza siljishi o'lchanayotgan ikkala kuchlanish kuzatiladi. Ikki nurli ossillografda ikkala kuchlanishni bir yo'la kuzatish mumkin, har bir kuchlanish nurli ossillografning vertikal plastinalar kuchaytirgichiga elektron kommutator yordamida navbatma-navbat o'lchanayotgan kuchlanishlar beriladi. Ossillografning yoyish tezligi o'lchanayotgan signalning butun davri sig'adigan qilib tanlanadi hamda o'lchanayotgan signal yordamida yoyish generatori sinxronizatsiyalanadi.

Ossillograf yordamida faza siljishi o'lchanishining yana bir keng tarqalgan usuli ellips usulidir. Bu usulning mohiyatini 3.35 - rasmda keltirilgan struktura sxema ko'rsatib turibdi. Fazani o'lchash uchun vertikal og'ish plastinalarga birinchi kuchlanish, gorizontal og'ish plastinalariga esa ikkinchi kuchlanish beriladi. Vertikal og'ish kuchaytirgich kirishiga fazaviy rostlagich ulangan. U kanallarni faza jihatidan simmetriyalash uchun xizmat qiladi. Kanallarning amplituda jihatidan simmetriyalash kuchaytirgich koeffitsiyentlarini rostlash orqali bajariladi.

O'lchanadigan faza siljishi ekrandagi  $AB$  va  $CD$  kesmalar nisbati orqali aniqlanadi (3.35 - rasm):

$$\sin \varphi = AB/CD.$$

Ossillografik usullardan tashqari faza siljishini amaliy hollarda bevosita o'lchash uchun elektron usullar va vositalar mavjud. Bularga kuchlanishning yig'indi va ayirmasini o'lchash, faza siljishining vaqt oralig'iga aylantirish, solishtirish va kompensatsiyalash hamda chastotani o'zgartirish usullari kiradi. Shu usullar asosida  $\Phi 2-16$ ,  $\Phi K 2-12$ ,  $\Phi K 2-14$  rusumli fazometrlar ishlab chiqilgan. Ular mos ravishda  $20 \text{ Gs}-20 \text{ MGs}$ ;  $1-1000 \text{ MGs}$ ;  $110-7000 \text{ MGs}$  chastota oralig'ida kuchlanishi  $0,001 \dots 100 \text{ Volt}$ ,  $0 \pm 180^\circ$  burchak siljishini o'lchaydi. Aniqligi  $0,2 - 2,5$ . Massasi  $17,5 \text{ kg}$ .



3.35 - rasm. Ossillograf yordamida faza siljishi o'lchanish sxemasi

### 3.4.3. Quvvat koeffitsiyentini o'lchash

Quvvat koeffitsiyenti  $\cos \varphi$  turli xil asboblardan yordamida bilvosita yoki fazometr bilan bevosita o'lchanadi.

Bir fazali sinusoidal tok zanjirlarida  $\cos \varphi$  bilvosita vattmetr, ampermetr va voltmeter ko'rsatkichlari yordamida quyidagicha hisoblanadi:

$$\cos \varphi = \frac{P_{pW}}{U_{pV} I_{pA}}$$

Simmetrik uch fazali zanjirlarda  $\cos \varphi$  bilvosita o'lchash usuli bo'yicha aktiv quvvat, liniya toki va kuchlanishlarni o'lchash orqali topiladi:

$$\cos \varphi = \frac{P_{pW}}{\sqrt{3} U_l \cdot I_l}$$

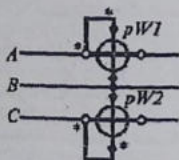
3.36 - rasmda keltirilgan sxema bo'yicha ikkita vattmetr usulida o'lchangan quvvatlar ma'lum bo'lsa:

$$\cos \varphi = \frac{P_{pW_1} + P_{pW_2}}{2\sqrt{P_{pW_1}^2 - P_{pW_1} \cdot P_{pW_2} + P_{pW_2}^2}}$$

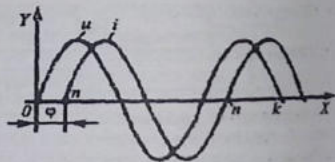
bo'ladi.

Quvvat koeffitsiyenti ossillograf yordamida ham aniqlanishi mumkin. Elektron nurli ossillografdan yoki elektron kommutatordan foydalanilganda, ossillograf ekranidagi kuchlanish va tok sinusoidalaridan (3.37- rasm).  $\varphi$  quyidagicha topiladi:

$$\varphi = 2\pi \frac{on}{ok}$$



3.36 - rasm. Simmetrik uch fazali zanjirlarda  $\cos \varphi$  ni o'lchash sxemasi



3.37 - rasm. Ossillograf ekranidagi kuchlanish va tok sinusoidallari

$\cos \varphi$  ni bilvosita usullar bilan hisoblashda aniqlik ancha past bo'ladi. Bevosita  $\cos \varphi$  **elektrodinamik**, **ferrodinamik** yoki **elektron fazometrlar** yordamida o'lchanadi (3.38 - rasm, a). Uning vektor diagrammasi 3.38 - rasm, b da tasvirlangan.

**Elektrodinamik** yoki **ferrodinamik fazometr** logometrdan iborat bo'lib, uning qo'zg'aluvchan qismiga reaktiv qarshiliklari qarama-qarshi bo'lgan elementlar ulanadi. Bunda qo'zg'aluvchan qismning burchak siljishi:

$$\alpha = F \left( \frac{I_2}{I_1} \operatorname{tg} \varphi \right)$$

**Logometrlar** xossalariidan kelib chiqqan holda uch fazali zanjirda  $\cos \varphi$  ni o'lchash sxemasi 3.39 - rasmda keltirilgan.

**1-masala.** Uch fazali zanjirning aktiv quvvati 40 kVt, reaktiv quvvati esa 30 kvar. Quvvat koeffitsiyenti  $\cos \varphi$  ni aniqlang.

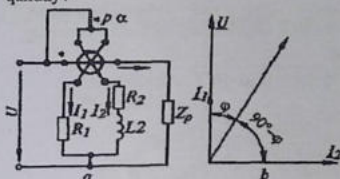
**Yechish.** To'la quvvat ( $S$ ) ni hisoblaymiz:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ kVA}$$

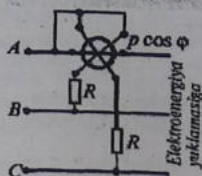
Quvvat koeffitsiyenti esa:

$$\cos \varphi = P/S = 40/50 = 0,8$$

**2-masala.** Po'lat eritadigan induksion qo'ra liniya kuchlanishi 380 V bo'lgan uch fazali tarmoqqa ulangan. Liniya toklari 300 A va Aron sxemasi bo'yicha ulangan vattmetrlar 41 kVt va 80 kVt ko'rsatsa, qo'raning  $\cos \varphi$  si qanday?



3.38 - rasm. Uch fazali zanjirda  $\cos \varphi$  ni elektrodinamik yoki ferrodinamik fazometrlar yordamida o'lchash sxemasi (a) va vektor diagrammasi (b)



3.39 - rasm. Uch fazali zanjirda  $\cos \varphi$  ni logometrdan yordamida o'lchash sxemasi

**Yechish.** Induksion pechning to'la quvvati:

$$S_{pech} = \sqrt{3} U_1 I_1 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 300 = 197 \text{ kVA}$$

Pechning aktiv quvvati:

$$P_{pech} = P_1 + P_2 = 41 + 80 = 121 \text{ kVt}$$

Quvvat koeffitsiyenti:

$$\cos \varphi = \frac{P_{pech}}{S_{pech}} = \frac{121,0}{197,2} = 0,614$$

**3-masala.** Uch fazali tok zanjiriga ampermetr, voltmetr va ikkita vattmetr kuchlanish transformatori 6000/100 V va tok transformatori 50/5 V orqali ulangan. Asboblar 5 A; 166,6 V va 240 Vt hamda 120 Vmi ko'rsatganda, to'la, aktiv, reaktiv quvvatlar hamda quvvat koeffitsiyentini aniqlang.

**Yechish.** Uch fazali zanjirning liniya toki:

$$I_l = I k_I = 5 \cdot \frac{50}{5} = 50 \text{ A.}$$

Liniya kuchlanishi:  $U_l = U k_U = 166,6 \cdot \frac{6000}{100} = 10000 \text{ V.}$

To'la quvvat:  $S = \sqrt{3} U_l I_l = \sqrt{3} \cdot 10000 \cdot 50 = 867000 \text{ VA.}$

Birinchi vattmetr ko'rsatayotgan aktiv quvvat:

$$P_1 = k_U k_I P_p W_1 = \frac{6000}{100} \cdot \frac{50}{5} \cdot 240 = 144000 \text{ Vt}$$

Ikkinchi vattmetr ko'rsatayotgan aktiv quvvat:

$$P_2 = k_U k_I P_p W_2 = \frac{6000}{100} \cdot \frac{50}{5} \cdot 120 = 72000 \text{ Vt}$$

Zanjirdagi umumiy aktiv quvvat:

$$P_{um} = P_1 + P_2 = 144000 + 72000 = 216000 \text{ Vt}$$

Zanjirdagi umumiy reaktiv quvvat:

$$Q = \sqrt{S^2 - P_{um}^2} = \sqrt{(867 \cdot 10^3)^2 - (216 \cdot 10^3)^2} = 850000 \text{ var}$$

Quvvat koeffitsiyenti:

$$\cos \varphi = \frac{P_{um}}{S} = \frac{216000}{867000} = 0,248$$

### 3.5. Magnit kattaliklarni o'lchashning umumiy masalalari

Elektr mashinalar, apparatlar va asboblardagi elektr va magnit hodisalari o'zaro bog'liq bo'lib, ularni o'rganishda magnit maydon va materiallarning parametrlarini aniqlash lozim bo'ladi. Fizika va elektrotexnika kurslaridan ma'lumki, magnit maydonini bir-biri bilan o'zaro bog'liq bo'lgan uchta kattalik tavsiflaydi:

$B = \mu_0(H + J)$ , bu yerda:  $B$  – magnit induksiya;  $H$  – magnit kuchlanganlik;  $J$  – magnitlanish;  $\mu_0$  – magnit doimiysi;  $Gnlm$ .

Magnit oqimi  $\Phi = BS$  ifoda bilan aniqlanadi.

Magnit materiallarining xususiyatlari, asosan, *magnitlanish egri chizig'i* va *gistererezis sirmog'i* bilan tavsiflanadi. Bu ikki tavsif *statik* va *dinamik xarakteristikalar*ga bo'linadi. Statik xarakteristikalar o'zgarmas magnit maydonini tahlil qilishda, *dinamik xarakteristikalardan* esa vaqt bo'yicha o'zgaruvchan magnit maydonlarni tahlil qilishda foydalaniladi.

Magnit kattaliklarni o'lchash uchun yaratilgan vositalar asosida magnit kattalik yoki parametrni unga proporsional bo'lgan elektr kattalikka o'zgartirish hodisasi yotadi. Magnit kattaliklarini o'lchash vositalarining ishlashi, o'lchash usuli, qo'llanish shartlari xilma-xildir.

#### 3.5.1. Magnit oqimini o'lchash

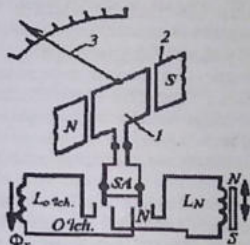
O'zgarmas magnit maydonida magnit oqimini o'lchash elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan. Unga ko'ra:

$$e = -w \frac{d\Phi_x}{dt}$$

bo'ldi.

Binobarin, magnit oqimi  $\Phi_x = \frac{1}{w} \int edt$  ifodadan topiladi. Bu yerda:  $w$  – o'ramlar soni;  $\Phi_x$  – magnit oqimi.

Oxirgi ifodadan ko'rinib turibdiki, magnit oqimni o'lchaydigan asbob integrallovchi bo'lishi kerak. Ushbu maqsadda *ballistik galvanometrlardan foydalanilganda, har bir o'lchash oldidan o'lchash zanjirlarining parametrlarini aniqlash lozim bo'ladi.* Shuning uchun ko'pincha **vebermetr** deb ataluvchi magnitoelektrik qurilmadan foydalaniladi (3.40 - rasm).



3.40 – rasm. Vebermetr sxemasi

Bu asbob ballistik galvanometrdan teskari ta'sir etuvchi moment hosil qiluvchi momentsiz simlari mavjudligi bilan farq qiladi.

Asbobning o'lchash ramkasi zanjirga *uzgich-ulagich (SA)* orqali ulanadi. Noma'lum magnit oqim ( $\Phi_x$ ) ni o'lchash uchun SA o'lchash (o'lch.) holatiga o'tkaziladi. Agar shu vaqtda o'lchash g'altakdagi magnit oqimining ilashishi o'zgarsa, masalan, g'altakning *doimiy magnit (2)* maydonida siljish natijasida, u holda ramkadan o'tayotgan tok o'zgaradi

va aylantiruvchi moment ta'sirida magnit oqim  $\Delta\Phi_x$  ga proporsional ravishda ramka 1 ma'lum burchakka buriladi. Agar o'lchashdagi magnit oqimining ilashishi o'zgarmasa, u holda ramka ixtiyoriy bir holatda bo'ladi. Ramka *ko'rsatkich (3)* ni nolga keltirib turishi uchun SA nazorat (N) holatiga o'tkaziladi. Demak, N doimiy magnit holatini o'zgartirish hisobiga ramkada e.yu.k. ta'sirida tok hosil bo'ladi va natijada ramka ko'rsatkichi kerakli holatga buriladi.

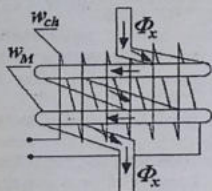
Ushbu vebermetrning **kamchiligi** uning sezgirligining pastligidir. Sezgirlikni oshirish uchun *optoelektron kuchaytirgichlar* qo'llaniladi. Ishlab chiqarilayotgan vebermetrlarning *asosiy xatoligi*  $\pm 1,5\%$  gacha.

*O'zgaruvchan magnit oqimini o'lchash.* O'zgaruvchan magnit oqimi, odatda, voltmeter yordamida o'lchanadi. Agar o'lchash g'altagi o'zgaruvchan magnit maydoniga joylashtirilsa, unda  $E = 4,44 f k_{sh} w \Phi_m$  e.yu.k. hosil bo'ladi, bu yerda:  $k_{sh}$  – magnit oqim egri chizig'ining shakl koeffitsiyenti;  $f$  – oqim chastotasi;  $w$  – o'lchash g'altagining o'ramlari soni. Shunday qilib, o'lchangan e.yu.k. va ma'lum chastota orqali magnit oqimining qiymatini hisoblash mumkin:

$$\Phi_m = E / (4,44 k_{sh} f w)$$

O'lchash g'altagi yordamida magnit oqimini o'lchash usuli sodda bo'lsa-da, aniqligi past. Aniqlikni oshirish hamda oqimning ma'lum vaqt oralig'ida o'zgarish qonuniyatini o'rganishda elektron nurli ossillograflar qo'llaniladi.

Nisbatan kichik qiymatli o'zgaruvchan magnit oqimini o'lchash sezgirligini oshirish maqsadida (Toshkent irrigatsiya va melioratsiya instituti hamda Toshkent temir yo'l muhandislari institutida prof. Amirov S.F. va aspirant Shoyimov Y.Yu. tomonidan yaratilgan) o'lchash g'altagining yangi konstruksiyasi (3.41 -rasm). Unga ko'ra o'lchash chulg'ami o'ralgan o'zak ko'p o'rqli magnit o'tkazgich ko'rinishida yasalgan. Bunda o'lchash



3.41 – rasm. Ko'p o'rqli o'zak ko'rinishidagi o'lchash g'altagining konstruksiyasi katta, ya'ni nisbatan yuqori sezgirlikka ega bo'ladi.

chulg'amida  $\Phi_x$  magnit oqimidan hosil bo'lgan EYuK quyidagicha aniqlanadi:

$$E = 4,44 f k_{Sh} w_{ch} w_m \Phi_{xm},$$

bu yerda  $w_{ch}$ ,  $w_m$  - mos ravishda o'lchash chulg'ami va ko'p o'rqli magnit o'tkazgich o'rmlarining soni.

So'nggi ifodadan ko'rinib turibdiki, o'lchash chulg'ami o'ralgan o'zak ko'p o'rqli magnit o'tkazgich shaklida yasalganda chiqish signali o'zak sterjen shaklida yasalgan magnit oqimi o'lchagichi chiqish signalidan  $w_m$  marta

### 3.5.2. Magnit kuchlanganligi va magnit induksiyasini o'lchash

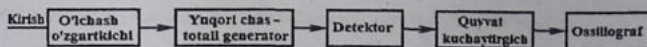
*Bir jinsli magnit maydon kuchlanganligi va maydon induksiyasini ballistik galvanometr yoki vebermetr yordamida o'lchash mumkin.*

Zamonaviy teslametrlar Xoll o'zgartkichi yordamida maydon kattaligini unga proporsional bo'lgan elektr kattalikka aylantiradi va u kompensator yordamida o'lchanadi. Kompensator o'lchashning yuqori aniqligini ta'minlaydi.

O'zgarmas magnit maydon kattaliklarini o'lchashda kompensator o'miga har xil tashqi ta'sirlarni kamaytirish maqsadida magnitoelektr asbob ishlatiladi. Yuqori aniqlikni ta'minlash maqsadida sezgir qismi (Xoll o'zgartkichi) harorati bo'yicha mo'tadil yarim o'tkazgichli materiallardan tayyorlanadi.

O'zgarmas magnit maydoni induksiyasini o'lchash uchun yadro magnit rezonansli (YaMR) asboblari ishlab chiqarilgan. Yadro magnit rezonans hodisasiga ko'ra, o'zgarmas magnit maydoniga modda kiritilsa, uning magnit  $M_m$  va harakat  $M_h$  miqdori niomentlariga ega bo'lgan yadrolari maydon kuchlanganligi vektori atrofida  $f = (M_m / M_h) N$  chastota bilan tebrana boshlaydi. Agar bu tizimga chastotasi o'zgaradigan maydon ta'sir etirilsa va yadroning tebranish chastotasi maydon chastotasi bilan mos tushsa, u holda

yadroning tebranish amplitudasi keskin oshadi. Bu hodisadan chastotani, u orqali maydon kuchlanganligini o'lchashda foydalanish mumkin. YaMR li teslametning funksional sxemasi 3.42 - rasmda keltirilgan.



3.42 - rasm. Yadro magnit rezonansli teslametning funksional sxemasi.

**O'lchash o'zgartkichi** induktiv g'altakdan tashkil topgan bo'lib, ichiga tekshiriladigan material namunasi joylashtiriladi. Bu namuna bir vaqtning o'zida yuqori chastotali generator konturining qismi hisoblanadi. *Detektor* yordamida generatoridan chiqayotgan signaldan uning quyi chastotali tashkil etuvchisi ajratiladi. Quyi chastotali signal *kuchaytirgich* yordamida kuchaytiriladi va *ossillografning* vertikal og'ish elektrodlariga uzatiladi. Generator signal chastotasini o'zgartirib, *YaMR* sig'a erishiladi va tadqiq qilinayotgan maydonning induksiyasi quyidagicha topiladi:

$$B_n = C_n f$$

bu yerda:  $C_n$  - o'zgartkich doimiysi;  $f$  - generator chastotasi.

*YaMR* li asboblarda materiallar magnit xususiyatlarini o'rganish va magnit maydon induksiyasi hamda kuchlanganligini o'lchash uchun ishlatiladi. 0,1% xatolikka hamda 0,03 Tl dan 8,5 Tl gacha o'lchash doirasiga ega.

### 3.5.3. Ferromagnit materiallar asosiy xarakteristikalarini aniqlash

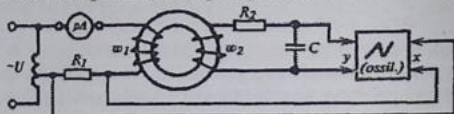
Turli materiallarni o'zaro taqqoslash va ularning xususiyatlarini o'rganish uchun *statik* va *dinamik xarakteristikalaridan* foydalaniladi. Asosiy statik xarakteristikalar magnitlanish egri chizig'i va chegaraviy gisterezis sirtmog'i kiradi. Magnitlanish egri chizig'i turli qiymatlardagi toklaridan xususiy gisterezis sirtmoqlari uchlarining to'plami bo'lib, undan materiallarning *magnit singdiruvchanligini* aniqlash mumkin.

Magnit materiallar sinusoidal qonun bilan o'zgarayotgan tok hosil qilgan magnit maydoniga joylashtirilsa, materialdagi maydon induksiyasi va kuchlanganligining vaqt bo'yicha o'zgarishi sinusoidal bo'lmaydi. Bunga materialning magnit induksiyasi va kuchlanganlik orasidagi nochiyiq bog'lanish sabab bo'ladi hamda maydon induksiya va *kuchlanganlikning amplituda* qiymatlari bilan xarakterlanadi. Shuning uchun bunday hollarda  $B_m = f_1(H_m)$  bog'lanish *dinamik magnitlanish egri chizig'i deb* ataladi. Induksiya va kuchlanganlikning *oniq qiymatlari orasidagi bog'lanish, ya'ni*  $B_i = f_2(H_i)$ , *dinamik gisterezis sirtmog'i deb* ataladi.

Materiallarning statik magnit xarakteristikalarini *Xoll effekti* va *yadro magnit rezonans hodisasiga* asoslangan asboblardan yordamida olish mumkin.

*Dinamik gisterzis sirtmog'ini* elektron nurli ossilloqraf yordamida kuzatish mumkin.

Ossilloqrafning vertikal og'ish kirish qismalariga integrallovchi ( $R_2C$ ) zanjirdan kuchlanish beriladi, gorizontall og'ish qismasiga esa magnitlovchi tokka proporsional bo'lgan rezistor ( $R_1$ ) dagi kuchlanish beriladi (3.43 - rasm).



3.43 - rasm. Dinamik gisterzis sirtmog'ini elektron nurli ossilloqraf yordamida kuzatish sxemasi

$R_2 \gg \omega L_2$  bo'lganligi uchun

$$i_2 = \frac{e_2}{R_2}$$

deyish mumkin. Agar o'lchash g'altagidagi e.yu.k.

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = -w_2 s \frac{dB_1}{dt} \text{ bo'lsa,}$$

unda tok:

$$i_2 = \frac{w_2 s}{R_2} \frac{dB_1}{dt}$$

$R_2 \gg x_C$  shart bajarilganda,  $U_C$  kuchlanish materialdagi induksiyaning o'zgarishiga proporsional bo'ladi:

$$U_C = \frac{1}{C} \int i_2 dt = \frac{w_2 s}{CR_2} \int \frac{dB_1}{dt} dt = \frac{w_2 s}{CR_2} B_1$$

Shunday qilib, ossilloqraf (*ossil.*) ekranidagi egri chiziq materialdagi magnit kuchlanganlik va induksiyaning kuchlanishning bir davr mobaynidagi o'zgarishini aks ettiradi. Ekrandan induksiya va kuchlanganlik qiymatlarini aniqlash uchun ossilloqraf avval darajalanadi, ya'ni graduirovkalanadi. Buning uchun uning kirish qismalariga qiymati ma'lum bo'lgan kuchlanishlar beriladi. Bu kuchlanishlar asosida ossilloqraf gorizontall va vertikal kanallarining masshtablari aniqlanadi:

$$m_{gor} = \frac{2\sqrt{2}U}{A_{gor}} ; \quad m_{ver} = \frac{2\sqrt{2}U}{A_{ver}}$$

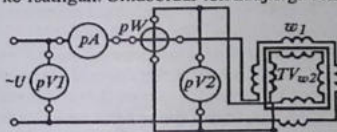
bu yerda:  $A_{gor}$  va  $A_{ver}$  – gorizontaal va vertikal kanal uchun kirish kuchlanish amplitudasining ikkilangan qiymati;  $m_{gor}$  va  $m_{ver}$  – gorizontaal hamda vertikal kanallar masshtablari.

### 3.5.4. Ferromagnit materiallardagi quvvat isrofini aniqlash

Elektrotexnik qurilmalarning g'altak o'ralgan magnit materiallari qayta magnitlanganda, ulardagi quvvat isroflari uyurmaviy toklar va gisterezis sirtmog'i isroflaridan tashkil topadi.

Ularni aniqlash uchun quyidagi tajriba o'tkaziladi. Isroflarni o'lchash kerak bo'lgan elektrotexnik po'lat varaq(plastina)lardan berk kvadratsimon magnit o'tkazgich yasaladi. O'tkazgichga to'rtta bir xil g'altakdan iborat ikkita chulg'am  $w_1$  va  $w_2$  o'rnatiladi.

Hosil bo'lgan transformator (TV) chulg'amlarining ulanishi 3.44- rasmda ko'rsatilgan. Sinusoidal tok zanjiriga ulanganda vattmetrning ko'rsatishi



3.44 – rasm. Ferromagnit materiallardagi quvvat isrofini aniqlash sxemasi

*g'altak uzilgandagi salt ishlash isroflariga teng bo'ladi. Binobarin:*

$$P_{s.ish} = E_{s.ish} I_{s.ish} \cos \varphi_{s.ish}$$

Bu yerda:  $E_{s.ish}$  –  $w_1$  g'altakdagi e.y.u.k;  $I_{s.ish}$  – salt ishlashdagi tok;  $\varphi_{s.ish}$  –  $E_{s.ish}$  va  $I_{s.ish}$  vektorlar orasidagi faza siljish burchagi.

*Vattmetr materialdagi uyurmaviy toklar va gisterezis isroflariga hamda g'altakdagi va o'lchov asboblardagi isroflarga teng bo'lgan quvvatni ko'rsatadi.*

Agar o'ramlari teng bo'lgan ( $w_1 = w_2$ ) g'altaklardan foydalanilsa, u holda materialdagi isroflar quyidagicha hisoblanadi:

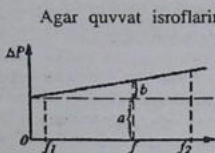
$$P_M = P_{pW} - U^2 \left( \frac{1}{R_{pV}} + \frac{1}{R_{pW}} \right)$$

bu yerda:  $U$  – voltmetrning ko'rsatishi;  $R_{pV}$  va  $R_{pW}$  – voltmetr hamda vattmetrning ichki qarshiligi.

$$P_{pW} = U_2 I_1 \cos \varphi$$

bu yerda:  $I_1$  –  $w_1$  g'altakdagi tok;  $U_2$  – g'altakdagi kuchlanish;  $\varphi$  – kuchlanish va tok orasidagi faza siljish burchagi.

*Uyurmaviy toklar va gisterezisga ketgan isroflar  $w_2$*



3.45 – rasm. Quvvat isroflarini ajratish uchun  $a$  va  $b$  koeffitsiyentlarni grafikdan aniqlash

o'lbashlar bajariladi, keyin esa 3.45 - rasmdagi grafik quriladi,  $a$  va  $b$  koeffitsiyentlar grafikdan olinib, ular asosida gisterezis va uyurmaviy toklar isroflari aniqlanadi.

Agar quvvat isroflarini alohida-alohida aniqlash lozim bo'lsa, ularning chastotaga bog'liqligidan foydalaniladi: *gisterezis isroflari chastotaning birinchi darajasiga, uyurmaviy toklar esa chastotaning kvadratiga proporsional bo'ladi*, ya'ni:

$$P_M = af + bf^2$$

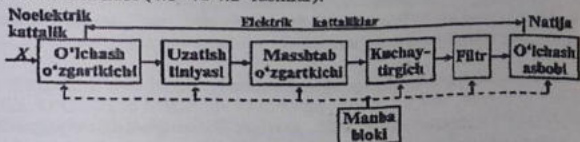
Quvvat isroflarini ajratish uchun ikkita turli  $f_1$  va  $f_2$  chastotalarda

## IV bob. NOELEKTRIK KATTALIKLARNI O'LCHASH

### 4.1. Umumiy ma'lumotlar

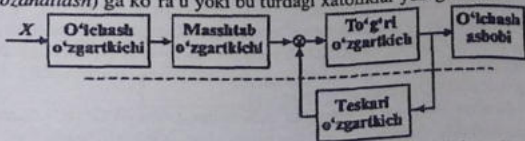
Texnologik jarayonlarni nazorat qilish, ularni sozlash va boshqarish, shuningdek, mashina va agregatlarning parametrlarini tadqiq qilish, ayniqsa, qishloq xo'jaligi, chorvachilik va parrandachilik mahsulotlarini yetishtirish, saqlash, qayta ishlash texnologik jarayonlarida, gidromeliiorativ tizimlarni avtomatlashtirishda ko'pgina noelektrik kattaliklarni yuqori aniqlikda o'lchash talab qilinadi. Bu kattaliklarga *mexanik siljish, tezlik, kuch, tezlanish, deformatsiya, suv va suyuqliklar sathi hamda sarfi, bosim, harorat, namlik, mahsulotlarning sifat ko'rsatkichlari* va boshqa yuzdan ortiq parametrlar kiradi. Bu kattaliklarni uzoq masofadan turib kam xatoliklar bilan o'lchash va uzatish katta afzalliklarga ega bo'lgan elektr usullar hamda elektr o'lchash vositalari yordamida bajariladi.

Noelektrik kattaliklarni o'lchashda qo'llaniladigan vositalar xilma-xil bo'lishiga qaramay, o'lchash usuli va vositalarining umumiy xususiyatlari ham mavjud. Umumiylik shundan iboratki, o'lchanayotgan har qanday noelektrik kattalik avval unga proporsional bo'lgan elektr (tok, kuchlanish, qarshilik, chastota va boshqalar) kattaligiga aylantiriladi, keyin esa elektr o'lchash asbobi yordamida o'lchanadi (4.1- va 4.2- rasmlar).



4.1- rasm. Noelektrik kattaliklarni o'lchash zanjirining umumlashgan sxemasi.

Noelektrik kattaliklarni o'lchashda ishlatiladigan o'zgartkichlarga qo'yiladigan asosiy talab o'lchash ma'lumotining aniqligi va jarayonni to'g'ri aks ettirishdir. O'lchanayotgan kattalikni o'zgartirish usuli (*bevosita, bilvosita yoki muvozanatlash*) ga ko'ra u yoki bu turdagi xatoliklar yuzaga keladi.



4.2- rasm. Muvozanatlashgan usulga asoslangan noelektrik kattalikni o'lchashning umumlashgan sxemasi.

## 4.2. O'lchash o'zgartkichlarining asosiy metrologik xarakteristikalari

*Ma'lum fizik qonunlar asosida ishlovchi va birorta o'lchash o'zgartirishini bajaruvchi texnik qurilma o'lchash o'zgartkichi deb ataladi.*

Demak, o'lchash o'zgartkichi bir fizik kattalikni u bilan funksional bog'langan boshqa bir fizik kattalik orqali aks ettiradi.

Tuzilishi va ishlash asosiga ko'ra, o'lchash o'zgartkich (*O'O'*) lari xilma-xil bo'lsa-da, ular *o'zgartirish funksiyasi, darajalash (graduirovka) xarakteristikasi, xatoligi, o'lchash doirasi* kabi umumiy xarakteristikalar bilan xarakterlanadi.

ГОСТ 8009-84 ga ko'ra, o'zgartirish funksiyasi – *O'O'* chiqish signali informativ parametrlarining kirish signali informativ parametri bilan funksional bog'liqligi *analitik, jadval va grafik ko'rinishida ifodalanadi.*

*Darajalash natijasida olingan chiqish va kirish qiymatlarining o'zaro bog'liqligi O'O'ning darajalash xarakteristikasi deyiladi.* U formula, jadval va grafik ko'rinishlarida berilishi mumkin.

*O'O'ning xatoligi* haqiqiy va nominal (o'lchangan) o'zgartirish funksiyalari orasidagi farq bo'lib, o'lchash vositalari xatoliklari singari topiladi.

*O'O'ning o'lchash doirasi* deb, o'lchash xatoligi normallashtirilgan o'lchash kattaligining qiymatlar sohasiga aytiladi.

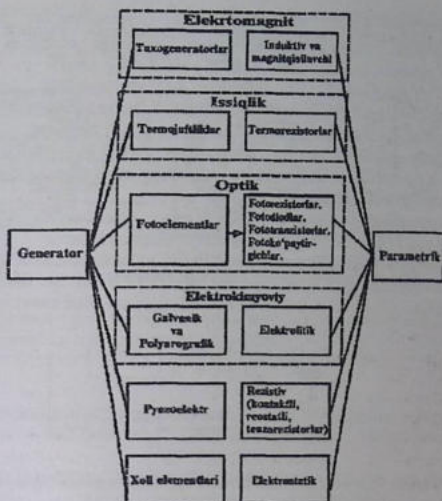
*O'O'ning* yuqorida keltirilgan xarakteristikalaridan tashqari parametrlarining mo'tadilligi, ishonchligi, massasi, narxi, tashqi o'lchamlari va boshqa parametrlari ham o'rganiladi.

## 4.3. O'lchash o'zgartkichlarining klassifikatsiyasi

*O'O' vazifasi va ishlash usosiga ko'ra* klassifikatsiyalanadi. Ular vazifasiga ko'ra *mexanik, gidravlik, issiqlik, kimyoviy, biologik, pnevmatik* va boshqa kattaliklar *O'O'ga bo'linadi.* Ishlash prinsipiga ko'ra esa generator va parametrik *O'O'* larga bo'linadi. Generator *O'O'* da o'lchanayotgan noelektrik kattalik unga proporsional bo'lgan e.yu.k. yoki tokka o'zgartiriladi.

Ularga *elektromagnit, induksion, termoelektrik (termojuftliklar) pyeoelektrik va galvanomagnit O'O'* kiradi. Parametrik *O'O'* da o'lchanayotgan kattalik qarshilik, induktivlik, o'zaro induktivlik va sig'im kabi elektr zanjirining parametrlariga o'zgartiriladi. Ularga *elektromagnit (induksion, transformator va magnit qisiluvchi), termorezistor, optoelektrik (fotoresistorlar, fotodiodlar va fototranzistorlar), elektrokimyoviy (elektrolitik), rezistiv va elektrostatik O'O'* kiradi (4.3- rasm).

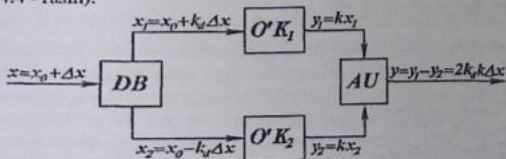
Bundan tashqari, o'zgartirish prinsipiga ko'ra *O'O'* *to'g'ridan - to'g'ri* o'zgartiruvchi, differensial va kompensatsion o'lchash usullariga asoslangan *O'O'* larga bo'linadi.



4.3- rasm. O'lchash o'zgartkichlarining klassifikatsiyasi

To'g'ridan - to'g'ri o'zgartiruvchi O'O' lar ketma-ket ulangan noelektrik kattalik O'O' va o'lchash mexanizmidan iborat bo'ladi. Masalan, issiqlikni o'lchashga mo'ljallangan O'O' termojuftlik va shkalasi harorat bo'yicha darajalangan magnitoelektrik millivoltmetrdan iborat bo'ladi.

Diffirensial o'lchash usuliga asoslangan O'O' larida o'zgartgich ikkita chiqish qismlariga ega bo'lgan differensial bo'g'in (DB), ikkita o'zgartirish kanali (O'K<sub>1</sub> va O'K<sub>2</sub>) va signallarni ayirish qurilmasi (AQ) dan tashkil topgan bo'ladi (4.4 - rasm).

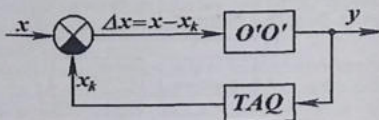


4.4 - rasm. Diffirensial o'lchash usuliga asoslangan O'O' sxemasi

O'lchanayotgan kattalik  $x$  boshlang'ich  $x_0$  qiymatidan  $\Delta x$  ga o'zgaranda DB ning chiqish kattaliklari boshlang'ich qiymatiga nisbatan turli ishorali qiymatga o'zgaradi hamda ular  $O'K_1$  va  $O'K_2$  orqali  $y_1$  va  $y_2$  elektr kattaliklarga o'zgartiriladi. Bu signallar AQ da ayirilib, o'lchanayotgan kattalikka proporsional bo'lgan natija o'lchash mexanizmiga yoki boshqaruv tizimiga uzatiladi (rasmda ko'rsatilmagan).

Diffirensial o'lchash usuliga asoslangan  $O'O'$  lari additiv xatoligining kichikligi, o'zgartirish funksiyasining nisbatan chiziqiligi va sezgirligining yuqoriligi kabi afzalliklarga ega.

Kompensatsion o'lchash usullariga asoslangan  $O'O'$  larida o'lchanayotgan kattalikning qiymati o'zgartgichning teskari aloqa qurilmasi (TAQ) da hosil qilingan kattalik bilan to'la muvozanatlashgunga qadar o'zgartirilib boriladi (4.5 - rasm). Bu tur  $O'O'$  larini qo'llanilishi o'lchash aniqligi oshiradi va o'lchash jarayonidagi energiya isrofini kamaytiradi.



4.5 - rasm. Kompensatsion o'lchash usullariga asoslangan  $O'O'$  sxemasi

#### 4.4. Elektromagnit o'lchash o'zgartkichlari

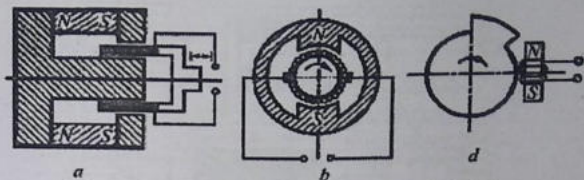
Elektromagnit o'lchash o'zgartkichlarida o'lchanayotgan noelektrik kattaliklar materialning magnit xossalari hisobiga unga proporsional bo'lgan elektrik kattalik (e.yu.k. yoki tok) ka va  $R, L, C, M$  parametrlariga aylantiriladi. Qo'llaniladigan elektromagnit o'lchash o'zgartkichlaridan induksion, induktiv, transformator va magnit qisiluvchi  $O'O'$  keng tarqalgan.

##### 4.4.1. Induksion o'zgartkichlar

Elektromagnit induksiya hodisasiga asoslanib, chiziqli yoki burchak tezligi ularga proporsional bo'lgan e.yu.k. yoki tokka aylantiriladi.

Induksion o'zgartkichlar qo'zg'almas magnit va qo'zg'aluvchan g'altak (4.6- a, b rasmlar) yoki qo'zg'aluvchan magnit va qo'zg'almas g'altakli ko'rinishida (4.6- d rasm) yasalishi mumkin. Bu qurilmalar ko'pincha *taxogeneratorlar* deb ataladi. Ularning o'zgartirish funksiyasi (statik xarakteristikasi) deb, chiqish kuchlanishi ( $U$ ) yakorning aylanish tezligi ( $\omega$ ) ga

bog'liqligiga aytiladi:  $U = k\omega$ , bu yerda:  $k$  – taxogenerator doimiysi. Real ish sharoitlarida chiqish kuchlanishi qiymatiga yakor reaksiyasi va kontakt qarshiligi o'z ta'sirini ko'rsatadi.



4.6 - rasm. Induksion o'zgartkichlar konstruksiyalari.

Shuning uchun ham taxogeneratorlarning statik xarakteristikasi nochiziq bo'ladi. O'zgaruvchan tok taxogeneratorlarida:

$$E = k\Phi \frac{pn}{60}$$

bu yerda:  $k$  – elektromagnit koeffitsiyenti;  $\Phi$  – magnit oqimi;  $p$  – statorning juft qutblar soni;  $n$  – rotorning aylanish chastotasi, ya'ni o'zgartkichning kirish kattaligidir.

**Afzalligi:** tulishi codda, chiqish quvvati katta, sezgirliги yuqori.

**Kamchiligi:** xarakteristikaning nochiziqiligi, zamonaviy taxogeneratorlarda xatoliklari 0,2 – 0,5 foizgacha.

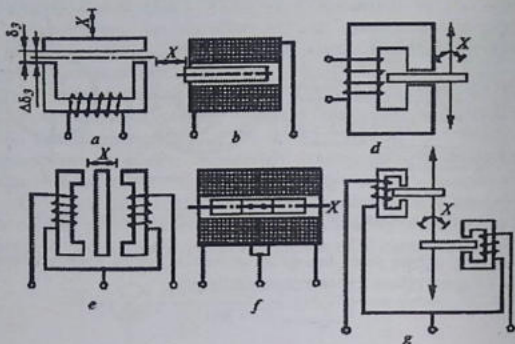
#### 4.4.2. Induktiv o'zgartkichlar

Induktiv o'zgartkichlarning ishlashi o'lchanayotgan noelektrik kattalikni unga proporsional bo'lgan induktivlikka aylantirishga asoslangan. Bunda o'zgartkichning chiqish induktivligi:

$$L = w^2 \mu_0 \frac{S_\mu}{l_\mu}$$

Ifodaga muvofiq o'ranlar soni, havo oralig'ining aktiv yuzi ( $S_\mu$ ) yoki uzunligi ( $l_\mu$ ) o'zgarishi mumkin.  $w=f(x)$  va  $l_\mu = f(x)$  o'zgaranda statik xarakteristika asosan nochiziq,  $S_\mu = f(x)$  da chiziqli ko'rinishda bo'ladi. Induktiv o'zgartkichlar qo'zg'aluvchan qismining turiga ko'ra qo'zg'aluvchan magnit o'tkazgichli (4.7 - a va e rasm qo'zg'aluvchan ferromagnit o'zakli), qo'zg'aluvchan chulg'amli (4.7 - b, f rasm) va elektromagnit ekran(to'siq)lilarga (4.5- d hamda g rasm) bo'linadi. Statik xarakteristika

nohiziqiligini kamaytirish maqsadida differensial sxemali induktiv o'zgartkichlar yaratilgan (4.7 - e, f, g rasm).



4.7 - rasm. Induktiv o'zgartkichlar konstruksiyalari.

Induktiv O'O' mashinasozlik, transport va agrosanoat ishlab chiqarishida chiziqli va burchak siljish, tezlik va tezlanishlarni o'lchashda keng qo'llaniladi.

**Masala.** Sanoat chastotasi 50 Gs, kuchlanishi 220 V li manbaga ulangan induktiv o'zgartkichning induktiv, aktiv va to'la qarshiliklarini aniqlang. Bunda tok 0,1 A, quvvat 40 Vr.

**Yechish.** Induktiv o'zgartkichning to'la qarshiligi:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,1} = 2200 \text{ Om}$$

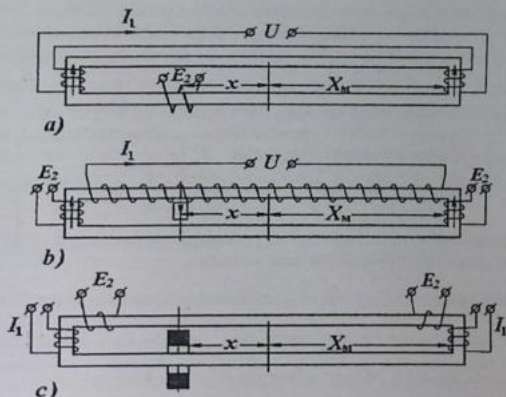
G'altakning aktiv qarshiligi:

$$r = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{40} = 1210 \text{ Om}$$

Induktiv qarshilik:  $x_L = \sqrt{Z^2 - r^2} = \sqrt{2200^2 - 1210^2} = 1837,36 \text{ Om}$

#### 4.4.3. Transformatorli o'zgartkichlar

Transformatorli o'zgartkich tarkibida qo'zg'aluvchan qism bo'lgan transformator bo'lib, uning o'zaro induktivligi g'o'zg'aluvchan qismning koordinatasiga bog'liq bo'ladi, ya'ni  $M = f(x)$ . Transformatorli uzgartkichlar xuddi induktiv o'zgartkichlar singari qo'zg'aluvchan magnit o'zakli, chulg'amli va elektromagnit ekranli turlarga bo'linadi (4.8 - rasm, a, b va c)



4.8 - rasm. Transformatorli uzgartkichlar konstruksiyalari

"Elektrotexnikaning nazariy asoslari" kursidan bizga ma'lumki, o'zaro induktiv bog'langan ikkita chulg'am orasidagi o'zaro induktivlik quyidagicha aniqlanadi:

$$M = w_2 \frac{\Phi_2}{I_1},$$

bu yerda  $w_2$  - ikkinchi chulg'amdagi o'ramlar soni,  $I_1$  - birinchi chulg'amdagi tok,  $\Phi_2$  - birinchi chulg'am tokidan hosil bo'lgan magnet oqimining ikkinchi chulg'am bilan ilashgan qismi.

Qo'zg'aluvchan chulg'amli transformatorli o'zgartkich o'zgartirish funksiyasi (magnet o'tkazgich magnet singdiruvchanligi  $\mu = \infty$  va sochilgan magnet oqimlari  $\Phi_S = 0$  bo'lganda) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\underline{E}_2 = -j\omega w_1 w_2 L_1 g x,$$

bu yerda  $g = \mu_0 \frac{b}{\delta}$  - o'zaro parallel joylashgan ikkita magnet o'tkazgich orasidagi havo oralig'I magnet o'tkazuvchanligining qo'zg'aluvchan qism koordinatasi  $x$  bo'yicha solishtirma qiymati,  $\delta$  - havo oralig'ining magnet oqimi yo'lidagi uzunligi,  $b$  - magnet o'tkazgich eni.

Qo'zg'aluvchan magnet o'zakli transformatorli o'zgartkich o'zgartirish funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\underline{E}_2 = -2j\omega w_1 L_1 w_0 G_{\mu\delta} x,$$

bunda  $w_0$  - magnit o'tkazgichga tekis taqsimlab o'ralgan o'lchash chulg'ami o'ramlar sonining solishtirma qiymati;  $G_{\mu\delta}$  - magnit o'tkazgich va qo'zg'aluvchan magnit o'zak orasidagi havo oralig'ining magnit o'tkazuvchanligi.

Qo'zg'aluvchan ekranli transformatorli o'zgartkichning o'zgartirish funksiyasi ekraning magnit qarshiligi  $R_{\mu\epsilon} = \infty$  (mis xalqaning elektr o'tkazuvchanligi  $G_e = \infty$ ) bo'lganda quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

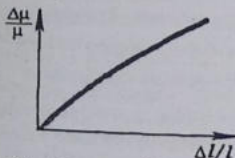
$$\underline{E}_2 = -j2w_1 w_2 L_1 g x.$$

**Afzalliklari:** chiqish quvvatining kattaligi, ishlashda ishonchligi, turli ishlatish sharoitlarida parametrlarining stabiligi.

**Kamchiliklari:** tashqi magnit maydonning ish holatiga ta'siri sezilarliligi, massa va gabarit o'lchamlarining kattaligi.

#### 4.4.4. Magnit qisiluvchi o'lchash o'zgartkichlari

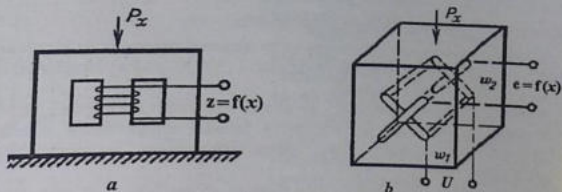
Bunday o'zgartkichlarda mexanik ta'sir (cho'zilish, qisilish) natijasida magnit o'tkazuvchi materialning magnit singdiruvchanligi ( $\mu$ ) o'z qiymatini (magnit elastik effekt) o'zgartiradi va zanjir induksionligi  $L = W^2 \mu \mu_0 S / l_{\mu}$  ifodaga ko'ra o'zgaradi. Magnit elastik effekt ikkita ko'rinishda bo'ladi: ayrim materiallarda mexanik kuchlanish ta'sirida magnit singdiruvchanlik ortsa, boshqalarida kamayishi mumkin. 4.9 - rasmda material magnit singdiruvchanligi o'zgarishining unga berilgan mexanik kuchlanish ta'siridagi nisbiy uzayishga bog'liqligi keltirilgan.



4.9 - rasm. material magnit singdiruvchanligi o'zgarishining unga berilgan mexanik kuchlanish ta'siridagi nisbiy uzayishga bog'liqligi

Magnit elastik o'zgartkichlarning konstruksiyalari xilma-xil. Ularni quyidagi ikkita asosiy guruhga ajratish mumkin: 1) mexanik kuchlanish ta'sirida materialning magnit singdiruvchanligi faqat bitta yo'nalish bo'ylab o'zgaradi; 2) mexanik kuchlanish ta'sirida materialning magnit singdiruvchanligi o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda o'zgaradi (4.10 - rasm, a). Birinchi guruh magnit elastik o'zgartkich magnit o'tkazgichi energiya isrofini kamaytirish maqsadida yupqa elektrotexnik tunukalardan yig'iladi. Magnit elastik sezgirlik maksimal qiymatga ega bo'lishi uchun magnit o'tkazgich to'yinishi sohasida ishlashi lozim bo'ladi.

Ikkita induktiv g'altagi o'zaro perpendikulyar joylashgan transformator asosida ishlaydigan magnit elastik o'zgartkichlarda (4.10 - rasm, b) g'altakning magnit oqimi o'zgaras bo'lib, u g'altakni kesib o'tganda unda EYuK hosil



4.10 - rasm. Magnit elastik o'zgartkichlarning konstruksiyalari

bo'lmaydi. Magnit o'tkazgichga mexanik kuchlanish berilganda uning magnit singdiruvchanligi o'zgarishi natijasida g'altak o'ramlarini kesib o'tayotgan magnit oqimi o'zgaradi va natijada unda mexanik kuchlanishga proporsional bo'lgan EYuK hosil bo'ladi. EYuK fazasining ishorasi yo'nalishiga bog'liq bo'ladi. Magnit qisiluvchi o'zgartkichlarning aniqliligiga materialning magnit gisterezisi,  $\mu = f(U_m)$  funksiyaning nochiziqiligi, materialning eskirishi va harorat ta'sir qiladi. Shuning uchun ham natijaviy xatolik 2% dan kam bo'lmaydi. Bu o'zgartkichlar bosimni, vibratsiyani, mexanik kuchlanishni va boshqa noelektrik kattaliklarni o'lchashda qo'llaniladi

#### 4.5. Issiqlik o'lchash o'zgartkichlari

Issiqlik O'O' ning ishlashi metall va yarim o'tkazgichlar xossalari haroratga bog'liqligiga asoslangan. Bu o'zgartkichlarda kirish kattaligining o'zgarishi issiqlik balansi tenglamasi  $Q_1 = Q_2 + Q_3$  ni o'zgarishiga olib keladi, bu yerda:  $Q_1$  - o'zgartkichlardagi issiqlik miqdori;  $Q_2$  - atrof-muhit bilan almashadigan issiqlik miqdori;  $Q_3$  - o'zgartkichda  $n$  tok ta'sirida ajraladigan issiqlik miqdori.

Atrof-muhit bilan almashadigan issiqlik miqdori o'zgaras bo'lsa, o'zgartkichlardagi issiqlik miqdori faqat chiqish parametri bo'lgan tokka bog'langan bo'ladi.

##### 4.5.1. Termojuftliklar

Bu o'zgartkichlarda ikkita har xil metall yoki yarim o'tkazgichlar birlashgan joyida harorat o'zgarishi natijasida e.yu.k. hosil bo'ladi.

E.yu.k. termojuftliklarning ulangan uchlari harorati  $T_1$  va ulanmagan uchlarning haroratlari  $T_2$  ayirmasiga bog'liq bo'ladi:

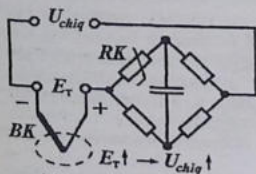
$$E = \alpha_r(T_1 - T_2),$$

bu yerda:  $\alpha_r$  – materiallarning harorat koeffitsiyenti.

Haroratning o'zgarish doirasiga ko'ra termojuftliklar mis va konstan-tandan ( $270^\circ\text{C}$  gacha), platinarodiy va platinadan ( $1300^\circ\text{C}$  gacha) hamda volfram va renydan ( $2500^\circ\text{C}$  gacha) yasaladi.

Termojuftliklarda xatoliklar asosan o'zgartirish funksiyasi nochiziqliqi, bo'sh qismlari haroratining o'zgarishi hamda xalaqit termo e.yu.k. hosil bo'lishi hisobiga yuzaga keladi. Termojuftliklarning inersiyasi bir necha daqiqaga yetadi.

Termojuftliklar o'zgartirish funksiyasini chiziqilash tirish maqsadida turli tuzatmalar kiritish(korreksiyalash) usullaridan foydalaniladi. Shulardan bittasi avtomatik tuzatish kiritish usulidir. Bunga misol tariqasida termojuftlik qismlaridagi harorat nomo'tadilligini ko'prik yordamida kompensatsiyalash sxemasi 4.11 - rasmda keltirilgan. Termojuftlik qismlarida haroratning



4.11 - rasm. Termojuftlik ulanish sxemasi

o'zgarishi natijasida uchta rezistor va bitta termorezistor RK (qarshiligi haroratga bog'liq bo'lgan rezistor) dan iborat bo'lgan o'zgarish tok ko'prigining muvozanati buziladi. Natijada ko'prik diagonalida paydo bo'lgan kuchlanish termojuftlik qismlarida haroratni o'zgarishi natijasida paydo bo'lgan termo EYuK ni kompensatsiyalaydi. Bu sxemaning samarasi uchala rezistor qarshiliklarining harorat o'zgarishiga qay darajada bog'liq

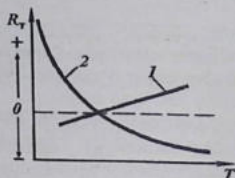
emas (invariant) ligi bilan belgilanadi.

#### 4.5.2. Termorezistorlar

Termorezistorlarning ishlash asosi tashqi harorat o'zgarishida tokli o'tkazgichlardagi elektronlarning issiqlikdan qo'zg'alishi natijasida ular elektr o'tkazuvchanligining o'zgarishiga asoslangan (4.12 - rasm). Yarim o'tkazgichlarda qarshilikning haroratga bog'liqligi asosan ulardagi aralashmalar hisobidan yuzaga keladi.

Termorezistor sifatida qo'llaniladigan materiallarga qo'yiladigan asosiy talablarga qarshilikning harorat koeffitsiyenti qiymatining mumkin qadar katta va mo'tadil bo'lishi, tashqi muhit ta'siriga chidamlilik, mexanik mustahkamlik va boshqa ba'zi bir xususiyatlar kiradi. So'nggi yillarda termorezistorlar

ko'pincha mis, nikel va platinadan yasalmogda. Misdan yasalgan termorezistorlarda yuqori darajada tozalangan elektrotexnik mis ishlatiladi. Bu termorezistorlarning o'zgarish funksiyasi haroratning  $-200^{\circ}\text{C}$  dan  $200^{\circ}\text{C}$  gacha bo'lgan doirasida qariyb, chiziqli ko'rinishda bo'ladi.



4.12 - rasm. Metall (1) va yarimo'tkazgich (2) termorezistorlarning haroratni o'zgartirish funksiyasi

Misdan yasalgan termorezistorlarning nominal qarshiligi  $10000\ \text{Om}$  dan oshmaydi. Ulardan o'tadigan tok esa  $10\text{--}15\ \text{mA}$  bo'ladi.

Platinali termorezistorlar  $1200^{\circ}\text{C}$  gacha haroratda ham oksidlanmaydi. Narxining qimmatligiga qaramay texnik xarakteristikalarining yaxshiligi sababli ular keng qo'llaniladi. Nikeldan yasalgan termorezistorlar  $250\text{--}300^{\circ}\text{C}$  gacha bo'lgan haroratlarda ishlay oladi.

Bu tur termorezistorlarning misli termorezistorlardan afzalligi - o'zgartirish funksiyasining keng o'lchash doirasida chiziqchiligi va qarshilik harorat koeffitsiyentining taxminan 5 barobar kattaligi.

Yarim o'tkazgichli termorezistorlar asosan germaniy va kremniydan, ayrim hollarda esa grafitdan yasaladi. Metall termorezistorlardan farqli ravishda ulara qarshilik harorat koeffitsiyenti katta va manfiy. Yarim o'tkazgich metallarda solishtirma elektr qarshilik qiymati nisbatan katta bo'lganligi sababli ular asosida qarshiligi katta, ammo o'lchamlari kichik bo'lgan termorezistorlar yasash mumkin.

Radioelektronika sanoatida manfiy va musbat harorat koeffitsiyenti -  $100^{\circ}\text{C}$  dan  $300^{\circ}\text{C}$  gacha harorat diapazonida foydalaniladigan termorezistorlar ishlab chiqariladi. Ularning volt-ampere xarakteristikasi 4.13- rasmda keltirilgan. Musbat harorat koeffitsiyentli termorezistorlar *pozistorlar* deb ataladi (4.13- b rasm). Ular asosan bariy titanatidan yasaladi. Pozistorlarning asosiy xususiyatlaridan biri - qarshiligining tor diapazonda o'zgarishi. Boshqa yana bir xususiyati VAXda to'g'ri chiziqqa yaqin bo'lgan qismning mavjudligi.



4.13 - rasm. Termorezistor (a) va pozistor (b) larning volt-ampere xarakteristikalari.

Pozistorlar nazorat va avtomatik rostlash tizimlarida harorat o'zgartkichlari (datchiklari) sifatida qo'llaniladi. Bunda termorezistorlardan iborat zanjirga harorat mo'tadilligini saqlab turuvchi (korreksiyalovchi) qo'shimcha elementlar ulanadi.

**Masala.** Platinaplatinarodiyli termojuftlik orqali 1000°C harorat o'lchanganda, ichki qarshiligi 100 Om li millivoltmetr ishlatilgan. Termojuftlik qarshiligi 20°C dan 1000°C gacha 3 Om dan 6 Om gacha o'zgargan. 1000°C haroratni o'lchashda hosil bo'lgan qo'shimcha nisbiy xatolikni aniqlang.

**Yechish.** Haroratni o'lchashning ekvivalent sxemasi bo'yicha 1000°C o'lchanganda, haqiqiy qarshilik  $100+3=103$  Om ga teng. Harorat o'zgargandan keyin zanjirning umumiy qarshiligi  $103+3=106$  Om ga teng bo'ldi.

Binobarin, haroratni o'lchashda hosil bo'lgan qo'shimcha nisbiy xatolik:

$$\delta_t = \frac{t_x - t_h}{t_h} 100\% = \frac{R_{t_x} - R_{t_h}}{R_{t_h}} 100\% = \frac{106 - 103}{103} 100\% = 2,91\%..$$

## 4.6. Optik o'zgartkichlar

### 4.6.1. Optik o'zgartkichlarning asosiy xarakteristikalari

Optik O'O' larning ishlash asosi fotoeffekt hodisasiga asoslangan. Bu hodisaga ko'ra elektromagnit nurlanish ta'sirida qattiq jismda yoki suyuqlikda erkin elektronlar hosil bo'ladi. Tashqi va ichki fotoeffekt mavjud. Ichki fotoeffektida nur oqimi ta'sirida kristall ichida zaryad tashuvchilarning qayta taqsimlanishi yuz beradi va ularning konsentratsiyasi o'zgaradi.

Tashqi fotoeffektida esa nur oqimi ta'sirida jism sirtida elektronlar emis-siyasi hodisasi ro'y beradi.

Optik o'zgartkichlar quyidagi xarakteristikalariga ega:

1. **Yorug'lik xarakteristikasi** (4.14 - rasm, a): o'zgartkich fototoki ( $I_f$ ) ning unga tusha-yotgan yorug'lik oqimi ( $\Phi_{y0}$ ) ga bog'liqligi, ya'ni  $I_f = f(\Phi_{y0})$ . Bu xarakteristika noxiziq ko'rinishiga ega.

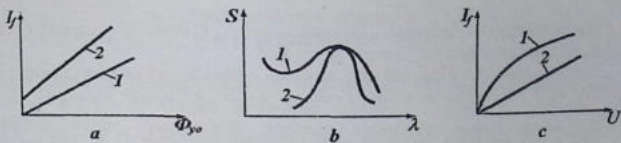
2. **Spektral xarakteristika** (4.14 - rasm, b): o'zgartkich nisbiy sezgirligi ( $S$ ) ni unga tushayotgan nurning to'lqin uzunligi ( $\lambda$ ) ga bog'liqligi, ya'ni  $S = f(\lambda)$ .

3. **Volt-ampere xarakteristikasi** (4.14 - rasm, c): fototokning o'zgartkichga berilgan kuchlanishiga bog'liqligi, ya'ni  $I_f = f(U)$ , bunda ( $\Phi_{y0} = const$ ).

4. **Harorat xarakteristikasi**: o'zgartkich qarshiligining atrof-muhit haroratiga bog'liqligi.

Optik o'zgartkichlar quyidagi asosiy parametrlar bilan tafsiflanadi:

1. *Sezgirlik*. 2. *O'zgartkichning nur tushmagan paytdagi qarshiligi*. 3. *Vaqt doimiysi*. 4. *Ishchi kuchlanish*.



4.14 – rasm. Optik o'zgartkichlar xarakteristikalarini

Fotoelementlarda tushayotgan yorug'lik ta'sirida foto e.yu.k. hosil bo'ladi. Foto e.yu.k. qiymati tushayotgan yorug'likning nafaqat miqdoriga, balki uning spektriga ham bog'liq. Konstruktiv jihatdan fotoelementlar vakuumli yoki yarim o'tkazgichli qurilma shaklida yasalanadi. Katod yorug'likka sezgir materiallardan tayyorlanadi.

**Kamchiliklari:** sezgirliги past, chiqish quvvati kam.

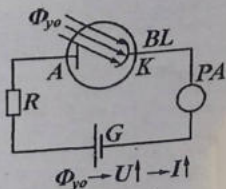
#### 4.6.2. Fotoko'paytirgichlar, fotorezistorlar, fotodiodlar, fototranzistorlar

**Fotoko'paytirgichlar.** Fotoelementdan olingan signalni kuchaytirish uchun fotoko'paytirgichdan foydalaniladi (4.15 - rasm). Unda asosiy katod K dan tashqari elektronning harakat yo'li bo'ylab qo'shimcha katodlar K1, K2, ... Kn joylashtiriladi va elektronlar ularning yuzasidan ham elektronlarni urib chiqaradi va signal miqdori keskin oshadi.

**Fotorezistorlarda** qarshilik yorug'lik nuri ta'sirida qiymatini o'zgartiradi. Konstruktiv jihatdan fotorezistor shisha plastinka yuzasiga yupqa qatlam ko'rinishida joylashtirilgan yarim o'tkazgichli materialdan iborat. Fotorezistorlarning ishlash asosi yarim o'tkazgichdagi zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini yorug'lik oqimi ta'sirida o'zgarishiga asoslangan. Ularning o'ziga xos xususiyati - elektr o'tkazuvchanligining bir tomonlamaligidir.

Fotorezistorning nur tushmagan paytidagi qarshiligi  $10^4$  dan  $10^8$  Om gacha, solishtirma sezgirliги esa  $3 \cdot 10^{-4}$  mKA/(lm·V) gacha bo'lishi mumkin. Yuqori sezgirliги va xizmat muddatining fotoelementlarga nisbatan uzoqligi fotorezistorlarning afzalliklari hisoblanadi. Kamchiliklari sifatida nur tushmagan paytdagi toki va reaksiya vaqti qiymatlarining kattaligi hamda atrof-muhit harorati o'zgarishiga sezgirliğini aytib o'tish mumkin.

**Afzalliklari:** yuqori sezgirliги va uzoq muddat ishlashi.

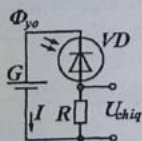


4.15 – rasm.  
Fotoko'paytirgichni zanjirga ulanish sxemasi

**Kamchilliklari:** inersiya nisbatan katta ( $10^{-2}$  C gacha). Uning parametrlariga tashqi muhit harorati ta'sir etadi.

**Fotodiodlarda** teskari tokning kattaligi yorug'lik oqimining energiyasiga bog'liq, ya'ni yorug'lik ta'sirida diodning teskari qarshiligi kamayadi (4.16 - rasm).

**p-n** o'tish zonasiga yorug'lik nurini tushishi bu zonadan **p** yoki **n** sohaga asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarni o'tib qolishiga sabab bo'ladi. Buning natijasida fotodiodning teskari yo'nalishdagi qarshiligi kamayadi, tok esa ortadi. Fotodiodlarni yasashda ko'pincha germaniy elementidan foydalaniladi. Spektral sezgirligining o'zgarish sohasi tor bo'lganligi sababli kremniy elementi kam qo'llaniladi.



$\Phi_{yo} \uparrow \rightarrow R_{fot} \rightarrow I \uparrow \rightarrow U_{chIQ} \uparrow$   
4.16 - rasm. Fotodiodni zanjirga ulanish sxemasi

Fotodiodlarda integral sezgirlik yuqori ( $10 \text{ mA/lm}$  gacha), reaksiya vaqti kichik ( $10^{-5}$  s) va xizmat muddati uzoq (5000 soatgacha). Shuning bilan birga ularning qarshiligi atrof muhit harorati o'zgarishiga o'ta sezgir.

**Afzalliklari:** katta integral sezgirligi ( $10 \text{ mA/lm}$  gacha), vaqt doimiysi kichik ( $10^{-3}$  C gacha), ishlash muddati uzoq (5000 soatgacha), gabarit o'lchamlari kichik.

**Kamchiligi:** fotodiod qarshiligi atrof-muhit haroratiga bog'liq.

**Fototranzistorlarda** teskari yo'nalishda ulangan **p-n-p** yoki **n-p-n** o'tishning kuchaytirish xossasidan foydalaniladi. Bunda fototranzistorlar-ning kollektor toki yoritilganlikka bog'liq bo'ladi. Fototranzistorlarning kuchaytirish koeffitsiyenti 20 va undan ortiq, sezgirliligi esa fotodiod sezgirligidan taxminan baza toki emitter tokiga nisbaticha ortiq bo'ladi. Fototranzistorlarning ulanish sxemasi oddiy tranzistorlarning ulanish sxemasiga o'xshash.

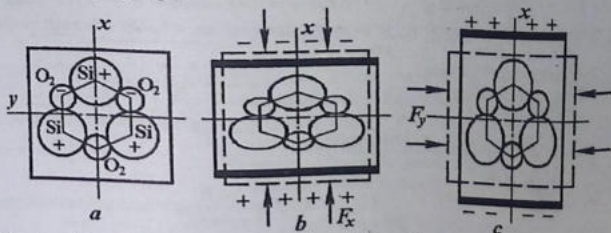
**Fotovarikaplar.** Ularning ishlash prinsipi **p-n** o'tish elektr sig'imining yorug'lik nuri ta'sirida o'zgarishiga asoslangan. Kremniyli fotovarikaplarda **p-n** o'tishning elektr sig'imi  $30 \text{ mk}\Phi/\text{mm}^2$  gacha, galliy arseniddan yasalgan fotovarikaplarda esa  $500 \text{ pk}\Phi/\text{mm}^2$  gacha yetadi. Fotovarikaplar zanjirga fotorezistorlar kabi ulanadi.

Fotoelektr o'zgartkichlar ishlab chiqarishida, asosan, avtomatika qurilmalarida yorug'lik kattaliklarini ulash va nazorat qilish maqsadida ishlatiladi.

#### 4.7. Pyezoelektrik o'lchash o'zgartkichlari

Bu o'zgartkichlarning ishlash asosi ayrim kristallarning mexanik kuchlanish ta'sirida qutblanish hodisasiga asoslangan (to'g'ri pyzeoeffekt). *Kristallning elektr qutblanishi natijasida mexanik deformatsiyalanish hodisasiga teskari pyzeoeffekt deb ataladi.* Ko'pincha bu maqsadda tabiiy kvars ishlatiladi.

Kvars kristall strukturasi oddiy ko'rinishi bitta Si kremniy va ikkita  $O_2$  kislorod atomlari orqali tasvirlanishi mumkin (4.17 - rasm, a). Mexanik ta'sir ko'rsatilmagan holatda kristall elektr jihatdan neytral, chunki barcha zaryadlar o'zaro kompensatsiyalanagan (kremniy atomi to'rtta musbat, kislorod atomi esa ikkita manfiy zaryadga ega).



4.17 - rasm. Kvars kristallining strukturasi: a - deformatsiyalanmagan; b - x o'qi bo'ylab deformatsiyalanagan; c - y o'qi bo'ylab deformatsiyalanagan

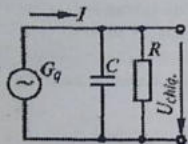
x o'qi bo'ylab kristalga mexanik kuchlanish berilganda muvozanat buzilishi natijasida kristall panjara deformatsiyalanadi va natijada uning x o'qiga perpendikulyar bo'lgan yoqlarida zaryadlar generatsiyalanadi (bo'ylama effekt) (4.17 - rasm, b). Agar kristall y o'qi bo'ylab mexanik kuchlanish ta'sirida bo'lsa, u holda uning x o'qiga perpendikulyar bo'lgan yoqlarida qarama-qarshi ishorali zaryadlar generatsiyalanadi (ko'ndalang effekt) (4.17 - rasm, c). Agar kvarts kristall panjarasi barcha tomondan deformatsiyalanasa (gidrostatik siqilish), u holda kristallning qutblanishi kuzatilmaydi. Mexanik kuchlanish z o'qi (4.17 - rasm tekisligiga perpendikulyar bo'lgan yo'nalish) bo'yicha yo'naltirilganda ham simmetriya tufayli pezeoeffekt kuzatilmaydi.

Bo'ylama va ko'ndalang pezeoeffektlarda kristall yoqlarida generatsiyalanagan zaryadlar miqdori bir xil emas. Bu miqdor kristall sirti yuzasi va mexanik kuch qo'yilgan yuzaning kattaliklariga bog'liq bo'ladi.

Pyezoelektrik o'lchash o'zgartkichlarining elektr va mexanik xossalarini tahlil qilishda asosan kristall panjaraning deformatsiyalanish yo'nalishi bilan panjara o'qlari yo'nalishlari orasidagi bog'lanishni belgilovchi koeffitsiyent  $d$  dan

foydalaniladi. Bu koeffitsiyent yordamida to'g'ri va teskari pezoefektlarda berilgan mexanik kuch birligiga mos ravishda generatsiyalangan zaryad miqdorini aniqlash mumkin.

Pezeoelektrik o'lchash o'zgartkichlarining elektr xossalarini o'rganishda ularning ekvivalent almashlash sxemasidan keng foydalaniladi (4.18 - rasm). Bu sxemadagi  $R$  va  $C$  taqsimlangan parametrlar bo'lib, ularning tarkibiga pezeoelektrik o'zgartkichga ulangan o'lchash asbobi kirish zanjirining o'zaro parallel ulangan qarshiligi va sig'imi ham kiradi.



4.18 - rasm.

Pyzeoelektrik O'O'ning elementar ekvivalent sxemasi

Pyzeoelektrik O'O'ning elementar ekvivalent sxemasidan:

$$U_{chiq} = I \left( \frac{R/\omega C}{R + 1/\omega C} \right)$$

Agar pyzeoelementga  $F = F_m \sin \omega t$  kuch ta'sir qilayotgan bo'lsa, u holda o'lchash zanjiridagi tok

$$i = \frac{dQ_c}{dt} = \frac{d(d_1 \cdot F_m \sin \omega t)}{dt}$$

bu yerda:  $Q_c$  - o'zgartkich hosil qilayotgan

zaryad;  $d_1$  - pyezomodul koeffitsiyenti.

Shunday qilib,

$$U_{chiq} = d_1 \cdot F \frac{j\omega R}{1 + j\omega RC}$$

Pyzeoelektrik O'O'ning massasi va tashqi o'lchamlari kichik bo'lib, katta mexanik mustahkamlik va yuqori xususiy tebranishlar chastotasiga ega. Shuning uchun ham ular yuqori chastotali noelektrik kattaliklarni o'lchashda keng qo'llaniladi.

Asosiy kamchiliklari: statik jarayonlarni o'lchashda foydalana olmasligi, katta chiqish qarshiligi va harorat bo'yicha diapazonining torligi.

Pyzeoelektrik O'O' tez o'zgaradigan bosim, kuch, tezlanishlarni o'lchovchi asboblarda, ultratovush tebranishlar va radiotexnik qurilmalarda qo'llaniladi.

Masala. Mexanik tebranishli pyzeoelektrik o'lchash o'zgartkichining qarshiligi  $50 \text{ M}\Omega$ , sig'imi esa  $0,004 \text{ mk}\Phi$ . O'zgartkichning vaqt doimiysi va tebranishning minimal o'lchash chastotasini aniqlang.

Yechish. Pyzeoelektrik zanjirning vaqt doimiysi:

$$\tau = C_n R_n = 0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^6 = 0,2 \text{ s}$$

O'zgartkichning mexanik chastotasi:

$$f_{\min} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ Gs}$$

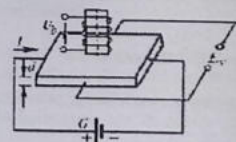
Demak, pyezoelektrik o'zgartkich 5 Gs dan kichik bo'lgan mexanik tebranishlarni elektr parametriga yaxshi o'zgartiradi.

#### 4.8. Galvanomagnet o'lchash o'zgartkichlari

Bu turdagi o'zgartkichlarning ishlash asosi Xoll, *magnitarezistiv* va *magnitodiod* effektlariga asoslangan.

##### 4.8.1. Xoll o'zgartkichlari

Xoll effektiga ko'ra tokli metall plastina magnit maydoniga kiritilsa, harakatlanayotgan *elektron* yoki *kavakka* magnit maydonining ta'siri natijasida plastinada e.y.u.k. hosil qilinadi (4.19 - rasm).



4.19 - rasm. Xoll o'zgartkichining konstruktiv sxemasi

$$E_x = R_x IB/d.$$

bu yerda:  $R_x$  - Xoll doimiysi;  $d$  - plastinaning qalinligi.

Bu effekt juda ko'p tabiiy va sun'iy materiallarda kuzatilishiga qaramay, Xoll elementi sifatida ko'pincha germaniy, kremniy, indiy birikmalaridan foydalaniladi. Chunki, yarim o'tkazgich materiallarda metallardagiga nisbatan ancha katta qiymatli Xoll e.y.u.k.i hosil bo'ladi.

Xoll elementi asosida yaratilgan o'lchash o'tkazgichlari sezgirliги, kirish va chiqish zanjirining qarshiliklari, boshqaruvchi tok va boshqa parametrlariga ko'ra klassifikatsiyalanadi.

Xoll o'zgartkichining **afzalliklari**: yuqori sezgirliги, xususiy chastotani yuqoriligi, massa va tashqi o'lchamlarining kichikligi.

**Kamchiligi**: Xoll doimiysining haroratga bog'liqligi.

Xoll o'zgartkichlari 0,001 - 2 Tl o'lchash doirasida o'zgaruvchan va chastotasi  $10^{10}$  Gs gacha bo'lgan o'zgaruvchan maydon induksiyasini o'lchashda qo'llaniladi. Bundan tashqari, Xoll elementi asosida o'zgaruvchan va o'zgaruvchan toklarni ham o'lchash mumkin. Buning uchun magnit maydonning induksiyasi doimiy ( $B = const$ ) saqlanib, tok qismlarini toki o'lchanadigan zanjirga ulash kifoya bo'ladi.

##### 4.8.2. Magnitarezistorlar va magnitodiodlar

Magnitarezistorlarda magnit maydoni ta'sirida uning qarshiligi o'zgaradi. Magnitarezistiv effekt - magnit maydoni ta'sirida zaryad tashuvchilarning harakat yo'li kamayishi natijasida material qarshiligining o'zgarishiga asoslangan. Agar maydon ta'sirida qarshilik oshsa, *musbat magnitarezistiv*

effekt, aks holda esa *manfiy magnitorezistiv effekt* deb ataladi. Manfiy magnitorezistiv effekt past haroratlarda kuzatilganligi bois, u noelektr kattaliklarni o'lchashda qo'llanilmaydi. Ko'pchilik metall va yarim o'tkazgichlarda tashqi maydon induksiyasining ortishi bilan qarshilik ortadi. Bu o'zgartkich sezgirligini oshirsada, statik xarakteristika  $R = f(B)$  ning nochiziqligi uni qo'llanish sohalarini keskin chegaralaydi.

Magnitorezistorlar asosan antimonid va indiy arseniy kabi materiallardan yasaladi. Ular Xoll elementi singari sezgirligining yuqoriligi, reaksiya vaqtining, massasi va o'lchamlarining kichikligi kabi afzalliklarga ega.

Magnitodiodlarda *p-n* o'tishining qarshiligi maydon ta'sirida keskin oshadi. Bunga sabab magnit maydoni ta'sirida zaryad tashuvchilar harakatining sezilarli kamayishi va ular diffuzion uzunligining qisqarishidir. Magnitodiodlarning texnik xarakteristikalari magnitorezistorlarnikiga o'xshash bo'ladi.

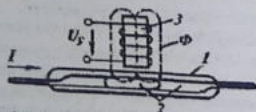
Magnitorezistorlar va magnitodiodlar avtomatik qurilmalarda elektr va magnit kattaliklarni o'zgartirish uchun qo'llaniladi.

#### 4.9. Rezistiv o'lchash o'zgartkichlari

Rezistiv o'zgartkichlarda qarshilik o'lchanayotgan noelektrik kattalikka proporsional ravishda o'zgaradi. Bularga *kontaktli, reostatli va tenzorezistorli* o'zgartkichlar kiradi.

##### 4.9.1. Kontaktli o'zgartkichlar

Bu o'zgartkichlarda o'lchanayotgan kattalik ta'sirida kontaktlar asbobning butun o'lchash zanjirini yoki uning bir qismini ulaydi yoki uzadi. Hozirgi paytda ko'proq magnit maydoni bilan boshqariladigan germetizatsiyalangan kontaktlar - *gerkonlar* ishlatilmoqda (4.20 - rasm).



4.20 - rasm. Gerkon: 1 - shisha kolba; 2 - kontaktlar; 3 - elektromagnit

Konstruktiv jihatdan gerkon (magnit maydoni yordamida boshqariluvchi kontakt) yopiq shisha silindr 1 ichiga joylashtirilgan ikkita yoki undan ko'p kontakt elektrod 2 lardan tashkil topgan bo'lib, elektrodni oksidlanishdan himoya qilish uchun silindr 1 inert gaz (azot, argon, vodorod) bilan to'ldiriladi yoki undagi havo so'rib olinadi. Gerkon kontakt - elektrodleri permalloydan

yasalib, ishchi qismining yuzasi palladiy, rodii, kumush, oltin yoki ularning aralashmasi bilan qoplanadi. Gerkon o'zgarmas yoki o'zgaruvchan magnit maydoniga kiritilganda elektrodlar orqali  $\Phi$  magnit oqimlari birlashib, ular orasidagi havo oralig'ida to'plangan magnit maydoni energiyasi o'z qiymatini oshirishga harakat qilib elektrodni bir-biriga yaqinlashtiradi va kontaktlar birlashadi hamda gerkon ulangan zanjirdan tok o'tadi. Agar elektromagnit 3

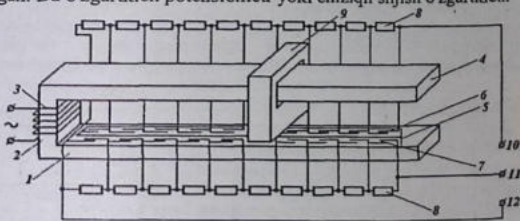
chulg'ami parametri o'zgaradigan zanjirga ulansa, u holda gerkon kontaktlarining holati zanjir parametri bilan funksional bog'lanib qoladi.

Gerkonlarning asosiy texnik parametrlariga kontaktlarni bir-biriga ulash uchun kerak bo'ladigan magnit oqimini hosil qiluvchi magnit yurituvchi kuch qiymati va kontaktlarni ulashga ketgan vaqt (odatda bu vaqt 2 ms dan oshmaydi) kiradi.

Texnik xarakteristikalariga ko'ra gerkonlar asosida qurilgan kontaktli o'lchash o'zgartkichlari o'lchash texnikasida keng qo'llanilayotgan kontaktsiz elementlardan qolishmaydi. Ularning ishlashda ishonchliligi va tezkorligi yuqori, atrof muhit harorati, bosimi va namligining o'zgarishiga chidamli. Lekin, shu bilan birga gerkonli o'lchash o'zgartkichlari tashqi magnit maydonining ta'siriga juda sezgir.

Gerkonli o'lchash o'zgartkichlari avtomatik tizimlarda elektr va noelektr kattaliklarni o'lchash, har xil kommutatsion jarayonlarni bajarishda keng qo'llaniladi.

4.21 - rasmda (prof. Zaripov M.F. va prof. Mamadjonov A.M. tomonidan taklif qilingan) gerkonli o'lchash o'zgartkichining konstruksion sxemasi keltirilgan. Bu o'zgartkich potensiometr yoki chiziqli siljish o'zgartkichi



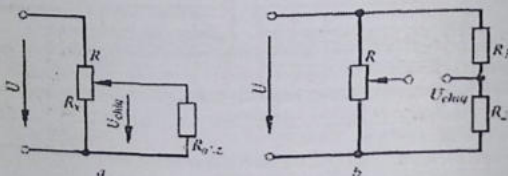
4.21 - rasm. Gerkonli o'lchash o'zgartkichining konstruksion sxemasi

sifatida qo'llanilishi mumkin. Potensiometr II-simon magnit o'tkazgich 1 asosi 2 ga joylashtirilgan qo'zg'atuvchi chulg'am 3 dan tashkil topgan bo'lib, magnit o'tkazgich parallel o'zaklari 4 orasidagi havo oralig'iga ikkita ketma-ket ulangan gerkonlar 5 guruhi joylashtirilgan. Ularning bitta zanjiri kontaktlari normal ulangan gerkonlar 6, ikkinchisi esa kontaktlari normal uzilgan gerkonlar 7 ni tashkil etadi. Har bir gerkon ketma-ket ulangan qarshiliklar magazini 8 ning har bir elementiga parallel ulangan. II-simon magnit o'tkazgichning ikkinchi parallel o'zagida siljish imkoniyatiga ega bo'lgan qisqa tutashtirilgan chulg'am - elektromagnit ekran 9 joylashtirilgan. Qarshiliklar magazini 8 o'zgaras yoki o'zgaruvchan tok manbaiga ulanadi. Chiqish signali 10-12 yoki 11-12 qismalardan olinadi.

Potensiometrik o'zgartkich quyidagicha ishlaydi. Qo'zg'atish chulg'ami 3 o'zgaruvchan tok manbaiga ulanganda II-simon magnit o'tkazgich 1 da o'zgaruvchan magnit oqimi hosil bo'ladi. Bu oqim ekran 9 ning faqat o'ng tomonidagi havo oralig'i orqali birlashadi, chunki ekranning magnit qarshiligi  $R_{\mu} = \omega G_e$  ( $G_e$  - ekranning elektr o'tkazuvchanligi,  $\omega$  - o'zgaruvchan tok chastotasi) juda katta bo'lganligi sababli, magnit oqimi magnit o'tkazgichning ekrandan o'ng tomonda joylashgan qismiga deyarli o'tmaydi. Ekran chap (o'ng) ga siljirilganda magnit oqimi kesib o'tadigan gerkonlar soni ortadi (kamayadi). Bunda bir guruh gerkonlar kontaktlari uzilib, o'zlari ulangan rezistorlarni manbaga ulaydi, boshqa guruh gerkonlar kontaktlari ulanib o'zlari ulangan rezistorlarni shuntlab manbadan ajratadi. Natijada bitta zanjirda ketma-ket ulangan rezistorlar soni ortib, boshqasida esa kamayib chiqish signalini o'zgarishiga sabab bo'ladi. Shunday qilib, ushbu potensiometrik o'lchash o'zgartkichida qo'zg'aluvchan qism - ekranning har bir holatiga chiqish signalining ma'lum bir qiymati mos keladi.

#### 4.9.2. Reostatli o'zgartkichlar

Bu o'zgartkichlar o'zgaruvchan rezistordan iborat bo'lib, uning qo'zg'aluvchan kontakti noelektrik katalik ta'sirida siljiydi (4.22 - rasm).



4.22 - rasm. Potensiometrik (a) va ko'prik (b) sxemali reostat o'zgartkichlar.

Reostat o'zgartkichlarning kirish kattaligi chiziqli yoki burchak siljish, chiqish kattaligi esa ularga proporsional bo'lgan elektr qarshilik yoki undan o'tayotgan tok, undagi kuchlanish pasayishi bo'lishi mumkin.

Reostatli o'zgartkichlar izolyasion asosga o'ralgan sim ko'rinishida yasaladi. Bunda asosan magniy konstantan, nixrom, ayrim hollarda esa tarkibiga platina qo'shilgan simlardan foydalaniladi. Karkas tekstolit, shisha tekstolin yoki boshqa issiqlikka chidamli izolyasion materiallardan tayyorlanadi.

O'zgartkichning qo'zg'aluvchan kontakti (shyotkasi) platinaning iridiy yoki berilliy bilan aralashmasidan yasaladi.

Reostat o'zgartkichning o'zgartirish funksiyasi qarshilikda pasaygan kuchlanishni kirish kattaligiga bog'liqligi ko'rinishida bo'ladi. Bu funksiyaning chiziqchiligi o'zgartkich qarshiligining o'lchash zanjiri qarshiligiga nisbatiga bog'liq bo'ladi. Masalan, 4.22 - rasm, a da keltirilgan sxema uchun o'zgartkichning chiqish kuchlanishi  $U_{chiq}$  ni reostatni kirish noelektr kattalik  $x$  ga bog'liq bo'lgan  $R(x)$  qarshilgini quyidagicha yozish mumkin:

$$U_{chiq} = f(x) = \frac{R(x)R_o}{RR_o + R(x)(R + R_o)} U,$$

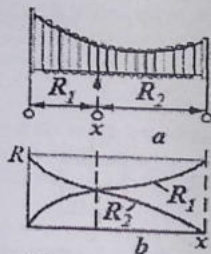
bu yerda  $R$  - reostatning umumiy qarshiligi,  $R_o$  - o'lchash zanjirining qarshiligi,  $U$  - manba kuchlanishi.

Reostat o'zgartkichning yuqorida keltirilgan o'zgartirish funksiya (statik xarakteristika)si chiziqchil bo'lishi uchun asos shaklini ma'lum qonuniyat bilan o'zgarishini ta'minlash (4.23 - rasm, a), o'lchash zanjiri qarshiligi  $R_o$  ni

tanlash yoki o'zgartkichning chiqish zanjiriga volt-ampere xarakteristikasi kerakli qonuniyat bilan o'zgaradigan nochiziq elementni ulash lozim bo'ladi (4.23 - rasm, b). Bundan tashqari,  $U_{chiq} = f(x)$  funksiya nochiziqchilgini kamaytirish maqsadida reostat qarshiliklari ko'priq sxemasi bo'yicha ulanadi (4.22 - rasm, b).

**Afzalliklari:** Tuzilishining soddaligi, chiqish quvvatining kattaligi, o'lchash doirasining kengligi.

**Kamchiliklari:** O'zgartirish funksiyasining nochiziqchilgini, chiqish signalining diskretligi (kontakt bir o'ramdan boshqasiga o'tganda chiqish signali diskret o'zgaradi), termo EYuK paydo bo'lishi, atrof muhit haroratining ta'siri sezilarligi, mexanik ta'sirlarga chidamsizligi, kontaktning ifloslanishi va oksidlanishi.



4.23 - rasm. Reostat o'zgartkichning tuzilishi (a) va qarshiligining o'zgarish grafiqlari (b)

### 4.9.3. Tenzorezistorlar

Bu rezistorlarning ishlash asosi *tenzoeffekaga* - mexanik deformatsiya ta'sirida metall yoki yarim o'tkazgich elektr qarshiligining o'zgarishiga asoslangan. Ma'lumki, o'tkazgichning elektr qarshiligi  $R = \rho \frac{l}{S}$  ifoda bilan aniqlanadi, bunda  $\rho$  - o'tkazgich yasalgan materialning solishtirma elektr qarshiligi,  $l$ ,  $S$  - o'tkazgichning mos ravishda uzunligi va ko'ndalang kesim yuzasi. Mexanik deformatsiyalanishda o'tkazgich elektr qarshiligining o'zgarishi

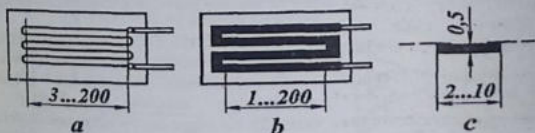
uning uzunligi  $\Delta l/l$ , ko'ndalang kesim yuzasi  $\Delta S/S$  yoki solishtirma elektr qarshiligi  $\Delta \rho/\rho$  ning o'zgarishlari natijasida yuz beradi. Deformatsiya natijasida o'tkazgich qarshiligi o'zgarishining shu o'zgarishga sababchi bo'lgan uning uzunligi o'zgarishiga nisbati tenzosezgirlik deb ataladi:

$$S_T = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$$

Tenzorezistor materiali plastik deformatsiyalanganda uning hajmi va solishtirma elektr qarshiligi o'zgar olmaydi. Shuning uchun ham plastik deformatsiyalanuvchi tenzorezistorlarda tenzosezgirlik koeffitsiyenti 2 ga teng bo'ladi.

Tenzorezistorlar konstantan, nixrom va vismutdan tayyorlanadi. Bu sohada kremniy va uning qotishmalari ham keng qo'llaniladi. Yarim o'tkazgichli tenzorezistorlarda tenzosezgirlik koeffitsiyenti metall tenzorezistorlarnikidan farqli ravishda bir necha yuzga teng bo'ladi. Bundan tashqari, kremniyda qarshilikning harorat koeffitsiyenti uncha yuqori emas.

Konstruktiv jihatdan tenzorezistorlar metall sim, yupqa folga yoki yarim o'tkazgichli plastina shakllarda yasaladi (4.24 - rasm). Tenzorezistorlar yupqa qog'ozga yoki lok qobiqqa yelemab qo'yiladi. Tenzosezgir element qismlariga ingichka mis simlar payvandlanadi.



4.24 - rasm. Tenzorezistor qurilma:

a - simli; b - yupqa folga; c - yarim o'tkazgichli

Tenzorezistor nazorat qilinuvchi ob'ektning deformatsiyalanuvchi qismiga yelim yordamida yopishtirib qo'yiladi. Deformatsiyasi o'lchanadigan ob'ekt haroratiga qarab turli xil yelimlardan foydalaniladi. Masalan, o'lchovlar  $180^{\circ}\text{C}$  gacha bo'lgan haroratlarda o'tkazilganda, bakelit-fenol yelim, bakelit yoki viniflek loklardan foydalaniladi. Tashqi harorat juda yuqori ( $800^{\circ}\text{C}$  gacha) bo'lganda esa kremniy organik sementlar yoki polisiloksanli birikmalar asosida tayyorlangan yelimlar qo'llaniladi. Tenzorezistorlardan ko'p marta foydalanish maqsadida termoplastik yelimlar ishlab chiqilgan. Bunda tenzorezistor yelimlangan joy ma'lum haroratgacha qizdirilib, keyin u ajratilib olinadi.

Namlik yuqori bo'lgan sharoitlarda tenzorezistor yelimlangandan so'ng uning ustki qatlami nanga chidamli maxsus lok bilan qoplanadi. Bu qatlam

tenzorezistorni namdan tashqari mexanik shikastlanish va izolyasiya qarshiligini o'zgarib qolishdan saqlaydi.

Tenzorezistorlarda deformatsiya ta'sirida qarshilikning o'zgarishi Omning bir necha ulushiga to'g'ri keladi. Shuning uchun o'lchash aniqligi va sezgirligini oshirish maqsadida tenzorezistorlar ko'prik sxemalariga ulanadi. Statik o'lchashlarni bajarishda muvozanatlanagan, statik va dinamik o'lchashlarni amalga oshirishda muvozanatlanmagan ko'prik sxemalaridan foydalaniladi.

Afzalliklari: tuzilishi sodda, inersiyasi kam, o'zgartirish funksiyasi chiziqli.

Kamchiliklari: deformatsiyasi o'lchanayotgan ob'ektga mahkamlash qiyin, ko'p marta foydalanishda noqulay, xatoligi nisbatan yuqori (darajalash xatoligi 5% va undan ham ortiq bo'lishi mumkin).

Tenzorezistorlar turli sohalarda keng ko'lamda qo'llaniladi.

#### 4.10. Elektrostatik o'lchash o'zgartkichlari

Elektrostatik o'lchash o'zgartkichlarining ishlash asosi *noelektrik kattalik* ta'sirida elektr maydoni parametrlari *proporsional o'zgarishiga* asoslangan. O'zgartkichning eng sodda ko'rinishi oddiy kondensator bo'lib, uning sig'imi:

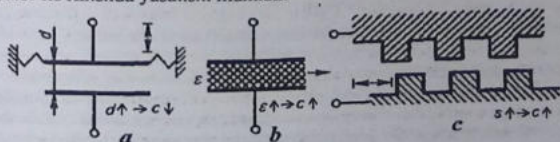
$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

Ifodaga ko'ra nisbiy dielektrik singdiruvchanlik ( $\epsilon_r$ ), plastinalarning aktiv yuzi ( $S$ ) va ular orasidagi masofa ( $d$ ) o'lchanayotgan noelektrik kattalik ta'sirida o'zgarishi mumkin, bu erda  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  – elektr doimiysi. Silindrsimon kondensatorlarda sig'im ushbu ifoda bilan aniqlanadi:

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln(d_{\text{tash}} / d_{\text{ich}})}$$

bu yerda:  $l$  – kondensatorning balandligi;  $d_{\text{tash}}$ ,  $d_{\text{ich}}$  – mos ravishda qoplamalarning tashqi va ichki diametri.

Eng oddiy elektrostatik o'zgartkich qoplamalari orasidagi masofa (4.25 - rasm, a), dielektrik singdiruvchanlik (4.25 - rasm, b) yoki qoplamalarning aktiv yuzasi (4.25 - rasm, c) o'lchanayotgan noelektr kattalikka bog'lik bo'lgan kondensator ko'rinishida yasalishi mumkin.

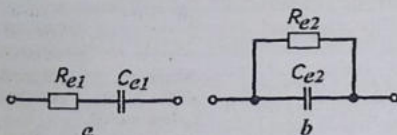


4.25 – rasm. Elektrostatik o'lchash o'zgartkichlarining konstruksiyalari

Yuqorida keltirilgan ifodalardan ko'rinib turibdiki, elektrostatik o'zgartkichlarda kondensator sig'imi qoplamalar aktiv yuzasi o'zgarishiga chiziqli, ular orasidagi masofa o'zgarishga esa nochiziqli bog'langan. Shuning uchun aksariyat hollarda ushbu o'zgartkichlar statik xarakteristikasini chiziqchilikni ta'minlash maqsadida differensial sxemadan foydalaniladi.

Elektrostatik o'zgartkichlarning elektr parametrlarini aniqlashda ularning ekvivalent almashlash sxemasidan foydalaniladi (4.26 - rasm). Bu sxemalarda ekvivalent sig'im kondensator sig'imidan tashqari, o'tkazgich sim bilan izolyasiya orasidagi sig'imni ham o'z ichiga oladi, ya'ni  $C_{ekv} = C + C_{iz}$ , sxemaning ekvivalent aktiv qarshiligi esa izolyasiyaning qarshiligiga teng, ya'ni

$$R_{ekv} = R_{iz}. \quad \text{Ekvivalent sxema yordamida}$$



4.26 - rasm. Elektrostatik o'zgartkichning ketma-ket (a) va parallel (b) ekvivalent sxemalari

dielektrik materialdagi energiya isroflarini aniqlash mumkin. Bu isroflar kondensatordagi kuchlanish va tok vektorlari o'rtasidagi faza siljish burchagini  $90^\circ$  dan

um bo'lishiga sababchi bo'ladi, ya'ni  $\varphi = \frac{\pi}{2} - \delta$ , bu yerda  $\delta$  - dielektrik isrof burchagi. 4.24 - rasm, a dagi ekvivalent sxemaga ko'ra  $\operatorname{tg} \delta = \omega R_{e1} C_{e1}$ ; 4.24 - rasm, b dagi ekvivalent sxemaga ko'ra esa  $\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_{e2} R_{e2}}$ .

Sig'im o'zgartkichlar ko'prik sxema va rezonans sxemalar tarkibida siljish, tezlik, tezlanish, suv sathi, bosim, namlik va boshqa noelektrik kattaliklarni o'lchashda ishlatiladi.

**Afzalliklari:** yuqori sezgirligi, massa va tashqi o'lchamlarining kichikligi, tezkorligi.

**Kamchiligi:** o'zgartkich parametrlariga tashqi elektr maydoni, harorat va namlikning ta'siri katta, chiqish quvvati kam.

#### 4.11. Mexanik kattaliklarni o'lchash

Mexanik kattaliklarni elektr vositalar yordamida o'lchashlar asosida mexanik va elektr zanjirlarni o'zaro bog'lovchi fizik effektlar yotadi. Ayrim hollarda mexanik kattaliklar avval magnit, optik, gidravlik va boshqa fizik tabiiy zanjirlar kattalik yoki parametrlariga o'zgartirilib, keyin elektr zanjirlari kattaliklariga o'tkaziladi. Masalan, tenzodatchiklar yoki pezodatchiklarda o'lchanayotgan mexanik kattalik bevosita elektr katalikka o'zgartirilsa, magnit

elastik datchiklarda mexanik kattalikning o'zgarishi avval magnit zanjiri parametrining o'zgarishiga, keyin esa u orqali elektr zanjiri parametrining o'zgarishiga olib keladi va hokazo.

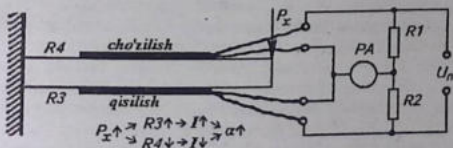
#### 4.1.1.1 Deformatsiya mexanik kuchlanish va aylantiruvchi momentni o'lchash

Deformatsiya aksariyat hollarda tenzorezistorlar yoki pezometrik o'zgartgichlar yordamida o'lchnadi. Simli va folgali tenzorezistorlar  $\Delta l/l = 1,5\%$  gacha bo'lgan deformatsiyalarni elektr signalga o'zgartirishda qo'llaniladi. Biror o'q bo'ylab ta'sir qilayotgan mexanik kuchlanishni o'lchashda shu o'q bo'ylab bitta tenzorezistor yelimlanadi. Bunda o'zgartirish funksiyasi quydagicha aniqlanadi:

$$\sigma = E_M \frac{\Delta l}{l} = E_M \frac{\Delta R}{S_T R}$$

bu yerda  $E_M$  - materialning elastiklik moduli,  $S_T$  - tenzorezistor sezgirligi.

Deformatsiyani tenzorezistor yordamida o'lchashda haroratni o'zgarishi hisobidan yuzaga keladigan xatolik ancha katta qiymatga ega bo'ladi. Bu xatolikni kamaytirish maqsadida tenzorezistorlar ko'priks sxemasiga differensial ulanadi (4.27 - rasm).

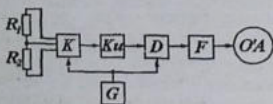


4.27 - rasm. Deformatsiyani tenzorezistor yordamida o'lchash sxemasi

Bitta tenzorezistorni deformatsiya ta'sirida ob'ektning cho'ziladigan qismiga, boshqasini uning siqiladigan qismiga yopishtirilishi va ularni differensial sxema bo'yicha ulanishi haroratni o'zgarishi tufayli yuzaga keladigan xatolikni kompensatsiyalash imkonini beradi va o'lchash sezgirligini sezilarni (2 martaga) oshiradi. Bunda tenzorezistorlar ko'priknings yonma-yon yelkalariga ulanadi. Ko'priikka beriladigan manba kuchlanishining qiymati tenzorezistorlar iste'mol qila oladigan kувvatning ruxsat etilgan qiymati bilan chegaralanadi va u ko'pincha 2-12 V ni tashkil etadi. Tenzorezistorlar qarshiliklarining nisbiy o'zgarishi uncha katta bo'lmaganligi sababli ko'priknings o'lchash diagonalidagi kuchlanish nisbatan kichik qiymatga ega bo'ladi. Masalan, simli tenzorezistorlar ulangan ko'priknings chiqish signali 10-50 mV dan oshmaydi. Shuning uchun

ham ko'prik sezgiriligini oshirish maqsadida unga impulsi kuchlanish beriladi. Ushbu usul yordamida ko'prik sezgiriligi  $\sqrt{Q}$  marta oshirilishi mumkin, bu yerda  $Q$  - impuls chuqurligi.

Tenzorezistorlarni muvozanatlanmagan ko'prik sxemalari ulash va o'lchash zanjiriga kuchaytirgichlardan foydalanish asosida o'lchash sezgiriligini oshirish juda keng qo'llaniladi (4.28 - rasm).

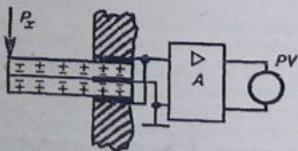


4.28 - rasm. Tenzostansiya o'lchash kanalining funksional sxemasi

Ko'prik  $K_u$  yelkalariga ulangan. Ko'prikning chiqish signali kuchaytirgich  $K$  orqali demodulyator (sinxron detektor)  $D$  ga beriladi. Sinxron detektor  $D$  yordamida o'lchanayotgan kattalik chastotasiga mos signal hosil qilingandan so'ng u filtr  $F$  orqali o'lchash asbobi  $O'A$  ga beriladi.

Muvozanatlanmagan ko'prik o'zgaruvchan kuchlanish manbaidan ta'minlanayotganligi bois o'lchash zanjirida paydo bo'ladigan parazit sig'implarni hisobga olishga kerak bo'ladi. Masalan, tenzorezistorlar metallidan yasalgan ob'ektga yelimlanganda tenzorezistor bilan metall orasidagi parazit sig'im 10-100 pKf ni tashkil etadi. Shuning uchun ham ko'prikda aktiv va reaktiv parazit qarshiliklarni kompensatsiyalash nazarda tutilgan bo'ladi. Chastota bo'yicha ajratuvchi kuchaytirgichlar va sinxron detektorlarni qo'llanishi o'lchash qurilmasini tashqi xalaqitlarga chidamligini bir muncha oshiradi.

So'nggi paytlarda mikroelektronika qurilmalarini tez suratlar bilan takomillashayotganligi munosabati bilan o'zgarmas tok ko'prigidan foydalanishga katta e'tibor berilmoqda. Ayrim holatlarda kvazi (tenzoko'prik chiqish toki qo'shimcha manba toki bilan) muvozanatlangan ko'priklar qo'llanilmoqda.



$$P_x \rightarrow Q \rightarrow U_{PV} \uparrow$$

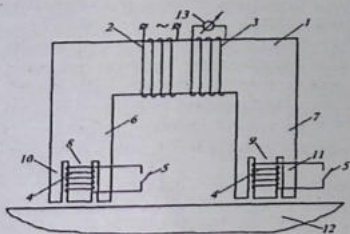
4.29 - rasm. Mexanik kuchlanishni pezeoelktrik o'zgartkich yordamida o'lchash sxemasi

Mexanik kuchlanish pezeoelktrik o'zgartkichlar yordamida o'lchanganda pezeoelmentlar o'zgartgich qutisiga shunday joylashtiriladiki, bunda korpus ichki yoqlarida bir xil ishorali EYuK hosil bo'ladi (4.29 - rasm).

Bu EYuK metall tagliklar orqali kuchaytirgich kirishiga beriladi. Pezeoelmentlarda zaryadlar faqat

o'zgaruvchan mexanik kuchlanish ta'sirida paydo bo'lishi mumkinligi sababli ular yordamida 10 Gs dan 80000 Gs gacha bo'lgan chastotali mexanik ta'sirlarni o'lchash mumkin bo'ladi.

**Mexanik kuchlanishni o'lchashda** magnit elastik o'lchash o'zgartgichlaridan ham keng foydalaniladi. 4.30 - rasmda (prof. Zaripov M.F. va dots. Kaptsov A.V. tomonidan taklif etilgan) magnit elastik datchik konstruktiv sxemasi keltirilgan. Datchik II - simon magnit o'tkazgich 1, uning asosida joylashtirilgan qo'zg'atuvchi 2 va o'lchash 3 chulg'amlari, qo'shimcha chulg'amlar 4, kommutator 5, III - simon qutb boshmoqlari 6 va 7, boshmoqlarning o'rta 8 va 9, chetki 10 va 11 o'zaklaridan tashkil topgan. Qo'shimcha chulg'amlar 4 o'rta o'zaklar 8 va 9 larga o'ralgan bo'lib, 6,7 va 10,11 boshmoqlar yuzasi bir xil qilib tanlanadi. O'lchash asbobi 13 o'lchash zanjiri 3 ga ulanadi.



4.30 - rasm. Magnit elastik datchik konstruktiv sxemasi

Datchik quydagicha ishlaydi. Magnit o'tkazgich 1 mexanik kuchlanish ta'sirida bo'lgan ob'ekt 12 yuzasiga o'rnatiladi. Bunda ob'ekt magnit singdiruvchanligi undan o'tayotgan magnit oqimi kattaligiga bog'liq ravishda o'zgaradigan materialdan yasalgan bo'lishi lozim. Qo'zg'atuvchi chulg'am 2 ga o'zgaruvcha kuchlanish beriladi. O'lchash ikki bosqichda olib boriladi. Birinchi bosqichda qo'shimcha cho'lg'amlarda o'rnatilgan kontaktlar 5 ochiq bo'lib

qo'zg'atuvchi chulg'am tokidan hosil bo'lgan magnit oqimi qutb boshmoqlarining barchasidan o'tadi. O'lchash chulg'amida induksiyalangan EYuK  $E_1$  o'lchash asbobi 13 yordamida qayd etiladi. O'lchashning ikkinchi bosqichida kontaktlar 5 qo'shimcha chulg'amlar 4 ni qisqa tutashtiradi va ular 8 va 9 nakonechniklardan o'tadigan magnit oqimlari uchun elektromagnit ekran vazifasini bajaradi, ya'ni bu boshmoqlardan magnit oqimi deyarli o'tmaydi. Buning natijasida magnit oqimi yo'lidagi havo oralig'ining yuzasi kamayadi, magnit qarshiligi esa ortadi. Ikkinchi o'lchashda o'lchash asbobi 13  $E_2$  EYuK ni qayd etadi.  $E_1 - nE_2$  farq detal 12 magnit qarshiligi qiymatiga proporsional bo'ladi, bu yerda  $n$  - qutb boshmog'i umumiy yuzasining uning chekka qismlari 10 va 11 yuzalariga nisbati.

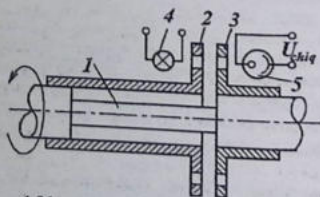
Shunday qilib, yuqorida bayon etilgan mexanik kuchlanish datchigi ko'rsatishi uning qutb boshmoqlari bilan mexanik kuchlanish ta'sirida bo'lgan ob'ekt o'rtasidagi havo oralig'i kattaligining o'zgarishiga bog'liq bo'lmaydi.

Masalan, magnit o'tkazgichi ferritdan yasalgan va qutb boshmoqlari orasidagi masofa 40 mm hamda  $n=2$  ga teng bo'lgan magnit elastik datchik havо oralig'ining o'zgarishi natijasidagi xatoligi avval mavjud datchiklarnikiga nisbatan 2,5 marta kam bo'ladi.

**Aylantiruvchi momentlar** tenzorezistorlar, pezoelektrik, elektromagnit, optoelektron, elektrostatik va boshqa o'zgartkichlar yordamida o'lchanadi. Momentni o'lchashda qo'llaniladigan vositalarni quyidagi ikkita guruhga ajratish mumkin: aylantiruvchi momentni boshqa kattalikka o'zgartiruvchi o'lchash vositalari va aylantiruvchi moment ta'sirida hosil bo'lgan buralish burchagini o'lchovchi vositalar.

Aylantiruvchi momentlarni o'lchashda ko'pincha elastik elementlardan foydalaniladi. Elastik elementlarda moment ta'sirida hosil qilingan burchak siljishi datchiklar yordamida elektr kattalikka o'zgartiriladi.

Aylanuvchi vallarda yuzaga keladigan momentlarni o'lchashda valga elektr energiya manbaini uzatish va undan momentga proporsional bo'lgan signalni kontaktlar yordamida olish ma'lum bir qiyinchiliklar tug'diradi hamda o'lchash o'zgartkichi ishlash ishonchligini pasaytiradi. Bunday xollarda aylantiruvchi valda hosil bo'ladigan momentni kontaktsiz o'lchash vositalaridan foydalanish qulay hisoblanadi. Bunday o'zgartkichlarga fotoelektrik, qo'zg'almas chulg'amli induktiv, sig'im va fazoimpulsi o'zgartkichlar kiradi. Masalan, aylanuvchi momentni o'lchovchi fotoelektrik o'zgartkich (4.31 - rasm) valda o'rnatilgan ikkita 2 va 3 disklar, qo'zg'almas yorug'lik manbai 4 va fotoelement 5 dan tashkil topgan bo'lib, disklarda radial tirqishlar o'yilgan hamda ulardan yorug'lik 'tib, fotoelementga tushib turadi. Aylantiruvchi moment nolga teng bo'lganda isklardagi tirqishlar bir-biriga mos joylashgan bo'lib nur manbadan fotoelementga to'liq tushib turadi. Valda aylantiruvchi moment paydo bo'lganda disklar tirqishlari bir-biriga nisbatan ma'lum burchakka siljiydi va fotoelementga tushayotgan nurlarning o'rtacha yoritilganligi kamayadi. Fotoelement chiqishidagi kuchlanish aylantiruvchi momentga proporsional o'zgaradi.



4.31 - rasm. Aylanuvchi momentni o'lchovchi fotoelektrik o'zgartkich sxemasi

Mexanizm va agregatlar vallarida yuzaga keladigan aylantiruvchi momentlarni o'lchashda tenzorezistorlar keng qo'llaniladi. Bunda ular val yuzasiga moment ta'sir etayotgan yo'nalishi bo'ylab yelimlanadi. Ko'pincha valga to'rtta tenzorezistor yelimlanib ular ko'prik sxemasi bo'yia ulanadi va o'zgarish tok manbaidan ta'minlanadi. O'lchash jarayonida kontakt qurilmalardan foydalanish o'lchash ishonchligini pasaytirib yuboradi.

Aylantiruvchi momentni kontaktsiz o'lchashda elektrostatik o'zgartkichlardan foydalanish ham mumkin.

#### 4.11.2. Siljishni o'lchash

Sanoat, qishloq va suv xo'jaligi, transport va xalq xo'jaligining boshqa tarmoqlarida chiziqli va burchak siljishni o'lchashga bo'lgan ehtiyoj juda katta. Bu maqsadda siljish o'lchash o'zgartkichlaridan foydalaniladi. O'lchash doirasiga ko'ra ular kichik (2-3 mm va 2-3° gacha), o'rta (0,1 m va 360° gacha) va katta (bir necha metr va 25-40 aylanishli) siljish o'zgartkichlariga bo'linadi.

Siljish o'lchash o'zgartkichlariga bo'lgan ehtiyoj yana shundan ko'rinadiki, ko'pchilik noelektr (tezlik, tezlanish, bosim, moment, kuch va h.k.) kattaliklar avval siljishga o'zgartirilib, so'ngra siljish o'lchash o'zgartkichlari yordamida o'lchanadi.

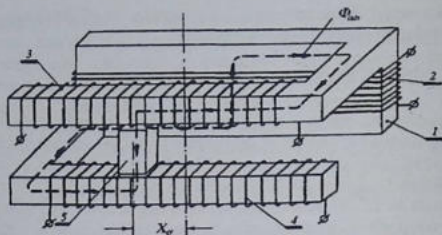
Chiziqli va burchak siljishni o'lchashda reostat, elektromagnit, sig'im, pezoelektik, galvanomagnit, optik, akustik, pnevmogidravlik va boshqa rusumdagi o'lchash o'zgartkichlardan foydalaniladi. Qaysi rusumli o'lchash o'zgartkichini tanlash o'lchash doirasi, talab qilinadigan aniqlik darajasi, ishlatish talablari va boshqa xarakteristikalariga bog'liq bo'ladi.

Aksariyat hollarda analog signalli o'zgartkichlardan foydalaniladi. Shu bilan birga ayrim hollarda raqamli o'zgartkich (kodlangan chizg'ich va disk) lar qo'llaniladi.

Siljish o'lchash o'zgartkichlarining rusumlari va ularga tegish konstruksiyalari nihoyatda xilma-xil bo'lib, biz quyida transformatorli va opt o'lchash o'zgartkichlarga oid bo'lgan va chiziqli hamda burchak siljishi o'lchashda foydalaniladigan bir nechta konstruksiyani keltirish bilan cheklanamiz.

Statik xarakteristika nochiziqqligini kamaytirish va chiqish signali fazasini o'lchanayotgan kattalik o'zgarishiga bog'liqsizligini ta'minlash maqsadida (prof. Zaripov M.F. tomonidan) taklif qilingan transformatorli siljish o'zgartkichining takomillashgan konstruksiyasi keltirilgan( 4.32 - rasm).

O'zgartkich maxsus shaklda yasalgan magnit o'tkazgich 1, uning asosiga o'ralgan qo'zg'atuvchi chulg'am 2, magnit o'tkazgichning ikkita o'zaro parallel o'zaklariga tekis taqsimlanib o'ralgan va o'zaro differensial (induktiv jihatdan qarama-qarshi) ulangan o'lchash chulg'amlari 3 va 4 hamda o'zaklar orasiga o'rnatilgan va siljish imkoniyatiga ega bo'lgan magnit element 5 dan tashkil topgan. O'zak 5 siljishi o'lchanadigan qo'zg'aluvchan ob'ektga mahkamlanadi (rasmda ko'rsatilmagan). O'zgartkich qo'zg'atuvchi chulg'ami 2 ga qiymati mo'tadillangan sinusoidal tok berilganda magnit o'tkazgichda  $\Phi_{ish}$  ishchi magnit oqimi hosil bo'ladi. Bu oqim 3 va 4 o'lchash chulg'amlarini kesib o'tganda ularda elektromagnit induksiya qonuniga binoan o'zaro induksiya e.y.u.k.i hosil bo'ladi. Bunda bu e.y.u.k.ining qiymati qo'zg'aluvchan magnit



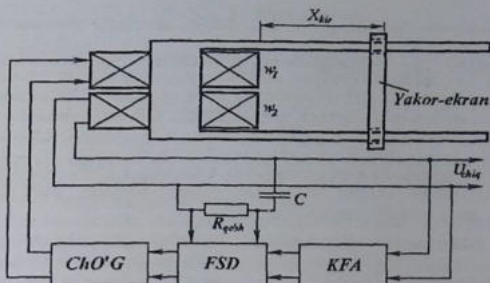
4.32 – rasm. Transformatorli siljish o'zgartkichining konstruksiyasi

element 5 ning koordinatasiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Bu o'zgartkichda magnet o'tkazgich 1 konstruktiv jihatdan shunday yasalganki, unda ishchi magnet oqimi  $\Phi_{ish}$  yo'lidagi magnet qarshilikning qiymati magnet element 5 ning o'zgartkich o'lchash doirasi istalgan koordinatasida bir xil saqlanadi va natijada o'zgartkich statik xarakteristikasi chiziqli bo'lib, EYuK fazasi siljish kattaligiga bog'liq bo'lmaydi

**Maksimal sezgirlikli elektromagnet siljish o'zgartkichi.** Avtomatik roslash tizimlarida keng qo'llaniladigan adaptatsiya usulini rivojlantirish, uni in'anaviy elektromagnet siljish o'zgartkichlarini takomillashtirishda joriy qilish, o'zgartkichlarning metrologik va dinamik xarakteristikalarini butun o'zgartirish o'lchash doirasida yaxshilash imkonini beradi.

Quyida (Toshkent irrigatsiya va melioratsiya institutida dotsentlar Baratov R.J. va Yoqubov M.S. lar tomonidan tavsiya qilingan) chiziqli siljishlarni maksimal sezgirlik bilan kuchlanishga o'zgartiruvchi elektromagnet o'lchash o'zgartkichini ko'rib chiqamiz. O'lchash o'zgartkichning funksional sxemasi 4.33 - rasmda keltirilgan. Uning maksimal sezgirliги butun o'lchash doirasida manba kuchlanishi chastotasini avtomatik ravishda roslash orqali, zanjimi rezonans rejimida ushlab turish yordamida amalga oshiriladi.

O'lchash o'zgartkichi  $\Pi$ -simon qo'zg'almas magnet o'tkazgich asosiga qo'zg'atish  $w_1$  va o'lchash  $w_2$  chulg'amlari o'rnatilgan. Magnet o'tkazgich bo'ylab siljish imkoniyatiga ega bo'lgan yakor - elektromagnet ekran siljishi o'lchanishi lozim bo'lgan ob'ektga mahkamlanadi. O'lchash chulg'ami qismlariga uncha katta bo'lmagan qo'shimcha rezistor  $R_{qo'sh}$  orqali o'lchash chulg'amining induktivligi  $L_2$  bilan rezonans kontur hosil qiladigan o'zgarms sig'im  $C$  li kondensator ulangan.



4.33 – rasm. Chiziqli siljishlarni maksimal sezgirlik bilan kuchlanishga o'zgartiruvchi elektromagnit o'lchash o'zgartkichi sxemasi

Bu konturdagi rezonans holat, ya'ni  $\varphi = 0$  (bunda  $\varphi$  - o'lchash chulg'amidagi  $U_{chiq}$  kuchlanish va rezonans konturi toki o'rtasidagi faza siljish burchagi) quyidacha ushlab turiladi. Chastotasi o'zgartiriladigan sinusoidal tok generator (ChO'G) chiqishi qo'zg'atish chulg'amiga ulangan. ChO'G kirishiga faza sezgir detektor(FSD)ning chiqishi ulangan. FSD tayanch kirishiga qo'shimcha  $R_{qo'sh}$  qarshilikdagi kuchlanish pasayishi, boshqarish kirishiga esa o'zgartkich chiqishidagi kuchlanish kvadraturali faza aylantirgich (KFA) orqali beriladi. Bunda FSD ning chiqishida  $\varphi$  burchak kattaligi va ishorasiga proporsional bo'lgan kuchlanish shakllanadi. Bu kuchlanish ChO'G chastotasini avtomatik ravishda o'zgartirib,  $L_2 - C$  konturni rezonans holatida ushlab turadi.

Ko'rilayotgan o'lchash o'zgartkichining statik xarakteristikasi quyidagicha ifodalanadi:

$$U_{chiq} = \frac{L_2 \omega U_{ChO'G} (w_1 / w_2)}{\sqrt{(R_{qo'sh} + R_{w_2})^2 + (\omega L_2 - 1/\omega C)^2}},$$

$$L_2 = \frac{w_2^2 \mu_0 b}{\delta} x,$$

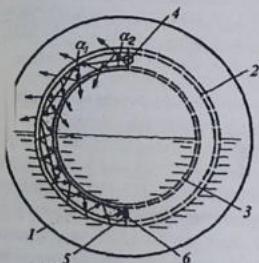
bunda  $b$  va  $\delta$  - mos ravishda magnit o'tkazgich eni hamda uning o'zaklari orasidagi havoli tirgish;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Gn/m}$  - magnit doimiysi;  $\omega = 2\pi f$  - ChO'G ning burchak chastotasi;  $R_{w_2}$  - chiqish chulg'ami  $w_2$  ning aktiv qarshiligi;  $U_{ChO'G}$  - ChO'G chiqish kuchlanishi.

Rezonans holatida  $\varphi = 0$  ta'minlanadi, binobarin chastotaning o'zgarish qonuni  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  ni hisobga olib  $U_{\text{chiq}}$  ifodasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$U_{\text{chiq}} = \frac{w_1 w_2 \mu_0 b \omega U_{\text{ChO}^G}}{\delta (R_{\text{qo'sh}} + R_{w_2})} x.$$

Yuqoridagi ifodalarni solishtirish natijasida ko'rish mumkinki, o'lchash o'zgartkichning chiqish kuchlanishi uning o'lchash doirasida rezonans konturining aslligiga teng marta oshadi.

4.34 - rasmda burchak siljishni o'lshashda qo'llaniluvchi (prof. Azimov R.K. va dot. Siddiqov I.H. tomonidan yaratilgan) optoelektron o'zgartkichning konstruktiv sxemasi keltirilgan. O'zgartkich ichi g'ovak-halqa ko'rinishida yasalgan va qisman suyuqlik bilan to'ldirilgan korpus, yorug'lik nurlarini o'tkazgichlar 2, 3, yorug'lik manbai 4, yorug'likni qabul qiluvchi elementi 5, 6 lardan tashkil topgan bo'lib, suyuqlik yorug'lik o'tkazgichlar va quti oraliq'dagi bo'shliqni ham qisman to'ldirib turadi.



4.34 - rasm. Burchak siljishni o'lshashda qo'llaniluvchi optoelektron o'zgartkichning konstruktiv sxemasi

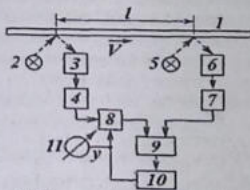
O'zgartkich quydagicha ishlaydi. Yorug'lik oqimi yorug' o'tkazgich devorlaridan bir necha bor akslanib yorug'lik qabul qiluvchi elementlarga yetib boradi. Agar burilish burchagi o'lchanishi kerak bo'lgan ob'ekt (chizmada ko'rsatilmagan) vertikal holatda bo'lsa, u holda suyuqlik yorug'lik manbai 4 va uni qabul qiluvchi element 5, 6 larga nisbatan simmetrik joylashadi. Buning natijasida yorug'lik akslanishining integral koeffitsiyenti yorug'lik manbai 4 ning chap va o'ng tomonidagi yarim halqalarda bir xil qiymatga ega bo'ladi hamda yorug'lik qabul qiluvchi elementlar chiqishida signallar o'zaro teng bo'ladi. Halqasimon korpus ma'lum burchakka burilganda yorug'lik o'tkazgichlarning suyuqlika botgan qismlari o'zgaradi va natijada yorug'lik akslanishining integral koeffitsiyentlari o'zgaradi: bir yarim halqaga ortadi, ikkinchi yarim halqada esa kamayadi. Buning oqibatida yorug'likni qabul qiluvchi elementlar chiqishida signallar ob'ektning holatiga proporsional ravishda o'zgaradi. Ushbu signallar farqi ob'ektning burilish burchagiga proporsional bo'ladi.

### 4.11.3. Tezlikni o'lchash

Boshqariluvchi yoki nazorat qilinuvchi ob'ekt tezligi va tezlanishi uning siljishi bilan bevosita bog'langanligi sababli, tezlikni o'lchashda siljish o'lchash o'zgartkichlari chiqishidagi signalni differensiallovchi qurilmadan o'tkazish usulidan foydalanish mumkin. Bunda analog signalni differensiallashda signal shaklini va talab qilinayotgan o'lchash aniqligini hisobga olgan holda passiv differensiallovchi zanjirlar, transformatorlar (uning chiqishidagi signal magnit oqimi o'zgarishga proporsional) va aktiv differensiallovchi (operatsion kuchaytirgichlar bazasidagi) zanjirlar qo'llaniladi.

Shu bilan bir qatorda aksariyat hollarda chiqish signali bevosita tezlikka proporsional bo'lgan o'lchash o'zgartkichlaridan ham foydalaniladi. Amalda induksion, elektrostatik, pezoelektrik, korrelyatsion, Dopler effekti asosidagi, optik, dinamik va boshqa usuldagi tezlik o'lchash o'zgartkichlari keng qo'llaniladi.

4.35 - rasmda korrelyatsion usul asosida tasma tezligini o'lchash sxemasi keltirilgan.



4.35 - rasm. Korrelyatsion usul asosida tasma tezligini o'lchash sxemasi

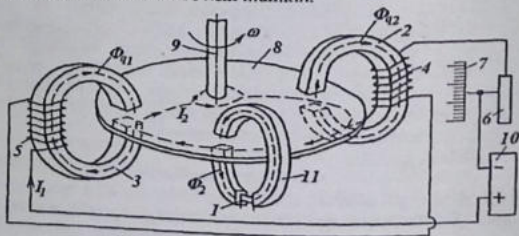
Bir-biridan  $l$  masofada ikkita optik tizim joylashtirilgan bo'lib, ularning tarkibiga ikkita yorug'lik manbai 2 va 5 hamda optik o'zgartkichlar 3 va 6 kiradi. O'zgartkichlarning chiqish signallari kuchaytirgichlar 4 va 7 yordamida kuchaytiriladi va korrelyator 9 kirishiga beriladi. Bunda kuchaytirgich 4 chiqishidagi signal kechikishi rostlanuvchi blok 8 orqali o'tkaziladi. Tezligi o'lchanishi lozim bo'lgan tasma sirtining bir jins emasligi tufayli yorug'lik manbalaridan uning sirtiga tushayotgan

nurlar ravshanligi modulyasiyalanadi va optik o'zgartkichlar orqali ularning chiqishidagi elektr signalini modulyasiyalanishiga olib keladi. Ikkala kuchaytirgich chiqishlaridagi signallar o'zaro korrelyatsion unksiyasi  $\tau_x = l/V$  vaqt mobaynida maksimumga ega bo'ladi. Bu vaqt ismani birinchi optik tizimdan ikkinchisigacha bo'lgan  $l$  masofani bosib o'tishiga ketgan vaqtga teng. Kuchaytirgich 4 chiqishidagi signalni  $\tau_x$  vaqtga kechirish ekstremal rostlagich chiqishidagi signal yordamida boshqariluvchi blok 8 yordamida amalga oshiriladi.  $\tau_x$  kechikish vaqtiga proporsional bo'lgan kattalik hisoblash qurilmasi 10 ga beriladi. Bu qurilmaning darajasi tasma harakat tezligi bo'yicha darajalangan bo'ladi.

Tezlikni korrelyasion usul yordamida o'lchash suv kemalari dengiz tubiga nisbatan tezligini, poyezdlarni relsga nisbatan tezligini aniq o'lchashda keng qo'llaniladi. O'lchash xatoligi o'rtacha 0,1% ni tashkil etadi.

Samolyotlar, avtomobillar, poyezdlar va boshqa tez harakatlanuvchi ob'ektlar teziigini masofadan turib (distansion) o'lchashda Dopler effektiga asoslangan usuldan foydalanish mumkin. Bu effektga ko'ra agar akustik to'lqin uzatuvchi, qabul qiluvchi yoki uni qaytaruvchi qurilma v tezlikda harakatlanayotgan bo'lsa, u holda qabul qilingan to'lqin chastotasi uzatilayotgan to'lqin chastotasidan  $V$  tezlikka proporsional bo'lgan kattalikka farq qiladi. Shuning uchun ham Dopler effektiga asoslangan o'zgartkichning chiqish signali vazifasini uzatilayotgan va qabul qilinayotgan to'lqinlar chastotasining farqi bajaradi. Bu usuldan suyuqlik sarfini o'lchashda ham keng foydalaniladi. Bu usul aniqligi yuqori bo'lishiga qaramay o'lchash sxemalarining murakkabligi sababli ko'pincha faqat ilmiy tadqiqotlardagi o'lchashlarda qo'llaniladi.

Ayrim hollarda faqat ma'lum qiymatli tezliklarni qayd etish lozim bo'ladi. Bu vazifani 4.36 - rasmda keltirilgan (prof. Zaripov M.F., dots. G'oziyev A.X. va prof. Mamajonovlar tomonidan taklif etilgan) tezlik datchigi yordamida amalga oshirish mumkin. Datchik: gerkon 1; elektromagnitlar 2, 3; chulg'amlar 4, 5; reostat 6; daraja 7; elektr o'tkazgich materialdan yasalgan disk 8; val 9; manba 10 va magnit o'tkazgich 11 dan tashkil topgan. Reostat 6 ning qo'zg'aluvchan kontaktli shkala 7 ga mahkamlangan. Manba 10 o'zgarmas yoki o'zgaruvchan kuchlanish manbai bo'lishi mumkin.



4.36 - rasm. Tezlik datchigi sxemasi

Datchik quyidagicha ishlaydi. Disk 8 harakatlanmagan paytda va elektromagnitlar o'zgarmas kuchlanish manbaidan ta'minlanganda ularda hosil bo'lgan magnit oqimlari diskda e.yu.k. hosil qilmaydi. Bu holatda gerkon 1 ning kontaktlari o'zaro ajralgan holatda bo'ladi. Disk 8 val 9 bilan birga aylanishni boshlaganda diskda elektromagnit induksiya qonuniga binoan e.yu.k.lar hosil bo'ladi. Elektromagnitlar magnit oqimlari diskni turli yo'nalishlarda kesib o'tganligi bois diskda hosil bo'lgan e.yu.k.lar ta'sirida bitta uyurmaviy tok  $I_2$

hosil bo'ladi. Bu tokning magnit maydoni kuch chiziqlari gerkon kontaktlari orqali birlashadi. Bu magnit oqimning qiymati gerkon kontaktlarini ishga tushirish (ularni tutashtirish) uchun yetarli bo'lgan qiymatga yetganda gerkon ishga tushib o'lchash zanjiriga ma'lumot beradi. Reostat 6 ning kontaktini yuqoriga yoki pastga surish, bizga istalgan tezlikni qayd etish imkonini beradi.

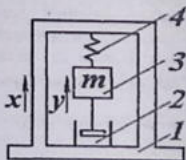
Elektromagnitlar o'zgaruvchan kuchlanish manbaidan ta'minlanganda disk harakatlanmagan paytda ham unda transformatsiya e.yu.k.lari hosil bo'ladi. Lekin, elektromagnitlar magnit oqimlari diskni bir-biriga qarama-qarshi yo'nalishlarda kesib o'tganligi va gerkon elektromagnitlardan bir xil uzoqlikda joylashtirilganligi sababli e.yu.k.lardan hosil bo'ladigan toklarning gerkon joylashtirilgan magnit o'tkazgich 11 dagi natijaviy magnit oqimi nolga teng bo'ladi. Disk harakatga kelganda unda elektromagnitlar magnit oqimlaridan o'zaro qo'shiluvchi generatsiyalangan e.yu.k.lar hosil bo'ladi. Bu e.yu.k.lar ta'sirida diskda hosil bo'lgan toklar magnit maydoni ta'sirida gerkon kontaktlar o'zaro tutashadi.

#### 4.11.4. Tezlanishni o'lchash

Boshqariluvchi yoki rostlanuvchi ob'ektlar tezlanishini siljish yoki tezlik datchiklari chiqish qismlariga differensiallovchi zvenolar ulab o'lchash mumkin. Ammo amaliyotda seysmik rusumli tezlanish o'zgartgich (akselerometr)lari keng qo'llanilib kelinmoqda (4.37 - rasm).

O'zgartkich nazorat qilinuvchi ob'ektga mahkamlangan korpus 1, inersion massa 3, teskari moment hosil qiluvchi prujina 4 va tinchlantirgich vazifasini bajaruvchi dempfer 2 dan tashkil topgan. O'zgartkich quydagicha ishlaydi.

Korpusga  $a = d^2x/dt^2$  tezlanish berilganda inersion massa  $F = ma$  kuch ta'sirida  $y$  masofaga siljiydi. Bu siljish  $F$  kuch to prujinaning teskari ta'sir etuvchi kuchi bilan tenglashguncha davom etadi. Bunda inersion massaning  $y$



4.37 - rasm.

Seysmik tezlanish o'zgartgich sxemasi

siljish o'zgartkichning kirish kattaligi bo'lgan  $a$  tezlanish bilan quydagicha bog'langan:

$$y = mca,$$

bu yerda  $c = 1/W$  prujinaning elastikligi (sig'imi),  $W$  - uning bikrligi.

Inersion massaning  $y$  siljishi avvalgi paragraflar tanishib chiqilgan siljish o'zgartkichlarining biri yordamida elektr signalga aylantiriladi.

Agar nazorat qilinayotgan ob'ekt tezlanishi vaqt bo'yicha o'zgarib tursa, u holda o'zgartkich bo'yicha o'zgarib tursa, u holda o'zgartkich qo'zg'aluvchan qismi (inersion massa) tebranma harakat qiladi va bu holat akselerometr (tezlanish o'lchagich)ning dinamik xarakteristikalarini yomonlashishiga olib keladi. Shuning uchun

akselerometrlarning deyarli barcha konstruksiyalarida inersion massa tebranishini tez so'ndiruvchi dempfer elementi 2 nazarda tutiladi. Dempferlarda ko'pincha inersion massani korpusga nisbatan tezligiga proporsional bo'lgan (suyuq tinchlantirgich) ishqalanish kuchidan foydalaniladi va uning qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$F_g = R \left( \frac{dy}{dt} \right),$$

bunda  $R$  - qovushqoq ishqalanish koeffitsiyenti.

Inersion massaning korpusga nisbatan harakati quydagi operator ko'rinishidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$y(p) = \frac{T_1 T_2 p^2 x(p)}{T_1 T_2 p^2 + T_2 p + 1},$$

bu yerda  $T_1 = m/R$ ;  $T_2 = R/W$ .

Vaqt bo'yicha tez o'zgaruvchan tezlanishlarni o'lchashda akselerometrning amplituda-chastota xarakteristikasi muhim ahamiyat kasb etadi. U quydagicha aniqlanadi:

$$y = \frac{a}{\omega_0^2 \sqrt{(1 - \beta^2)^2 + (2\beta\nu)^2}},$$

bu yerda  $\omega_0 = 1/\sqrt{T_1 T_2} = \sqrt{W/m}$  - akselerometrning xususiy tebranishlar chastotasi;  $\beta = \omega/\omega_0$  - majburiy tebranishlar chastotasini xususiy tebranishlar chastotasiga nisbati;

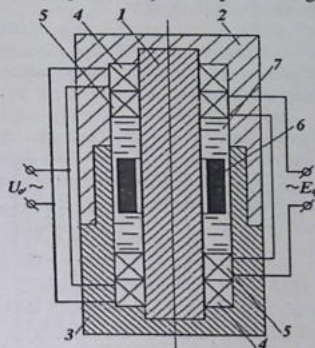
$$\nu = 1/(2\sqrt{T_2/T_1}) = R/(2\sqrt{mW}) - dempferlash koeffitsiyenti.$$

Amplituda-chastota xarakteristikasining yuqorida keltirilgan tenglamasi tahlili shuni ko'rsatadiki,  $\nu = 0,6 \div 0,7$  va  $\omega < 0,25\omega_0$  bo'lganda akselerometr dinamik xatoligi juda kichik qiymatga ega bo'ladi.

Seysmik tezlanish o'lchash o'zgartkichlari titrash parametrlarini (titrash siljishi, tezligi, tezlanishi) o'lchashda o'llanilishi mumkin. Bunda  $\omega$  va  $\omega_0$  munosabati boshqacha tanlanadi. Masalan,  $\nu = 0,5 \div 0,6$  va  $\omega > 3\omega_0$  bo'lganda  $y/x \approx 1$  bo'lib, inersion massa amalda harakatlanmaydi va korpus unga nisbatan sijish bilan tebranadi.

Chiziqli tezlanishni o'lchashda (prof. Zaripov M.F. tomonidan taklif qilingan) elektromagnit usul asosida ishlaydigan akselerometr konstruksiyasi 4.38 - rasmda keltirilgan. Akselerometr ferromagnit silindr 1 va tashqi ferromagnit silindr 2 va 3 dan iborat berk magnit o'tkazgich, uning har ikkita asoslarida o'rnatilgan ikkita qismli qo'zg'atuvchi 4 va o'lchash 5 chulg'amlaridan tashkil topgan bo'lib, silindr 1 ga qisqa tutashtirilgan chulg'am vazifasini

bajaruvchi mis yoki alyuminiy halqa – elektromagnit ekran 6 siljish imkoniyatiga ega holda kiydirilgan. Akselerometr dinamik xarakteristikasini yaxshilash maqsadida magnit o'tkazgich ichki bo'shlig'i transformator moyi 7 bilan to'ldirilgan (suyuq tinchlantirgich). Qo'zg'atish chulg'amlarining e.yu.k.qismlari parallel, o'lchash chulg'amlarining qismlari esa ketma-ket va induktiv jihatdan qarama-qarshi ulangan.



4.38 – rasm. Elektromagnit akselerometr konstruksiyasi

bu yerda  $m$  - elektromagnit ekran massasi,  $W = df/dx$  - elektromagnit prujina bikrligi,  $f$  - elektromagnit ekranga ta'sir etuvchi natijaviy elektromagnit kuch.

Agar magnit o'tkazgich magnit qarshiligini nolga ( $\mu = \infty$ ) teng deb qabul qilsak, u holda o'lchash chulg'amida induksiyalanadigan e.yu.k.ni elektromagnit ekran siljishiga bog'liqligi quyidagicha aniqlanadi:

$$E_{o'} = U_q \frac{w_{o'}}{w_q} \left[ \frac{1+x}{\sqrt{K_R^2 + (1+x/X_M)^2}} - \frac{1-x}{\sqrt{K_R^2 + (1-x/X_M)^2}} \right],$$

bu yerda  $U_q$  - qo'zg'atish chulg'amiga beriladigan kuchlanish,  $w_{o'}$  - o'lchash chulg'amining o'ramlar soni,  $X_M$  -  $x$  koordinataning maksimal qiymati,  $K_R = R/(\omega w_q^2 g X_M)$  - koeffitsiyent,  $R = R_q + \sqrt{2} w_q R_e$  - akselerometr qo'zg'atish zanjirining aktiv qarshiligi,  $R_q$  - qo'zg'atish chulg'amining aktiv qarshiligi,  $R_e$  - elektromagnit ekraning aktiv qarshiligi.

Akselerometning statik xarakteristikasi quyidagicha teng:

Akselerometning qo'zg'aluvchan qismi - elektromagnit ekran 6 ga qo'zg'atuvchi chulg'amning har bir qismidan quyidagi ifoda bilan aniqlanuvchi kuch ta'sir qiladi:

$$F = \frac{I^2 d(w_q^2 g l)}{2 dl},$$

bu yerda  $I$ ,  $w_q$  - qo'zg'atuvchi chulg'am toki va undagi o'ramlar soni,  $g$  - silindrlar orasidagi oraliqning solishtirma magnit o'tkazuvchanligi,  $l$  - magnit o'tkazgich chekkasi (chulg'amlar) dan elektromagnit ekrangacha bo'lgan masofa.

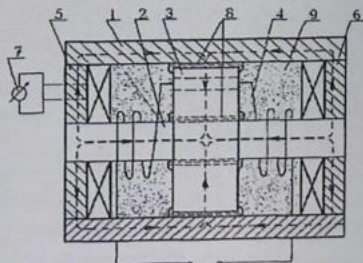
Akselerometr  $a$  tezlanish ta'sirida bo'lganda elektromagnit ekran 6 inersiya va elektromagnit kuchlar ta'sirida  $x = ma/W$  masofaga siljiydi,

$$E_o = \frac{w_q w_o m \omega^2 g X_m^2}{2U_q} a.$$

Shuni aytib o'tish joizki, ushbu akselerometr statik xarakteristikasining nohiziqlik darajasi 0,5% dan oshmaydi. Yaxshi texnik xarakteristikalariga ega bo'lganligi bois u "Львовприбор" zavodida ishlab chiqarilgan.

4.39 - rasmda (Toshkent temir yo'l muhandislari institutining "Elektr ta'minoti va mikroprotessorli boshqaruv" kafedrasida prof. S.F. Amirov va aspirant X.A. Sattarovlar tomonidan taklif qilingan) induksion turdagi burchak tezlanish o'zgartkichining konstruktiv sxemasi keltirilgan.

O'zgartkich silindrsimon magnit o'tkazgich - quti 1, silindrsimon o'q 2, unga kiydirilgan va aylanish imkoniyatiga ega bo'lgan inersion element 3, momentsiz tok o'tkazuvchi prujina 4, xalqali elektromagnitlar 5 va 6, toki rostlanadigan manba 7, ferromagnit suyuqlik 8 dan tashkil topgan bo'lib, qutining ichki bo'shlig'i bosim ostidagi havo 9 bilan to'ldirilgan.



4.39 - rasm. Burchak tezlanish induksion o'zgartkichining konstruktiv sxemasi

O'zgartkich quyidagicha ishlaydi. O'zgartkich tezlanishi o'lchanayotgan objektga

mahkamlanadi. Korpus 1 objekt bilan bir xil tezlikda aylanganda, xuddi shunday tezlik bilan inersion element 3 ham aylanadi va prujinasimon cho'lg'am 4 chiqishidagi e.yu.k.nolga teng bo'ladi.

Ob'ektga tezlanish ta'sir qilganda inersion element 3 tezligi korpusning tezligiga nisbatan orqada qola boshlaydi va natijada prujinasimon cho'lg'amda o'ramlar soni o'zgaradi: masalan, inersion elementdan chap tomonda uning soni ortsa, undan o'ng tomonda kamayadi. Bu o'z navbatida magnit oqimi ilashishini o'zgartiradi va inersion elementning chap va o'ng tomonidagi prujinasimon cho'lg'amlar differensial ulanganligi tufayli ularda hosil bo'lgan e.yu.k.lar qo'shiladi hamda o'zgartkichning chiqishida tezlanishga proporsional bo'lgan signal hosil bo'ladi.

O'zgartkich o'lchash doirasini rostlash manba tokini o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Bunda magnit oqimning o'zgarishi ferromagnit suyuqlik qovushqoqligining o'zgarishiga olib keladi, bu esa inersion element, silindrsimon magnit o'tkazgich va o'qning o'zaro ta'sirlashuvchi yuzalari orasidagi ishqalanish qarshiligini o'zgartiradi.

Ob'ektning fazodagi holati o'zgarganda (gorizontal holatdan og'ganda) inersion element quti bo'shlig'idagi havo bosimlarining farqi ta'sirida yuzaga keluvchi kuch yordamida aylanish o'qining o'rtasida ushlab turiladi.

Ushbu o'zgartkich chiziqli tezlanishni o'lchashda ham qo'llanilishi mumkin.

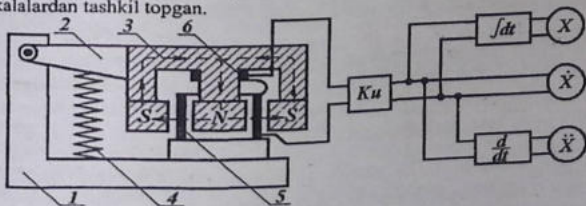
#### 4.11.5. Titrash parametrlarini o'lchash

Sanoat, qishloq va suv xo'jaligi, transport va xalq xo'jaligining boshqa sohalarida mashinalar, apparatlar va boshqa ob'ektlarda yuzaga keladigan titrash (siljish, tezlik va tezlanish) parametrlarini o'lchash muhim ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa transport (avtomobil, poyezd, samolyot, raketa, kema) vositalarining yangi mashina, qurilma va uskunalarini sinashda titrash parametrlarini aniq o'lchash talab etiladi. Bu ob'ektlarda titrash nisbatan kichik (0+60 Gs) chastota diapazonda sodir bo'ladi.

Titrash parametrlarini o'lchashda nazariy jihatdan avvalgi paragraflarda ko'rib chiqilgan o'lchash o'zgartkichlarining barchasi qo'llanilishi mumkin. Ammo amaliyotda aksariyat ko'pchilik hollarda pezoelektrik, induksion, induktiv, transformator va tenzometrik o'zgartkichlardan foydalaniladi.

Titrash parametrlari (siljish, tezlik va tezlanish)ni o'zaro differensial va integral munosabatlar bilan bog'langanligini inobatga olib, titrash tezlanishini o'lchovchi o'zgartkich chiqish signalini o'zaro ketma-ket ulangan ikkita integrallovchi zanjir kirishiga berish orqali siljishni yoki aksincha titrash (vibro) siljishni o'lchovchi o'zgartkich chiqishidagi signalni o'zaro ketma-ket ulangan ikkita differensiallovchi zanjir kirishiga uzatib, ob'ekt titrashining tezlanishiga proporsional bo'lgan signalni hosil qilish mumkin.

Misol tariqasida 4.40 - rasmda keltirilgan vibro'zgartkich sxemasini ko'rib chiqamiz. Bu o'zgartkich asos 1, dastak 2, radial havo tirqishiga ega bo'lgan kuchli maydonli doimiy magnit 3, prujina 4, asosiy 5 va qo'shimcha 6 g'altakl kuchaytirgich ( $Ku$ ), integrallovchi ( $\int dt$ ) va differensiallovchi ( $d/dt$ ) zanjir hamda siljish ( $X$ ), tezlik ( $\dot{X}$ ) va tezlanish ( $\ddot{X}$ ) bo'yicha graduirovka qilingan shkalalardan tashkil topgan.



4.40 – rasmda. Vibro'zgartkich sxemasini

O'zgartkich quyidagicha ishlaydi. Asos 1 o'zgartkich tebranish tizimining xususiy chastotasiga nisbatan ancha katta bo'lgan chastota bilan tebrangan (titragan)da inersion element vazifasini bajaruvchi doimiy magnit 3 qo'zg'almasdan turadi, g'altak 5 esa doimiy magnit havo tirqishi bo'ylab amplitudasi tebranishi o'lchanayotgan kattalik amplitudasiga teng bo'lgan tebranma harakat qiladi. Buning natijasida g'altak 5 da titrash tezligiga proporsional bo'lgan EYuK induksiyalanadi. Bu EYuK kuchaytirgich ( $K_u$ ) orqali  $\dot{X}$  ni qayd etuvchi qurilmaga beriladi Ammo bu o'zgartkich tashqi magnit maydoni ta'siriga o'ta sezgir. Ushbu ta'sirni yo'qotish maqsadida doimiy magnitning o'rta sterjeniga o'ramlarining soni asosiy g'altak o'ramlari soniga teng bo'lgan qo'shimcha g'altak 6 o'raladi. 5 va 6 g'altaklar induktiv jihatdan qarama-qarshi ulanganligi sababli tashqi magnit maydonidan g'altaklarda hosil bo'lgan EYuK lar o'zaro kompensatsiyalanadi.

Ko'rib chiqilgan o'lchash o'zgartkichi yordamida titrash tezligidan tashqari titrash tezlanishi va siljishi haqida ma'lumot olish uchun kuchaytirgich chiqishiga yana ikkita o'lchash asbobi differensiallovchi ( $d/dt$ ) va integrallovchi ( $\int dt$ ) zanjirlari orqali ulanadi.

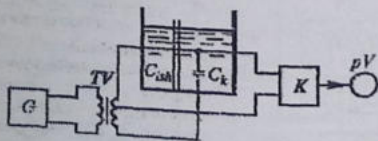
O'lchash asboblari sifatida yorug' nurli ossillograf vibratori qo'llanilishi mumkin. Bunda  $X$ ,  $\dot{X}$  va  $\ddot{X}$  larga proporsional bo'lgan signallar kinoplyonkaga qayd etiladi.

Induksion prinsipdagi vibrometrlar asosan chastotasi 20 Gs dan 500 Gs gacha bo'lgan titrash parametrlarini o'lchashda ishlatiladi. Chastota 500 Gs dan ortiq bo'lganda esa amalda faqat pezelektrik vibrometrlardan foydalaniladi.

## 4.12. Hidravlik kattaliklarni o'lchash

### 4.12.1. Suyuqlik sathini o'lchash

Suyuqliklarning sathi, asosan, elektr sig'im, ultratovush, elektromagnit va reostat o'zgartkichlar yordamida o'lchanadi. Oddiy suv sathini o'lchash uchun



ishchi ( $C_{ish}$ ) va kompensatsion ( $C_k$ )

kondensatorlardan

foydalaniladi (4.41- rasm).

Sig'im o'zgartkich

sinusoidal kuchlenish

manbaiga ulanadi. Suv sathi

o'zgarganda, ishchi

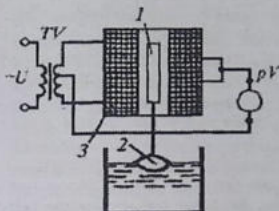
kondensatorning sig'imi

ham o'zgaradi.

4.41 – rasm. Suyuqlik sathi o'lchash uchun foydalaniladigan sig'im o'zgartkich sxemasi

Transformatorning ikkilamchi chulg'amlari va  $C_{ish}$ ,  $C_k$  sig'implar ko'prik sxema ko'rinishida ulangan. Ko'prik sxemasining o'lchash diagonalidan olingan kuchlanish kuchaytirgich ( $K$ ) orqali sath bo'yicha darajalangan o'lchash asbobi ( $pV$ ) ga beriladi.

Induktiv sath o'lchagichlarda suyuqlik sathi po'kak yordamida o'zakning



4.42 - rasm. Induksion o'zgartkichli po'kakli sath o'lchagichning sxemasi.  
1-o'zak; 2-po'kak; 3-g'altak.

holatini o'zgartiradi (4.42 -rasm). Induktiv o'zgartkichlarda signal ancha katta bo'lganligi sababli kuchaytirgich talab qilinmaydi. Lekin o'lchash doirasi kattalashgan sari statik xarakteristikaning nochiziligi natijasida o'lchash xatoligi kelib chiqadi.

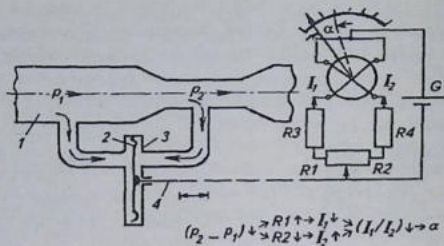
#### 4.12.2. Suyuqlik sarfini o'lchash

Suyuqlik sarfini o'lchashda o'zgarmas va o'zgaruvchan bosimlar farqi, taxometrik, issiqlik elektromagnit, ultratovush, optoelektron, lazer-dopler va boshqa rusumli o'lchash o'zgartkichlaridan foydalaniladi. Ularning har biri ma'lum

afzallik va kamchiliklarga ega: o'zgaruvchan bosimlar farqiga asoslangan o'zgartkichlar tor o'lchash doirasiga ega, quvirning o'zgartkich o'rnatilgan joyi bosim yo'qolishi katta, o'zgartirish funksiyasi nochiziq va nomo'tadil; doim bosimlar farqiga asoslangan o'zgartkichlar vertikal joylashtirishni taqozo etad tashqi mexanik va issiqlik ta'sirga sezgir, xatoligi yuqori; issiqlik o'zgartkichlarning vaqt doimiysi katta (10 s gacha); ultratovush, optoelektron va lazer-dopler o'zgartkichlari tashqi mexanik ta'sirga sezgir va suyuqlikning tarkibiga bog'liq hamda narxi qimmat; elektromagnit o'zgartkichlar faqat elektr o'tkazuvchi suyuqliklar sarfini o'lchashda qo'llanilishi mumkin va h.k.

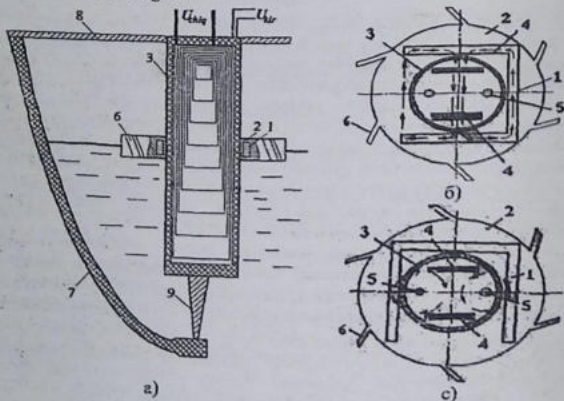
Quyida yuqorida qayd etib o'tilgan suyuqlik sarfini o'lchovchi o'zgartkichlarning ayrimlari bilan tanishib chiqamiz.

4.43 - rasmda o'zgaruvchan bosimlar farqini o'lchashga asoslangan o'zgartkichning konstruktiv sxemasi keltirilgan. U ko'ndalang kesim yuzasi qisqarib boruvchi quvir 1, kamera 2, membrana 3, ignasimon o'q 4 va ko'prik sxemasidan tashkil topgan. Bu o'zgartkichda  $P_1$  va  $P_2$  bosimlar farqi membrana va unga mahkamlangan ignasimon o'q yordamida mexanik siljishga o'zgartiriladi. Ignasimon o'q ko'prik yelkasidagi rezistor qo'zg'aluvchan kontaktiga mahkamlangan. Ignasimon o'qning siljishi ko'prikni muvozanat holatidan chiqaradi va natijada ko'prikka ulangan logometrik o'lchash mexanizmi milini  $\alpha$  burchakka buradi. Bosimlar farqini burchak siljishiga o'zgartirilish ketma-ketligi 4.43 - rasmda sxematik ko'rsatilgan.



4.43 – rasm. O'zgaruvchan bosimlar farqini o'lchashga asoslangan o'zgartkichning konstruktiv sxemasi

4.44 - rasmda (prof. Azimov R.K. va dots. Siddiqov I.H. tomonidan taklif qilingan) suyuqlik sarfini o'lchovchi po'kakli o'zgartkichning konstruktiv sxemasi keltirilgan. O'zgartkich  $\Pi$ -simon magnit o'tkazgich 1, po'kak 2, silindrik dielektrik quti 3, yassi o'lchash 4 va qo'zg'atish 5 chulg'amlari, po'kak qanotlari 6 dan tashkil topgan. O'zgartkich kanal 7 ga tutqishlar 8 va 9 yordamida mahkamlangan.



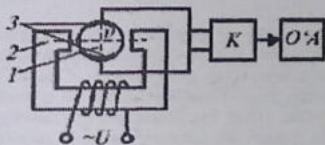
4.44 – rasm. Suyuqlik sarfini o'lchovchi po'kakli o'zgartkichning konstruktiv sxemasi

O'zgartkich quydagicha ishlaydi. Qo'zg'atish chulg'ami 5 ga o'zgaruvchan kuchlanish berilganda magnit o'tkazgich 1 magnit zanjiri bo'ylab  $\Phi_1$  va  $\Phi_2$  magnit oqimlari hosil bo'ladi (4.44 - rasm, b). Bu magnit oqimlar yassi o'lchash chulg'amini magnit o'tkazgich 1 ning 4.44 - rasm, b dagi holatida maksimal kesib o'tadi va unda e.yu.k.ni induksiyalaydi. 4.44 - rasm, c dagi holatda  $\Phi_1$  va  $\Phi_2$  magnit oqimlar o'lchash chulg'amini deyarli kesib o'tmaydi va shuning uchun ham unda e.yu.k. hosil qilmaydi. Kanal 7 dan ma'lum bir tezlikda suyuqlik (masalan, suv) oqib o'tganda po'kak 2 qanotlar 6 vositasida silindrsimon dielektrik quti 3 atrofida suyuqlik tezligiga proporsional bo'lgan tezlik bilan aylanadi va yassi o'lchash chulg'amida davriy o'zgaruvchan e.yu.k. hosil bo'ladi. Bu e.yu.k.ning chachtotasi suyuqlik tezligiga, amplitudasi esa kanalidagi suyuqlikning sathiga proporsional bo'ladi. Bu signalga o'lchash sxemasi (ikkilamchi o'zgartkichlar) yordamida ishlov beriladi va uning chiqishidagi signal kanalidagi suyuqlikning sarfiga proporsional bo'ladi.

Elektromagnit (induksion) suv sarfi o'zgartkichlarining (4.45 - rasm) ishlash asosi elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan bo'lib, unga muvofiq magnit maydonidan o'tayotgan suyuqlik sarfiga proporsional e.yu.k. elektrodlar yordamida kuchaytirgich orqali o'lchash asbobi zanjiriga beriladi. Bu e.yu.k.

$E = Bdv = Bd \frac{Q}{S}$  ifoda bilan aniqlanadi, bu yerda:  $B$  - maydon induksiyasi;

- elektrodlar orasidagi masofa;  $v$  - suyuqlikning o'rtacha tezligi;  $S$  - quvurni ko'ndalang kesim yuzi;  $Q$  - s sarfi.



4.45 - rasm. Induksion suyuqlik sarfi o'lchagichning konstruksiyasi va o'lchash zanjirining struktura sxemasi.

1-yopiq quvur; 2-magnit tizimi;

3-elektrodlar; K-kuchaytirgich;

O'A-o'lchash asbobi.

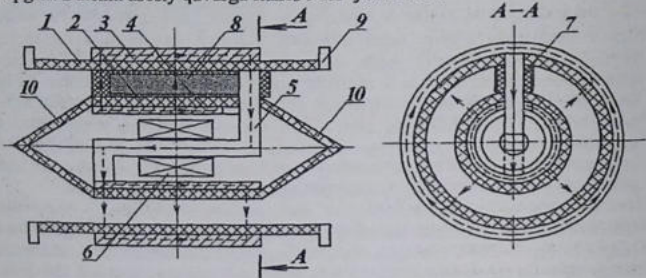
**Afzalliklari:** bunday o'zgartkichlarda qo'shimcha gidravlik qarshilik yo'q, tezkor, ko'rsatishi suyuqlikning fizik xossalriga deyarli bog'liq emas.

**Kamchiligi:** qutblanish va transformatsiya e.yu.k.lari hisobiga aniqlik yuqori emas.

Suv sarfi o'lchagichning yuqorida keltirilgan konstruksiyasi ayrim kamchiliklarga ega. Chunonchi, quvurdan oqayotgan suv tezligining quvur diametri bo'yicha

taqsimlanish epyurasi nolaminar bo'lganda o'lchagichning aniqligi birmuncha pasayib ketadi. Bundan tashqari, chiqish signalining kattaligi elektrodlar orasidagi masofaga to'g'ri proporsional bo'lganligi sababli o'lchagichning sezgirligi nisbatan kichik qiymatga ega. Ushbu kamchiliklardan holi bo'lgan (prof. Zaripov M.F va boshq. tomonidan yaratilgan) suv sarfini elektr kattalikka o'zgartirib beruvchi elektromagnit datchikning konstruksiyasi 4.46 - rasmda

keltirilgan. Datchik izolyasion materialdan yasalgan quvur 1 va halqa 2, ichki va tashqi silindrsimon qutb boshmoqlari 3,4, ularni o'zaro tutashtiruvchi L - simon magnit o'tkazgich 5, uning asosiga o'ralgan qo'zg'atuvchi chulg'am 6 va yassi izolyasion plastina 7 ga joylashtirilgan yupqa elektrodlar 8 dan tashkil topgan. Datchik asosiy quvurga flanes 9 lar yordamida



4.46 – rasm. Suv sarfini o'lchovchi elektromagnit datchikning konstruksiyasi

mahkamlanadi. Gidravlik qarshilikni kamaytirish maqsadida halqa 2 konfuzorlar 10 bilan ta'minlangan.

Qo'zg'atish chulg'amiga o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok berilganda datchikning magnit tizimida magnit maydoni hosil bo'ladi. Bu maydon qutb boshmoqlari crasidagi halqasimon oraliqda bir tekis taqsimlangan. Chunki, bu oraliqdagi magnit kuch chiziqlari yo'lidagi magnit qarshiliklar bir xil qiymatga ega. Qutb boshmoqlari radiuslarining har xilligi hisobidan yuzaga keladigan magnit qarshiliklar farqini kamaytirish maqsadida ularning qalinligi quyidagi munosabat asosida olingan:

$$\frac{r_i}{h_i} = \frac{r_T}{h_T}$$

bu yerda  $r_i$ ,  $h_i$ ,  $r_T$ ,  $h_T$  - mos ravishda ichki va tashqi qutb boshmoqlarining radiuslari va qalinliklari.

Elektromagnit datchik halqasimon kanali orqali elektr o'tkazuvchi (masalan, suv) suyuqlik oqib o'tganda magnit maydoni ta'sirida unda qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadigan EYuK induksiyalanadi:

$$e = B_1 v_{1d} dl_1 + B_2 v_{2d} dl_2 + \dots + B_n v_{nd} dl_n,$$

bu yerda  $B_i$ ,  $v_i$ ,  $l_i$  - mos ravishda halqasimon kanalning  $i$  - nuqtasidagi magnit maydoni induksiyasi, suyuqlik tezligi va elementar  $dl_i$  qism uzunliklarining qiymatlari.

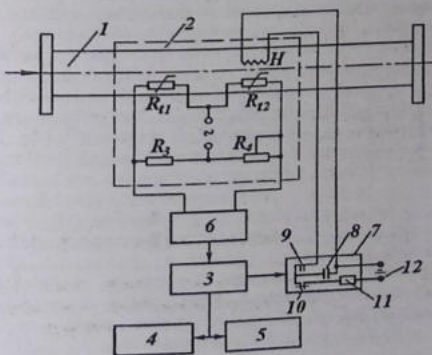
Halqasimon kanalning barcha nuqtalarida  $B = const$  bo'lganligi sababli yuqoridagi ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$e = B \int v dl.$$

Bundan tashqari, elektrodnlarni yupqa plastinalar ko'rinishida yasalishi xalqasimon kanalda hosil bo'ladigan elektr maydoni kuchlanganligining radial yo'nalishdagi notekis taqsimlanishini kamaytiradi.

Shunday qilib, suv sarfi yuqorida keltirilgan datchik yordamida o'lchanganda quvurdagi tezliklar epyurasining o'zgarishi uning ko'rsatishga deyarli ta'sir qilmaydi va uning sezgirligi yuqori bo'ladi. Sezgirlikning yuqori bo'lishiga sabab shuki, taklif etilgan datchikda elektrodlar orasidagi masofa 4.43 - rasmda keltirilgan datchikdagiga nisbatan  $\pi$  marta katta bo'ladi.

4.47 - rasmda (prof. Azimov R.K. va b. tomonidan yaratilgan) issiqlik o'zgartkich asosida ishlaydigan suyuqlik sarfini o'lchagich sxemasi keltirilgan. Sarf o'lchagich quvur 1,  $H$  isitgichli issiqlik o'zgartgich 2, termosezgir elementlar  $R_{t1}$ ,  $R_{t2}$ , qarshiliklar  $R_3$ ,  $R_4$ , rele 3, sarfni qayd etuvchi qurilma 4, sarfni ko'rsatgich 5, ko'rsatgich 6, elektr energiya dozatori 7, kondensator 8, rele 3 ning normal ochiq 9 va yopiq 10 kontaktorlari, rezistor 11 va manba 12 dan tashkil topgan.



4.47 - rasm. Issiqlik o'zgartkich asosida ishlaydigan suyuqlik sarfini o'lchagich sxemasi

Suyuqlik sarfini o'lchagich quyidagicha ishlaydi.  $R_{12}$  termosezgir elementning o'rnatilgan qiymatida rele 3 kondensator 8 ni isitgich  $H$  ga ulaydi. Bunda kondensator o'zida to'plangan energiyani isitgichga uzatadi (razryadlanadi-zaryadsizlanadi) va  $R_{12}$  element qizishi natijasida ko'prik sxema muvozanat holatdan chiqadi. Bu holatda ko'prik chiqishidagi signal kuchaytirilib relega beriladi va uning kontaktlari holatini o'zgartiradi. Kondensator yana qarshilik 11 orqali manbaga ulanadi.  $R_{12}$  element sovib, qarshiligining qiymati avval o'rnatilgan qiymatigacha pasayganda rele kondensatorni yana isitgichga ulaydi va sikl qaytariladi. Bunda  $R_{12}$  elementning sovish vaqti quvurdan o'tayotgan suyuqlik sarfiga proporsional bo'ladi. Shuning uchun ham  $R_{12}$  elementning sovish vaqtini qayd etish orqali suyuqlik sarfi aniqlanadi.

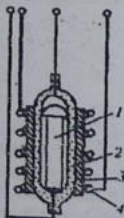
#### 4.13. Namlikni o'lchash

Kimyoviy texnologiya, qishloq xo'jalik va chorvachilik mahsulotlari hamda sanoat mahsulotlari ishlab chiqarilayotgan xonalarning namligini aniqlash (misol uchun, to'qimachilik kombinatlarida) muhim ahamiyatga ega.

Materialning namligi uning massa birligidagi *absolut* yoki *nisbiy* namligi bilan belgilanadi. Jismning *absolut* namligi deb, uning birlik massasidagi suv ug'lari massasiga, *nisbiy* namlik deb, absolut namlikning bo'lishi mumkin bo'lgan *eng katta namlikka* nisbatiga aytiladi.

Namlikni o'lchovchi asboblarning funksiyasiga elektr *o'tkazuvchanlik* (konduktometrik), *elektrik singdiruvchanlik* (dielkometrik) va *yordamchi* moddalarning *elektr va mexanik parametrlarini* o'lchashlar kiradi.

Havoning absolut va nisbiy namligini o'lchash-da ko'p hollarda yarim o'tkazgichli litiy xlorid o'zgartkichdan (4.48 - rasm) foydalaniladi. U himoyalovchi parda (plyonka) 2 bilan qoplangan termorezistor 1 dan iborat.



4.48 - rasm. Yarim o'tkazgichli litiy xlorid o'zgartkich sxemasi

Termorezistor ustiga litiy xloridning to'yingan eritmasi shimdirilgan shisha tolali vtulka 3 o'rnatilgan. Vtulkaning ustiga kumush yoki platina o'tkazgich 4 o'rnatilgan. O'zgartkich havo kirishi mumkin bo'lgan korpusga joylashtirilgan bo'ladi.

O'zgartkich quyidagicha ishlaydi: ma'lum haroratda litiy eritmasi atrof-muhitning namligini so'radi. O'tkazgichdan elektr toki o'tganda, litiy xloridning harorati oshadi va u kristallanib, o'tkazuvchanligi kamayadi.

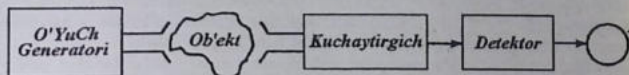
Binobarin, litiy xlorid va uning ichidagi termorezistorning harorati atrof-muhit haroratiga hamda namligiga to'g'ridan-to'g'ri bog'liq bo'ladi. Termorezistorlar qarshiligini o'lchash uchun o'zgarimas tok kompensatorlaridan foydalaniladi.

*Sochiluvchan ashyolar*, misol uchun, *bug'doy, sholi, dorivorlar, kimyoviy moddalar* namligini o'lchash uchun elektrostatik o'zgartkichlar asosida namlik o'lchagichlar ishlab chiqarilgan. Sochiluvchan ashyo(material) namunasi silindrsimon elektrodlar orasiga solinadi. Elektrodlar orasidagi dielektrik singdiruvchanlik o'zgaradi va o'zgaruvchan tok ko'prik muvozanatini buzadi. Ko'prik chiqishidagi kuchlanish dielektrik singdiruvchanlikka, ya'ni namuna namligiga proporsional bo'ladi. Shuning uchun asbob o'lchanayotgan har bir sochiluvchan massa turiga qarab darajalanadi.

Hozirgi vaqtda *tuproq* va boshqa sochiluvchan materiallar namligini *uzluksiz* o'lchash uchun radioizotop namo'lchagichlar qo'llaniladi. Radioizotop manbai sifatida plutoniy-berilliy birikmalar, qabul qiluvchi uskuna sifatida sekinlashgan neytron hisoblagichlar qo'llaniladi.

Radioizotop namo'lchagichlar bilan tuproq, havo va turli sochiluvchan materiallar namligini 1 dan 100 foiz oraliqgacha, 0,5 foiz xatolik bilan o'lchash mumkin.

So'ngi yillarda o'ta yuqori chastotali nam o'lchagichlardan keng foydalanilmoqda. 4.49 - rasmda ularning umumiy funksional sxemasi keltirilgan.



4.49 – rasm. O'ta yuqori chastotali nam o'lchagichning umumiy funksional sxemasi

O'ta yuqori chastotali elektromagnit to'lqin hosil qiluvchi generatordan to'lqin uzatuvchi antenna orqali namligi o'lchanishi lozim bo'lgan ob'ektga beriladi va undan keyin qabul qiluvchi antenna orqali kuchaytirgich kirishiga uzatiladi. Kuchaytirilgan signal tarkibidan namlikka proporsional bo'lgan chastotali signal detektor orqali o'lchash asbobiga beriladi. Antennalar orasiga joylashtirilgan ob'ekt o'ta yuqori chastotali to'lqinda faza bo'yicha siljish hosil qiladi va bu o'lchash zanjiri chiqishidagi signalni o'zgarishiga olib keladi.

Shuni aytib o'tish joizki, paxta va uni urug'i hamda boshqa qishloq xo'jalik maxsulotlari va ularning urug'lari namligini o'ta yuqori chastotali nam o'lchagichlar yordamida aniq o'lchash (sxema va konstruksiyalarini takomillashtirish, mikroprotessor qurilmalari imkoniyatlaridan keng foydalanish, metrologik, ishlatish xarakteristikalarini yaxshilash, metrologik ta'minotini ishlab chiqish va o'lchash vosita va tizimlarini unifikatsiyalash(bir xillashtirish)) sohasida prof. Ismatullayev P.R. rahbarlik qilayotgan ilmiy maktabining salmog'i juda katta.

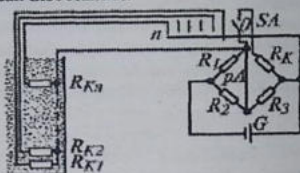
#### 4.14. Haroratni o'lchash

Sanoat, elektroenergetika, kimyoviy texnologiya, qishloq xo'jalik mahsulotlari ishlab chiqarishlarda va boshqa sohalarda *haroratni o'lchash, nazorat qilish va rostlash* muhim masalalardan hisoblanadi.

Harorat *termorezistorlar* va *termojuft* (termopara)lar yordamida o'lchanadi. Ular *muvozanatlangan* va *muvozanatlanmagan* ko'priksxemalarga ulanadi (4.50 - rasm). Bunda ko'priksxemalarning o'lchash diagonaliga yuqori sezgir *magnitoelektrik asbob* va *logometr* ulanadi. Asbobning darajasi harorat bo'yicha darajalanadi.

Energobloklar va boshqa yuqori haroratda ishlaydigan *qurilmalarda termojuft (termopara)* lardan keng foydalaniladi. Asbobsozlik korxonalarida termoparalar bilan birga, *magnitoelektrik millivoltmetrlar, logometrlar, o'zgarimas tokli ko'priksxema asboblari va kompensatorlar* ham ishlab chiqaradi. Ayniqsa, harorat o'lchash natijalarini diagrammali qog'ozga *qayd etuvchi* asboblari ham ko'p tarqalgan.

Termoparali o'lchov asboblari *xatoligining asosiy sabablaridan biri - termopara erkin uchlari haroratining o'zgarishidir*. O'lchash zanjiriga atrof-muhitning harorati ta'sirini kamaytirish, *sezgirligi va aniqligini oshirish* uchun kompensatsion zanjirlardan foydalaniladi.



4.50 - rasm. Termorezistorlar yordamida haroratni o'lchash sxemasi

#### 4.15. Qovushqoqlikni o'lchash

Qovushqoqlik ishlab chiqariladigan mahsulotlar sifatini belgilovchi asosiy ko'rsatkichlardan biridir. Uning qiymatiga ko'ra quvurli o'tkazgichlardagi bosim yo'qotishlarini, suyuqlik va gazlarni quvurdan o'tish tezligini, qovushqoq moddalarni quvurdan o'tkazishda isrof bo'ladigan mexanik va elektr energiyani hisoblash mumkin.

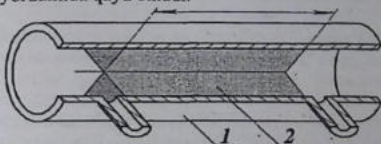
Texnologik jarayonlarda asosiy va yordamchi mahsulotlar qovushqoqligi va boshqa parametrlari asosida unumdorlikni, material, issiqlik va energetik balanslarni aniqlash mumkin. Qovushqoqlik yonilg'ini yonish jarayonida issiqlik berish qobiliyatini, polimerlanish jarayonida esa uglevodorodlarning o'zaro kimyoviy bog'lanish darajasini belgilaydi.

Qovushqoqlikni o'lchashda nay (kapillyar), rotatsion va titratish (vibratsion) o'lchash usullaridan foydalaniladi. Xozirgi vaqtda qovushqoqlikni kapillyar usulga asoslangan o'lchash asboblari - viskozimetrlar keng tarqalgan.

Neftni qayta ishlash, lok-bo'yoq, kimyo sanoatida texnologik suyuqliklardan qovushqoqligini yuqori aniqlikda o'lchash juda muhim. Shuning uchun ham

qovushqoqlikni o'lchashda aniq o'lchash usullari va o'zgartkichridan foydalaniladi. O'zbekistonda qovushqoqlikni o'lchash bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari, asosan, akademik Yusupbekov N.R. rahbarligidagi ilmiy maktab olimlariga tegishli.

Biz quyida qovushqoqlikni o'lchashda qo'llaniladigan birlamchi o'zgartkich konstruktiv sxemasi va uni ishlash asosini qisqacha izohlash bilan cheklanamiz (4.51 - rasm). Bu o'zgartkich Toshkent politexnika institutida prof. Yusupbekov N.R. va boshq. tomonidan tavsiya etilgan. O'zgartkich kapillyar 1 va uni ichiga kesishgan ikkita yupqa plastinka 2 joylashgan bo'lib, undagi bosimlar farqini o'lchash uchun ikkita teshik ko'zda tutilgan. Gorizontol holatda joylashgan kapillyarga doimiy bosim bilan qovushqoqligi o'lchanishi lozim bo'lgan suyuqlik yuboriladi. Suyuqlikning qovushqoqligiga proporsional bo'lgan bosimlar farqi kapillyardagi ikkita teshikka o'rnatilgan manometr (rasmda ko'rsatilmagan) yordamida qayd etiladi.



4.51 – rasm. Qovushqoqlikni o'lchash o'zgartkichining konstruktiv sxemasi

Bu o'zgartkichning afzalligi shundan iboratki, unda kapillyar ichiga plastinalarning joylashtirilishi natijasida kapillyarning suyuqlik bilan ta'sirlashadigan ishchi yuzasi keskin ortishi tufayli uning sezgirliigi keskin ortadi.

#### Amaliy ish

1. Induksion o'zgartkichning asosiy parametrlari va xarakteristikalarini aniqlash.
2. Yuklamaga ulangan va ulanmagan potensimetrik va ko'prik sxemali reostat o'zgartkichning statik xarakteristikasini aniqlash.
3. Sig'im o'zgartkichni hisoblash.

#### 11- laboratoriya ishi

Termorezistiv o'lchash o'zgartkichini darajalash.

#### 12- laboratoriya ishi

Haroratni avtomatik ko'priq yordamida o'lchash va uning aniqlik klassini topish.

### Referat mavzulari

1. Noelektrik kattaliklarni elektrik usullar bilan o'lchashning afzalliklari.
2. O'lchash o'zgartkichlarining klassifikatsiyasi.
3. Elektroenergetikadagi zamonaviy o'lchash o'zgartkichlari.
4. Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishidagi o'lchash o'zgartkichlari.
5. Mikroprosessorli o'lchash o'zgartkichlarining afzalliklari.

### O'z-o'zini sinash savollari

1. Noelektrik kattaliklarni o'lchashda ishlatiladigan o'zgartkichlarga qanday talablar qo'yiladi?
2. O'lchash o'zgartkichlari qanday asosga ko'ra klassifikatsiyalanadi?
3. Elektromagnit o'lchash o'zgartkichlari turlarini ayting.
4. Galvanomagnit o'lchash o'zgartkichlarining ishlash prinsipini aytib bering.
5. Issiqlikni o'lchovchi qanday o'lchash o'zgartkichlarini bilasiz?
6. Fotoelementlarning turlari va ishlatish sohalarini sanab o'ting.
7. Suyuqliklarning sathi va sarfi qanday usullar bilan o'lchanishi mumkin?
8. Qovushqoqlikni o'lchash qanday amalga oshiriladi?
9. Namlikni o'lchash qaysi sohalarda qo'llaniladi?
10. Namlikni o'lchashning qaysi usullarini bilasiz?

## V bob. AXBOROT-O'LCHASH TIZIMLARI

### 5.1. Axborot-o'lchash tizimlari to'g'risida umumiy ma'lumot

Sanoat, elektrtoenergetika, irrigatsiya, kimyoviy texnologiya ishlab chiqarishida nazorat qilinadigan parametrlarning ko'pligi va o'zaro bog'liqligi, jarayonlar sharoitlarining o'zgarib turishi sababli ularni maxsus texnik o'lchash vositalarisiz o'lchash va boshqarish mumkin emas. Shuning uchun ham ishlab chiqarish sharoitida ma'lumotlarni olish, ularni qayta ishlash, saqlash va qulay shaklda uzatish uchun maxsus texnik o'lchash vositalari talab qilinadi. Bu vositalar axborot-o'lchash tizimlari (AO'T) deb yuritiladi.

AO'T - o'zaro funksional bog'langan bir necha fizik kattaliklarni o'lchovchi o'lchash vositalari va yordamchi qurilmalarning majmuasi bo'lib, axborotni olish va saqlash kabi vazifalarni bajaradi.

AO'T vazifasiga ko'ra, o'lchash axborotini to'plovchi tizimlar, texnologik jarayonlarni nazorat qiluvchi tizimlar, diagnostik va teleo'lchash tizimlariga bo'linadi.

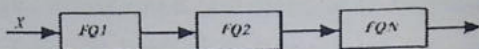
O'lchash axborotini yig'ish uchun mo'ljallangan tizimlar o'lchash tizimlari deb ataladi. Ishlab chiqarish mashinalari va agregatlarining parametrlari avtomatik nazorat qilish uchun xizmat qiladi. AO'T diagnostik tizim, mashina va jihozlarni ishga yaroqliligini tekshirishda, shuningdek, tele o'lchash tizimlarida, ya'ni uzoq masofadagi obyektlardan o'lchash axborotini olishda ham qo'llaniladi.

AO'T ning tarkibidagi elektron hisoblash mashinasi (EHM) o'lchash jarayonini boshqarib, o'lchangan ma'lumotlarga ishlov berish, kompleks ishlashini yagona algoritimga birlashtirish vazifasini bajaradi.

Shuning uchun AO'T tarkibiga kiruvchi funksional qismlar energetik, axborot, metrologik, konstruktiv va ishlatilishi bo'yicha moslangan bo'lishi kerak. Bundan tashqari, AO'T funksional qismlarini birlashtirish uchun ularning elektrik, magnit, mexanik va metrologik xususiyatlari ham unifikatsiyalangan bo'lishi lozim. Bu masalalar standart interfeyslar (inglizcha muvofiqlashtirish so'zidan olingan) yordamida bajariladi. AO'T uchun mo'ljallangan interfeyslar o'lchash interfeyslari deb ataladi. Bunday interfeyslar mikroprotessorlar asosida ishlaydi.

### 5.2. Axborot-o'lchash tizimlarining asosiy strukturalari

Zamonaviy AO'T, ularning funksional qismlari (FQ) orasida axborot signallari almashish usullariga qarab markazlashtirilmagan va markazlashtirilgan AO'T ga bo'linadi. Markazlashtirilmagan boshqarishga ega bo'lgan AO'T da axborot har bir FQ yordamida ketma-ket o'zgartiriladi. (5.1- rasm). Bunday AO'T sodda va arzon bo'lsa-da, imkoniyatlari chegaralangan.



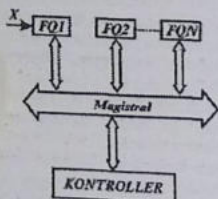
5.1- rasm. Markazlashtirilmagan AO'T struktura sxemasi.

Markazlashtirilgan AO'T da bitta alohida boshqarish qurilmasi – kontroller mavjud bo'lib, ma'lum dastur bo'yicha barcha FQ ish faoliyati vaqt bo'yicha moslashtirilib turiladi. Bu turdagi AO'T *magistral va radial* tizimlarga bo'linadi.

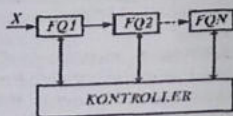
*Magistral strukturali AO'T* da (5.2- rasm) FQ ish faoliyati bir vaqtda boshqariladi. Magistral sxema yordamida kontrollerdan nafaqat boshqaruvchi signal, balki uning manzili (adresi) ham uzatiladi.

*Radial AO'T* da (5.3- rasm) FQ ning o'zaro aloqasi kontroller ishlab chiqaradigan boshqaruvchi signal yordamida amalga oshiriladi. Bu turdagi AO'T da ehtiyojga qarab FQ soni oshirilishi mumkin. Biroq, bu butun tizimni ishlash jarayoniga salbiy ta'sir etadi.

*Radial-magistral strukturali sxemalar* axborotni o'zgartirish tezligi AO'T ning axborot hajmlari va o'zgartirish tezligini oshirishga imkoniyat beradi.



5.2 - rasm. Magistral AO'T struktura sxemasi

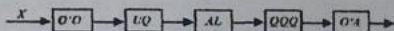


5.3 - rasm. Radial AO'T struktura sxemasi

AO'T ni kelajakda takomillashtirish mikroprotsessor va mikro EHM larni qo'llash, ya'ni o'lchash-hisoblash majmualarini yaratishni taqozo etadi. Energetik tizimlarda murakkab hisoblash va mantiqiy masalalarni yechish lozim bo'lgani uchun axborot hisoblash kompleksi tarkibida murakkab mikroprotsessor tizimlari qo'llaniladi.

**Teleo'lchash tizimlari.** Ko'p hollarda elektr o'lchash vositalari o'lchanadigan obyekt yaqiniga joylashtirilgan. *Teleo'lchash tizimlari (TO'T)* esa ancha uzoq masofada turgan obyektlardan o'lchash axborotini uzatishga imkon beradi. Buning uchun o'lchanayotgan kattalik avval o'lchash o'zgartkichi (OO') yordamida uzatish uchun qulay bo'lgan elektrik kattalikka aylantiriladi

va aloqa uzatish qurilmasi (*UQ*) hamda aloqa liniyasi (*AL*) orqali qabul qilish qurilmasi (*QQQ*) ga uzatiladi. *QQQ* esa signalni o'lchash asbobi (*O'A*) ga beradi (5.4- rasm).



5.4- rasm. Teleo'lchash tizimlarining struktura sxemasi.

*TO'T* har xil belgilarga ko'ra farqlanadi. Uzatiladigan kattalik *turiga ko'ra tok, chastota, vaqt va raqamli TO'T, ishlash asoslariga ko'ra esa analogli, impulsli va raqamli TO'T* ga bo'linadi. *TO'T*, shuningdek, aloqa kanalini *ajratish usuli, aniqlik klassiga ko'ra* ham farqlanadi.

*TO'T* *absolut, nisbiy va keltirilgan* xatoliklari bilan baholanadi. *Asosiy keltirilgan xatolikning qiymatlariga qarab TO'T 0,25; 0,6; 1,0; 2,5 va 4,0 aniqlik klassiga bo'linadi.*

O'lchash vositalaridan farqli o'laroq, *TO'T* ning aloqa kanallariga tash omillar ta'siri ko'proq bo'ladi. Tashqi omillar asosan uch xil bo'lib, ular:

- 1) **fluktatsion** – amplitudasi va vaqt oralig'i har xil bo'ladigan impulslar;
- 2) **sinusoidal** – sanoat qurilmalari va tarmoqlaridan induksiyalangan signallar;
- 3) **impulsli** – atmosferada sodir bo'ladigan hodisalar, har xil elektr qurilmalardan hosil bo'ladigan amplitudasi va vaqt oralig'i turlicha bo'lgan impuls signallar. Bu omillar ta'sirida qo'shimcha xatoliklar yuzaga keladi.

**Analog *TO'T* (*ATO'T*).** *ATO'T* da o'lchanayotgan kattalik uzluksiz elektr signalga aylantirilib, aloqa kanali orqali o'lchash vositalari (*O'V*) ga uzatiladi. *ATO'T* da axborot *tok, kuchlanish, chastota va faza o'zgarishi orqali* uzatiladi.

**Toldi *ATO'T* da** axborot o'zgarish yoki o'zgaruvchan tok ko'rinishida uzatiladi.

**Kuchlanishli *ATO'T* da** aloqa kanalida tok kamayishi tufayli signalni uzoq masofaga uzatish birmuncha qiyin.

Tokli *ATO'T* kompensatsiyali va nokompensatsiyali turlarga bo'linadi.

**Impulsli *TO'T*.** Bunday *TO'T* da *ATO'T* dan farqli o'laroq, o'lchanayotgan kattalik avval proporsional vaqt oralig'iga o'zgartiriladi. Impulsli *TO'T* da oralig'i turlicha bo'lgan har xil o'lchash kattaliklarini uzatish imkoniyati mavjud. Ko'p kanalli *TO'T* shu asosda ishlaydi. O'lchanayotgan kattalik impulsning qaysi parametriga o'zgartirilishiga qarab, impulsli *TO'T* *vaqt-impulsli, amplituda-impulsli va axborot uzatish qobiliyati yuqori bo'lgan impuls-chastotali TO'T* ga bo'linadi.

**Raqamli *TO'T*.** Bunday *TO'T* da signal aloqa liniyasi orqali impulsning ma'lum kombinatsiyasi uzatiladi. Raqamli impulsli *TO'T* dan farqi shundaki, o'lchanayotgan kattalik raqamli kodga almashtiriladi. Bunda ko'pincha ikki-o'nlik sanoq tizimi qo'llaniladi.

*Raqamli o'lchash axborotini uzatishda tashqi muhit ta'sirini kamaytirish uchun xatolarni izlaydigan va to'g'rilaydigan raqamli kodlardan foydalaniladi. Lekin bunday usulni qo'llash apparaturaning murakkablashib narxining qimmatlashishiga olib keladi. Hozirgi vaqtda xatolarni izlaydigan va ularni mikroprotessorli vositalar yordamida to'g'rilaydigan maxsus dasturlar mavjud.*

### **5.3. Mikroprotessor va mikro EHMLi axborot-o'lchash tizimlarining elektroenergetikaning dispetcherlik boshqarilishida qo'llanishi**

Ma'lumki, birlashgan elektroenergetik tizimlarda turli holatlarni ta'minlashda elektrostansiyalar va elektr tarmoqlari hamda ta'mirlash sxemalarini normal tanlash, parallel qo'shilgan elektrostansiyalarning barqaror ishlashini ta'minlash, nominal chastotani ushlab turish, aktiv va reaktiv quvvatni samarali taqsimlash, kuchlanishni sozlash va hokazo masalalar nihoyatda muhim. Elektroenergetik tizimlarning rivojlanishi, ya'ni parallel ishlaydigan stansiyalarning ko'payishi, elektr tarmoqlar sxemasining murakkablashishi tezkor (operativ) boshqarish tizimini barpo etish masalasini qo'yadi.

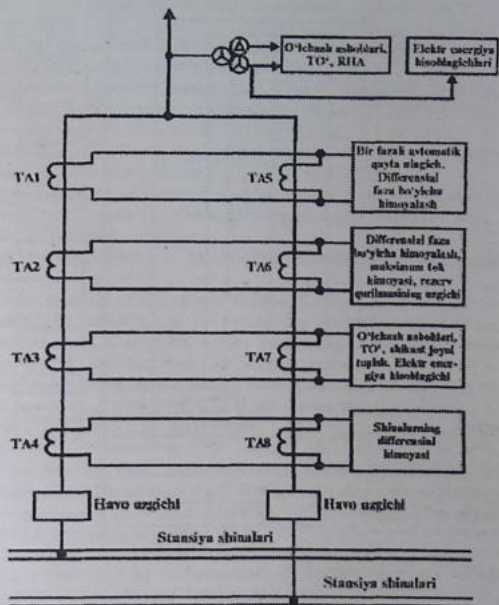
Har qanday boshqarish tizimi, shu jumladan, dispetcherlik boshqarish asosida informatsion jarayonlar, ya'ni obyekt holati to'g'risidagi axborotning birlamchi o'zgartirilishi, yig'ish, axborotga dastlabki ishlov berish, uni uzatish, xotirash, hisoblash ishlarini bajarish, taqsimlash, tasvirlash, ro'yxatlash va boshqarish komandalarini ijro etish yotadi. Elektroenergetik tizimlarda o'lchash texnikasining rivojlanishi asosida axborotni yig'adigan va boshqarish komandalarini ijro etadigan telemexanik tizimlar (TMT) yaratilgan.

Misol uchun, O'zbekiston elektroenergetika tizimida bunday TMT o'tgan asrning 40- yillarida vujudga kelgan. TMT energetik obyektlardan, odatda, kommutatsiyali apparatlar holati (uzilgan, qo'shilgan) to'g'risida telesignalizatsiya (TS), avariyaning oldini olish (AOO), tok - kuchlanish, quvvat va hokazolar tele'lchovi (TO) to'g'risida axborotni uzatadi.

TMT uskunalari energoobyektlarning kommutatsion apparatlarini ajratish va qo'shishi to'g'risida teleboshqarish (TB) komandalarini uzatadi. TS va AOO signallari relesi himoya va avtomatika (RHA) sxemalari yordamida shakllanadi. TO' signallari tok va kuchlanish transformatorlaridan qabul qilinadi.

5.5- rasmda turli uskunarlar, shu jumladan, TO' datchiklarini elektr uzatish liniyalariga ulash sxemasi keltirilgan.

RHA sxemalari elektromexanik yoki mikroelektron bazasida hamda ko'rsatgichli asboblardan va elektr energiya hisoblagichlar qo'llanilganda, ularning axborotini to'g'ridan-to'g'ri TMT orqali uzatish ma'lum qiyinchiliklar tug'diradi.

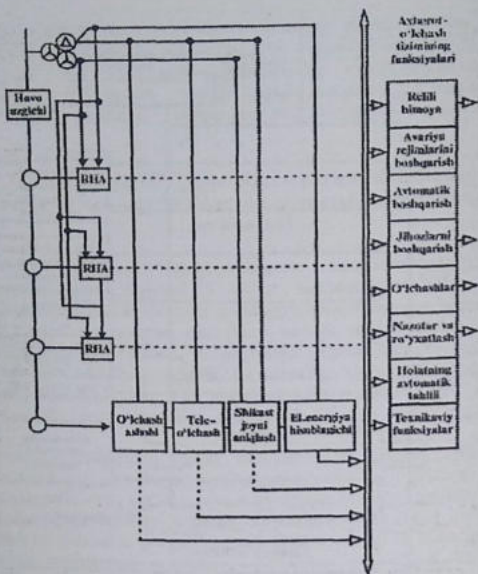


5.5- rasm. TO'T datchiklarini elektr uzatish liniyalariga ulash sxemasi.

Energoobyektlar to'g'risidagi axborotlarni dispatcher boshqarishning yuqori bosqichlariga faqat TMT yordamida uzatish mumkin.

Zamonaviy axborot-o'lchash tizimlarida mikroprotessorlar (MP) va elektron hisoblash mashinalaridan (EHM) foydalanish RHA, nazorat etish va telekommunikatsiyali texnologik sxemalariga keskin o'zgarishlar kiritadi. MP va EHM dan foydalanish, turli uskunalar bajaradigan funksiyalarni yagona uskunada bajarish imkoniyatini yaratadi. Shuning uchun MP va EHM ni qo'llash uskunalarining ishonchligini, tezkor va avtomatik boshqarishning iqtisodiy ko'rsatkichlarini oshiradi.

Hozirgi zamon axborot-o'lchash tizimlari(5.6- rasm) energoobyektlarining texnik tashxis (diagr:ostika) ishlarini, o'lchash, nazorat, tezkor va avtomatik



5.6- rasm. Axborotni boshqarishning yuqori bosqichlariga uzatishda murakkab bo'lmagan hisoblashlarni bajarish sxemasi

*boshqarish, axborotlarni yig'ish va ularga ishlov berish, tezkor axborotni qayd qilish va hujjatlashtirish, kattaliklarni belgilangan qiymatlardan og'ishi, chiqib ketishi va avariya holatlari to'g'risida axborotni boshqarishning yuqori bosqichlariga uzatishda murakkab bo'lmagan hisoblashlarni bajaradi.*

#### 5.4. Axborot-o'lchash tizimlari bajaradigan funksiyalar

- *Releli himoya* – asosiysi va zaxiradagi, teleulab-uzish, elektr signallarining himoyasi va boshqalarni nazorat etish;
- *normal holatlardan* farq qiladigan holatlarni boshqarish – kuchlanishni avtomatik boshqarish, reaktiv quvvatlarni avtomatik boshqarish, o'ta

yuklanishdan va anormal rejimlardan himoyalash, zaxirani, ya'ni rezervni avtomatik qo'shish;

– *avtomatik boshqarish* – tezkor avtomatik qayta ulash, sekin avtomatik qayta ulash, kommutatsiyali apparatlarni dasturiy ulash;

– *jihozlarni boshqarish* – energoobyektning birlamchi sxemasini displeyda tasvirlash, tezkor qayta ulashlar, elementlarni tanlash, avariya va avariyaoldi signallariga ishlov berish, generatorlarini sinxronlash;

– *o'lchashlar* – sarflanayotgan elektr energiyani o'lchash, boshqa elektr o'lchashlarni olib borish va hokazo;

– *nazorat qilish va ro'yxatlash* – shikastlangan joyni topish, o'tkinchi va avariya jarayonlarini yozib olish, sxemani nazorat qilish, holatlarni tahlil qilish, parametrlarni ro'yxatlash va hokazo;

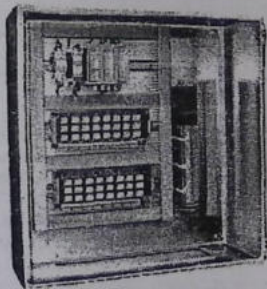
– *texnikaviy funksiyalar* – qabul qilish sinovlari, texnikaviy tashxis va hokazolar.

Axborotni uzatish struktura sxemasidan ko'rinib turibdiki, har qanday masalani hal qilish uchun kerak bo'lgan barcha ma'lumotlarni olish mumkin. Nimstansiyalarni aniq boshqarish uchun barcha bajariladigan funksiyalarni ishonchligi 98-99 foizdan kam bo'lmasligi zarur. Turli tizimli o'lchash asboblarning natijaviy xatoligi 1 foizdan ko'p bo'lmasligi lozim.

#### 5.5. «SMART-KII ELEKTRA»: telemexanika qurilmasi

Hozirgi vaqtda Rossiya Federatsiyasida (Chernogolovka sh.) energoobyektlarni dispetcherlik va texnologik boshqarish uchun dasturiy-texnik ko'p funksiyali telemexanik kompleks «SMART – KII Elektra» yaratilgan (5.7-rasm). SMART telekompleksi eng mas'uliyatli energetik obyektlarda – GES, GRES, TES, 500 – 220 – 110 kV nimstansiyalarda qo'llaniladi. Boshqa nimstansiyalar bilan yuqori sifatli sodda va egiluvchan bog'lanishni ta'minlaydi. «SMART» kompleksi zamonaviy telemexanik komplekslari kabi modul asosida qurilgan bo'lib, birlamchi axborotlarga o'z joyida ishlov beradi. Tizim axborot xalaqitlarga qarshi yuqori himoyaga ega.

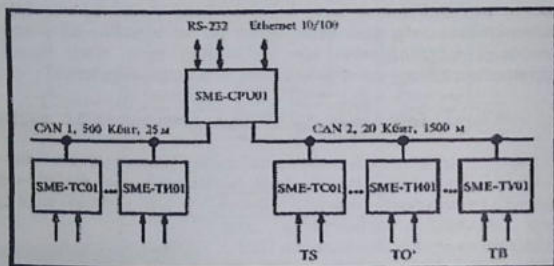
Tizimning asosiy elementi mikroprotsessori modul bo'lib, u ma'lum bir funksiyalarni, misol uchun, telesignallash yoki teleo'lchash axborotlarini kirish-chiqish mikroprotsessori moduli yordamida yig'uvchi tarmoq bilan bog'laydi.



5.7-rasm. «SMART-KII Elektra»: telemexanika qurilmasi

«SMART» telemexanik tizimsi quyidagi funksiyalarga ega (5.8-rasm):

- bir-biriga bog'lanmagan ikkita telemexanik kanallar bilan ishlash;
- telemexanikaning zamonaviy MEK 870 - 5 - 101 standarti bo'yicha protokollash avtomatik dispetcherlik boshqarishning bosqichlarini takomillashtirish(modernizatsiyalash);
- telemexanik kanallar yordamida distansion texnik tashxis etish;
- elektroenergiyaning elektron impulsli hisoblagichlar ko'rsatishlarini yig'ish va saqlash;
- raqamli o'lchash (TO') o'zgartkichlar va raqamli elektroenergiya hisoblagichlar ko'rsatishini yig'ish va saqlash;
- teleseignalizatsiya (TS) holatlarini ro'yxatlash;
- teleboshqarish (TB);
- harorat parametrlarini o'lchash (ob-havo harorati, transformatorlar, elektroyuritmalar va boshqa).



5.8- rasm. «SMART-KII Elektra»: telemexanika qurilmasining tuzilish sxemasi.

Kompleksning ishlash jarayonida har bir kirish-chiqish moduli normal ishlashi tekshiriladi, buzilish sabablari fayl ko'rinishida ro'yxatlanadi. Telemexanika kanallari orqali keyingi ishlov berish va kuzatish uchun qurilma tashxisini svetodiod indikatorlari yordamida maxsus vositalarsiz bevosita obyektni o'zida qo'yish mumkin.

## **Amaliy ish**

Teleo'lchash tizimlaridagi xatolarni o'rganish.

### **Referat mavzulari**

1. Axborot-o'lchash tizimlarining asosiy strukturalari va ularni qiyoslash.
2. Teleo'lchash tizimlari.
3. Mikroprotsessori va mikro EHM ni axborot-o'lchash tizimlarida qo'llash istiqbollari.

### **O'z-o'zini sinash savollari**

1. Axborot-o'lchash tizimlari haqida nimalarni bilasiz?
2. Axborot-o'lchash tizimlari deb nimaga aytiladi va ularning vazifas nimalardan iborat?
3. Axborot-o'lchash tizimlarining asosiy strukturalari va xususiyatlari qanday?
4. Elektroenergetik va boshqa ko'p o'lchamli murakkab obyektlarda qanday axborot o'lchash tizimlari qo'llaniladi?

## O'zbekistonda elektr o'lchashlar fanining rivojlanishiga hissa qo'shgan olimlar to'g'risida

**Abdullayev Jo'ra Abdullayevich** (1927) - O'zbekiston FA akademigi, texnika fanlari doktori, professor. O'zbekistonda xizmat ko'rsatgan fan arbobi. Olimning ilmiy faoliyati ko'p qirrali bo'lib, uning elektr o'lchashlar sohasidagi asosiy ilmiy ishlari boshqarish tizimlarida o'lchash axborotlariga tezkor ishlov berish va axborotlarni uzatish nazariyasi, ko'p bo'g'imli tizimlarda xatoliklarni aniqlash va bartaraf qilishga bag'ishlangan. 9 ta monografiya va o'quv qo'llanmalar, 36 ta ixtiro va 250 dan ortiq ilmiy maqolalar muallifi. Shu jumladan, o'lchash sohasiga oid 2 ta monografiya va o'quv qo'llanma, 11 ta ixtiro va 30 dan ortiq ilmiy maqolalar.

**Abdullayev Abdushukur Xamidovich** (1959) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari paxta namligini o'lchash va nazorat qiluvchi o'zgartkichlarni takomillashtirishga bag'ishlangan. 4 ta ixtiro, 3 ta darslik va o'quv qo'llanma hamda 100 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Abdullayev Muxammadjon Abdusamatovich** (1942-2000) - texnika fanlari nomzodi, katta ilmiy xodim. Ilmiy ishlari dissipativ muhit parametrlarini elektr usulda aniq o'lchash masalalariga bag'ishlangan. 8 ta ixtiro va 30 dan ortiq ilmiy maqolalar muallifi.

**Ahrorov No'mon Ahrorovich** (1939) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Avtomatik rostlash va nazorat qilish tizimlari va axborot-o'lchash texnikasi uchun kompensatsiyalovchi o'zgartgichlarni takomillashtirish, o'lchash texnikasiga tegishli atamalar va qadimgi o'lchov birliklari izohlariga oid tadqiqotlar olib bormoqda. 2 ta monografiya, 9 ta o'quv qo'llanma, 37 ta ixtiro va 80 dan ortiq ilmiy maqolalar muallifi.

**Allaniyazov Xudoybergan** (1940) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari suyuqlik va gaz sarfini o'lchovchi o'zgartkichlarning yangi konstruksiyalarini yaratishga bag'ishlangan. 4 ta ixtiro, o'lchashga oid 10 dan ortiq standartlar va 100 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Amirov Sulton Fayzullayevich** (1962) - texnika fanlari doktori, professor. Ilmiy ishlari harakat parametrlarini o'lchovchi elektromagnit datchiklar nazariyasini rivojlantirish va konstruksiyalarini takomillashtirishga bag'ishlangan. 1 ta monografiya, 22 ta ixtiro, 4 ta o'quv qo'llanma va 60 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Axmedov Barot Maxmudovich** (1957) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari mahsulotlar sifatini o'lchash (kvalimetriya), nazorat qilish va boshqarish masalalariga bag'ishlangan. 6 ta ixtiro, 7 ta o'quv qo'llanma va 60 dan ortiq ilmiy maqolalar muallifi.

**Azimov Amirilla** (1947) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari suv sarfini o'lchashda qo'llaniladigan issiqlik o'zgartkichlarini takomillashtirishga bag'ishlangan. 8 ta ixtiro, 1 ta monografiya va 20 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Azimov Oqil Odilovich (1946)** - texnika fanlari doktori, professor. O'zbekistonda xizmat ko'rsatgan fan arbobi. Ilmiy ishlari gidravlik kattaliklarni o'lchashda qo'llaniladigan birlamchi o'zgartgichlarni takomillashtirish, patent-axborot tahlili va ilmiy-texnikaviy ijodkorlik co'hariga bag'ishlangan bo'lib, uning pahbarligida intellektual mulkni huquqiy muhofaza qilish va undan foydalanishning davlat tizimini tuzish hamda rivojlantirish bo'yicha ishlar olib borilmoqda. 100 dan ortiq ixtiro va 150 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi. Ixtirolari bir qator sanoat va suv xo'jaligi obektlarida tadqiq etilgan.

**Azimov Raxmat Karimovich (1938)** - texnika fanlari doktori, professor. Ilmiy faoliyati issiqlik, elektromagnit va optoelektron birlamchi o'zgartkichlar nazariyasini rivojlantirish va konstruksiyalarini takomillashtirishga bag'ishlangan. 52 ta ixtiro, 7 ta monografiya, 8 ta o'quv qo'llanma va 150 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi. 1 ta fan doktori va 5 ta fan nomzodi tayyorlagan.

**A'zamov Abduraxim (1946)** - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Kimyo korxonalari uchun namlikni o'lchashda qo'llaniladigan o'zgartgichlarni takomillashtirish, mabsulotlar sifati va ularni sertifikatlash masalalariga oid ilmiy izlanishlar olib bormoqda. 8 ta ixtiro, 1 ta darslik va 70 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Baratov Rustam Jalilovich (1965)** - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Biparametrik rezonansli o'lchash o'zgartkichlarining nazariy asoslarini ishlab chiqish va konstruksiyalarini takomillashtirish yo'nalishida ilmiy izlanishlar olib bormoqda. 7 ta ixtiro va 20 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Burxonov Valeriy Xo'jayevich (1947)** - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Bosimni o'lchashda qo'llaniladigan mikroelektron o'zgartgichlarni takomillashtirish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib bormoqda. 17 ta ixtiro, 2 ta o'quv qo'llanma va 30 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Hakimov Ortig'ali Sharipovich (1944)** - texnika fanlari doktori, professor. Ilmiy ishlari polimer tolalarini tadqiq va nazorat qilishda qo'llaniladigan akustik usullar va asboblarni takomillashtirishga bag'ishlangan. 2 ta monografiya, 5 ta o'quv qo'llanma, 27 ta ixtiro va 120 ga yaqin ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Hakimov Xabir Xakimovich (1935)** - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Chiziqli sel sinlarning bir nechta yangi konstruksiyalarini taklif etgan. 8 ta ixtiro va 40 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Ibragimov Erkin (1944)** - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Magnitomodulyasyon prinsipda ishlaydigan siljish o'lchash o'zgartgichlarini takomillashtirishga oid ilmiy tadqiqotlar olib borgan. 5 ta ixtiro va 20 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Ismatullayev Patxulla Raxmatovich (1940)** - texnika fanlari doktori, professor. Ilmiy ishlari yog'-moy sanoatida paxta chigiti va uni qayta ishlashda ishlab chiqariladigan materiallar namligini o'lchash usullarini tadqiq qilish va asboblarni yaratishga bag'ishlangan. 54 ta ixtiro, 2 ta monografiya, 1 ta darslik,

6 ta o'quv qo'llanma va 200 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi. Ushbu yo'nalish bo'yicha O'zbekistondagi ilmiy maktab asoschisi va rahbari. Prof. Ismatullayev P.R. rahbarligida 4 ta fan doktori va 15 dan ziyod fan nomzodlari tayyorlangan.

**Mamajonov Alisher Mamajonovich** (1946) - texnika fanlari doktori. Gerkonli o'lchash o'zgartgichlari nazariyasini rivojlantirish va konstruksiyalarini takomillashtirish yo'nalishida ilmiy izlanishlar olib borgan. 2 ta o'quv qo'llanma, 21 ta ixtiro va 100 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Mirzayev Ravshan Qudratovich** (1957) - texnika fanlari nomzodi. Mexanik kuchlanishlarni o'lchovchi magnitoelastik datchiklarning bir nechta yangi konstruksiyalarini taklif etgan. 3 ta ixtiro va 15 dan ortiq ilmiy maqolalar muallifi.

**Ne'matov Jo'raqo'zi Meliqo'ziyevich** (1945) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari optoelektron funksional o'lchash o'zgartkichlarini tadqiq etishga bag'ishlangan. 4 ta ixtiro va 20 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Petrov German Petrovich** (1937) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. O'zgarmas tok o'lchash o'zgartkichlarining kompensatsion turlarini takomillashtirish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib bormoqda. 19 ta ixtiro va 40 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Petrova Irina Yurevna** (1949) - texnika fanlari doktori, professor. Ilmiy ishlari parametrlari taqsimlangan mikroelektron o'lchash asboblarni takomillashtirish bilan birga texnik ijodiyotning energoinformatsion usulining hammualliflaridan biri. 200 dan ortiq ixtiro, 6 ta monografiya, 14 ta o'quv qo'llanma, 300 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Plaxtiyev Anatoliy Mixaylovich** (1945) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari katta qiymatli o'zgarmas toklarni kontaktsiz ferromagnit o'lchash o'zgartgichlarining ko'chma va statsionar xillarini takomillashtirishga bag'ishlangan. 15 ta monografiya va o'quv qo'llanma, 30 dan ortiq ixtiro va 190 ga yaqin ilmiy maqolalar muallifi.

**Qodirova Sharofat Abdurahobovna** (1942) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Qo'zg'aluvchan qismining siljish oralig'i kengaytirilgan ferrodinamik o'lchash o'zgartkichlarining yangi konstruksiyalarini taklif etgan. 3 ta ixtiro va 30 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Qurbanov To'lqin Murodovich** (1937) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. O'zgaruvchan tok kompensatorlari uchun ko'p aylanishli kontaktsiz kompensatsiyalovchi elementlarning bir nechta konstruksiyalarini taklif etgan. Ushbu yo'nalishda 4 ta ixtiro va 30 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Qo'rg'onboyeva Svetlana Yunusovna** (1945) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari magnit sezuvchan elementli o'lchash o'zgartgichlarini takomillashtirishga bag'ishlangan. 11 ta ixtiro va 30 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Rashidov Yo'ldoshxon Rashidovich** (1939) - texnika fanlari doktori, professor. Ilmiy ishlari elektromexanik va optoelektron o'zgartkich qurilmalarini

tadqiq etishga bag'ishlangan. 10 ta ixtiro, 7 ta darslik va o'quv qo'llanma hamda 100 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Safarov Abdurauf Malikovich** (1953) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Boshqaruv va nazorat tizimlari uchun keng o'lchash doirasiga ega bo'lgan o'zgarmas va o'zgaruvchan toklar o'lchash o'zgartkichlarini takomillashtirish ustida ilmiy izlanishlar olib bormoqda. 6 ta ixtiro va 30 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Savriddinov Narimon** (1949) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. o'zgarmas va impul sli tok o'lchash o'zgartkichlarining konstruksiyalarini takomillashtirishga doir 3 ta ixtiro va 20 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Siddiqov Iloxomjon Hakimovich** (1959) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari yassi o'lchov chulg'amli elektromagnit va optoelektron siljish o'zgartkichlari yangi konstruksiyalarini yaratish va ularning matematik modellarini ishlab chiqishga bag'ishlangan. 5 ta ixtiro, 2 ta darslik, 2 ta o'quv qo'llanma va 90 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Sirulnikov Yuriy Mixaylovich** (1944) - texnika fanlari nomzodi. Ilmiy ishlari kichik qiymatli burchak tezliklarni o'lchovchi elektromagnit datchiklarni takomillashtirishga bag'ishlangan. 6 ta ixtiro va 20 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Sodiqov Andrey Belevich** (1944) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Kontaktsiz kompensatsion elementli avtomatik asboblarda yordamida chastotani o'lchashga oid ilmiy tadqiqotlar olib borgan. 6 ta ixtiro va 40 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Tarxanov Oleg Vladimirovich** (1946) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Elektromagnit datchiklar va o'lchash o'zgartkichlarini takomillashtirishga oid tadqiqotlar olib bormoqda. 250 dan ortiq ixtiro va 100 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Turabov Oktyabr** (1939-1994) - texnika fanlari nomzodi. "Siljish-faza" o'lchash o'zgartkichlarini takomillashtirishga oid ilmiy tadqiqotlar olib borgan. 5 ta ixtiro va 30 dan ortiq ilmiy ishlari muallifi.

**Turg'unboyev Asadulla** (1951) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. O'ta yuqori va yuqori chastotali o'zgartkichlar yordamida namlikni o'lchashning nazariy va amaliy masalalari yo'nalishida ilmiy izlanishlar olib bormoqda. 10 ta ixtiro, 7 ta darslik va o'quv qo'llanma hamda 100 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Urakseev Marat Abdullovich** (1937) - texnika fanlari doktori, professor. Ilmiy ishlari funksional elektromagnit va optoelektron o'lchash o'zgartkichlari nazariyasini rivojlantirish hamda konstruksiyalarini takomillashtirishga bag'ishlangan. 7 ta monografiya, 200 ga yaqin ixtiro, 12 ta o'quv qo'llanma va 250 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Voxitova Alla Zokirovna** (1942) - texnika fanlari nomzodi dotsent. Sezgirligi yuqori bo'lgan tezlikni o'lchovchi funksional datchiklarning bir nechta yangi konstruksiyalarini taklif etgan. Ushbu yo'nalishda 14 ta ixtiro va 40 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Xmelnitskiy Vadim Izrailovich** (1944) - texnika fanlari nomzodi. Chiziqli tezlanishlarni o'lchovchi induksion datchiklarni takomillashtirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borgan. 4 ta ixtiro va 20 ga yaqin ilmiy ishlar muallifi.

**Yakubov Mirjalil Sagatovich** (1942) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari elektr va noelektr kattaliklarni o'lchashda yaxshi dinamik va metrologik xarakteristikalariga ega bo'lgan o'zgaruvchan chastotali o'lchash o'zgartkichlarini yaratishga bag'ishlangan. 2 ta monografiya, 6 ta o'quv qo'llanma, 10 ta ixtiro, 60 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich** (1940) - O'zbekiston FA akademigi, O'zbekistonda xizmat ko'rsatgan fan arbobi, Davlat mukofoti laureati, texnika fanlari doktori, professor. Olimning ilmiy faoliyati serqirali bo'lib, uning o'lchashlarga oid ilmiy ishlari kimyo-texnologiya jarayonlarida o'lchash texnikasi, usullari va asbobsozlikni rivojlantirishga bag'ishlangan va ushbu yo'nalishda ilmiy maktab yaratgan. 161 ta (shundan 68 tasi o'lchash texnikasiga oid) ixtiro, 19 ta monografiya, darslik va o'quv qo'llanma hamda 200 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi. 13 ta fan doktori va 68 ta fan nomzodi tayyorlagan.

**Zaripov Madiyor Faxritdinovich** (1929-2006) - texnika fanlari doktori, professor. Boshqirdistonda xizmat ko'rsatgan fan arbobi. Ilmiy faoliyati parametrlari taqsimlangan zanjirlar, o'lchash o'zgartkichlarining nazariyasini rivojlantirish va uning asosida elektr, magnit va noelektr kattaliklarni o'lchashda qo'llaniladigan birlamchi o'zgartkichlarning takomillashgan konstruksiyalarini yaratish, turli tabiatli zanjirlar analogiyasining umumlashgan nazariyasini ishlab chiqish hamda texnik ijodiyotning energoinformatsion usulini yaratishga bag'ishlangan. Ushbu soha bo'yicha O'zbekistonda yirik ilmiy maktab yaratgan. Uning bevosita rahbarligida 12 ta fan doktori va 80 dan ortiq fan nomzodlari (shu jumladan, mahalliy kadrlardan 5 ta fan doktori va 26 ta fan nomzodi) tayyorlangan. 29 ta monografiya va o'quv qo'llanmalar, 300 dan ortiq ixtirolar va 260 dan ziyod ilmiy ishlar muallifi.

**Zaynullin Nail Raskatovich** (1958) - texnika fanlari nomzodi. Ilmiy ishlari datchiklar yangi konstruksiyalarini yaratishda texnik ijodiyotning energoinformatsion usulini qo'llash va uni rivojlantirishga bag'ishlangan. 7 ta ixtiro, 1 ta o'quv qo'llanma va 20 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Zokirov Tursun Zokirovich** (1944) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari suyuq va gazsimon mahsulotlar qovushqoqligini o'lchash va nazorat qilishda qo'llaniladigan o'zgartkichlarni takomillashtirishga bag'ishlangan. 32 ta ixtiro, 2 ta o'quv qo'llanma va 100 dan ziyod ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Zoxidov Shovkat Shoxidovich** (1937-1998) - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari o'lchash elektr ko'prik sxemalarining nazariyasi va amaliyotiga bag'ishlangan. U avtomatik ko'prik sxemalarda ilk bor o'zgaruvchan chastota qo'llanishni taklif etgan. Ushbu yo'nalishda 2 ta monografiya, 8 ta ixtiro va 40 dan ortiq ilmiy maqolalar muallifi.

**O'ljayev Erkin (1942)** - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari qishloq xo'jalik mashinalarining isbchi holatlari parametrlarini avtomatik ravishda nazorat qilish va boshqarishda qo'llaniladigan ko'pkanalli axborot-o'lchash intellektual tizimini yaratishga bag'ishlangan. 29 ta ixtiro, 1 ta o'quv qo'llanma va 130 dan ziyod ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**G'oziyev Alisher Xoshimovich (1941)** - texnika fanlari nomzodi, dotsent. Ilmiy ishlari elektromagnit datchiklar, rele va ijro mexanizmlarini takomillashtirishga bag'ishlangan. 23 ta ixtiro va 50 dan ortiq ilmiy ishlar muallifi.

**Shipulin Yuriy Gennadevich (1943)** - texnika fanlari doktori. Ilmiy ishlari tashqi modulyasiyali optoelektron o'lchash o'zgartkichlar nazariyasini rivojlantirish va ular asosida yangi konstruksiyalarni yaratishga bag'ishlangan. 18 ta ixtiro, 3 ta monografiya va 120 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

**Shoyoqubov G'ofir Rustamovich (1938-2001)** - texnika fanlari nomzodi dotsent. Kichik qiymatli chiziqli tezliklarni o'lchovchi magnitomodulyasiy datchiklarni takomillashtirishga oid ilmiy tadqiqotlar olib borgan. 7 ta ixtiro, 30 dan ortiq ilmiy va ilmiy-uslubiy ishlar muallifi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. «Metrologiya to'g'risida»gi O'zbekiston Respublikasi Qonuni. O'zbekiston Respublikasi Oliy Kengashining Axborotnomasi. T., – 1994- yil, 2-son.
2. O'Ichashlar birligini ta'minlash davlat tizimi. Metrologiya. Atamalar va ta'riflar. O'z RSt 8.0.10-93.
3. P.R.Ismatullayev, A.N.Maqsudov, A.X.Abdullayev, B.M.Axmedov, A.A.A'zamov. Metrologiya, standartlashtirish va sertifikatlashtirish. T., «O'zbekiston», 2001.
4. A.B.Krasov. Метрология и электрические измерения. М., «Колос». 1999.
5. M.S.Yoqubov, N.G.Jabborov, S.F.Amirov. Elektrotexnikaning nazariy asoslari va elektr o'Ichashlar. T., «O'qituvchi», 2002.
6. B.E.Muxamedov. Metrologiya, texnologik parametrlarni o'Ichash usullari va asboblari. T., «O'qituvchi», 1991.
7. P.R.Ismatullayev, E.A.Ma'rupov, A.X.Abdullayev. Metrologiya bo'yicha izohli lug'at. T., 1993.
8. N.Ahrorov. Metrologiya asoslari va elektr o'Ichashlaridan amaliy ishlar. T., «O'zbekiston», 1994.
9. S.F. Amirov, M.S. Yoqubov, H.G. Jabbarov. Elektr o'Ichashlar. Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma.-T.:Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2004.
10. З.М. Демидова-Панферова и др. Задачи и примеры расчётов по электроизмерительной технике: учебное пособие для вузов/ З.М. Демидова-Панферова, В.И. Малнировский, Ю.С. Солодов. 2-е изд., перераб. И доп.- М.:Энергоатомиздат, 1990.
11. Н. Ахроров. Қадимги ўлчов бирликлари, Т.:Ўзбекистон, 1995.
12. К.Л.Куликовский, В.Я. Купер. Методы и средства измерений: Учеб. Пособие для вузов.-,М.:Энергоатомиздат, 1986.
13. А.М. Голованова, А.В. Кравцов. Теоретические основы электротехники. Электрические измерения: Учебное пособие для студентов электротехнических специальностей.-М.:ФГЦУ ВП МГАУ, 2006.
14. А.Ф. Котюк. Датчики в современных измерениях.-М.:Радио и связь, 2006.
15. Т.С. Ратхор. Цифровые измерения (перевод с нем.).- М.:Феникс, 2006.
16. Д. Фрайден. Современные датчики. Справочник. пер. с англ.- М.:Техносфера, 2006.
17. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника. Учебное пособие/К.К. Ким и др. – СПб.: Питер, 2006.

18. Н.А.Ахроров. Үлчовшуносликдан русча – ўзбекча  
изоҳли луғат.Т. «Ўзбекистон», 2001.

## MUNDARIJA

SO'ZBOSHI.....	5
Elektr o'lchashlar fanining maqsad va vazifalari .....	7
Elektr o'lchashlarning fan va texnikadagi ahamiyati .....	8
O'lchashlar fanining rivojlanish tarixidan qisqacha ma'lumotlar .....	8
<b>I bob. METROLOGIYA ASOSLARI</b>	
1.1. Metrologiyadagi asosiy ta'riflar va atamalar .....	13
1.2. Elektr va magnit kattaliklar birliklarining o'lchovlari .....	14
1.3. O'lchash turlari va usullari .....	18
1.4. O'lchash vositalari, ularning turlari va asosiy metrologik xarakteristikallari .....	20
1.5. Amplituda-chastotaviy xarakteristika parametrlarini o'lchash usullari .....	26
1.6. O'lchash xatoliklarini kamaytirish usullari .....	28
1.7. O'lchash asboblarning klassifikatsiyasi .....	30
<b>II bob. ELEKTR KATTALIKLARNI O'LCHOVCHI ASBOBLAR</b>	
2.1. Analog elektromexanik asboblari .....	33
2.1.1. Analog o'lchash asboblarning turlari, tuzilishi, xossalari va qismlari .....	33
2.1.2. Magnitoelektrik asboblari .....	37
2.1.3. Magnitoelektrik galvanometrler .....	45
2.1.4. Termoelektrik o'lchash asboblari .....	45
2.1.5. Elektromagnit asboblari .....	46
2.1.6. Elektrostatik asboblari .....	48
2.1.7. Elektrodinamik va ferrodinamik asboblari .....	49
2.1.8. Induksion asboblari .....	54
2.2. Taqqoslovchi o'lchash asboblari .....	58
2.2.1. Taqqoslovchi o'lchash asboblarning umumiy xossalari va qismlari .....	58
2.2.2. O'zgarmas tok ko'priklari .....	59
2.2.3. O'zgaruvchan tok ko'priklari .....	60
2.2.4. Avtomatik o'lchash ko'priklari .....	62
2.2.5. O'zgarmas tok kompensatorlari .....	64
2.2.6. O'zgaruvchan tok kompensatorlari .....	65
2.3. Masshtab o'lchash o'zgartkichlari .....	67
2.3.1. O'lchash zanjirlari parametrlarini rostdash vositalari .....	67
2.3.2. Shuntlar va qo'shimcha rezistorlar .....	68
2.3.3. O'lchash transformatoriari .....	71
2.4. Qayd qiluvchi asboblari .....	82
2.4.1. Qayd qiluvchi asboblarning umumiy xossalari va qismlari .....	82
2.4.2. O'ziyozar asboblari .....	82
2.4.3. Yorug' nurli ossilloqraflar .....	84

2.4.4. Magnitograflar .....	85
2.5. Elektron o'lchash asboblari .....	87
2.5.1. Elektron o'lchash asboblarning umumiy xususiyatlari va qismlari .....	87
2.5.2. Elektron ommetrlar .....	88
2.5.3. Elektron voltmetrlar .....	88
2.5.4. Elektron nurli ossillograflar .....	89
2.5.5. O'lchash texnikasida mikroprotessorli tizimlar. O'lchash-hisoblash majmualari .....	91
2.5.6. Mikroprotessor bilan boshqariladigan uziyozar asboblari .....	93
2.6. Raqamli o'lchash asboblari .....	94
2.6.1. Raqamli ulchash asboblari haqida umumiy ma'lumotlar .....	94
2.6.2. Raqamli voltmetrlar .....	95
2.6.3. Raqamli chastota o'lchagichlar .....	96
2.6.4. Kombinatsiyalangan raqamli asboblari .....	97
2.6.5. Raqamli fazometrlar .....	98
2.6.6. Mikroprotessor bilan boshqariladigan raqamli o'lchash asboblari .....	99
2.6.7. Elektron elektr energiya hisoblagich .....	101
2.6.8. O'lchash asboblari qo'llaniladigan interfeyslar .....	105
<b>III bob. ELEKTR VA MAGNIT KATTALIKLARNI O'LCHASH</b>	
3.1. Tok va kuchlanishni o'lchash .....	108
3.1.1. O'zgarmas tok zanjirida o'lchashlar .....	108
3.1.2. O'zgaruvchan tok zanjirida o'lchashlar .....	112
3.2. Elektr zanjir parametrlarini o'lchash .....	117
3.2.1. Parametrlari o'lchanadigan obyektning o'lchash zanjiriga ulash usullari .....	117
3.2.2. Qarshilikni o'lchash .....	118
3.2.3. Sig'im, induktivlik va o'zaro induktivlikni o'lchash .....	124
3.3. Quvvatni o'lchash .....	128
3.3.1. O'zgarmas tok zanjirida quvvatni o'lchash .....	128
3.3.2. Bir fazali sinusoidal tok zanjirlarida aktiv quvvatni o'lchash .....	129
3.3.3. Uch fazali zanjirlarda aktiv va reaktiv quvvatni o'lchash .....	132
3.3.4. Elektr energiyani hisobga olish .....	138
3.4. Chastota, faza siljish burchagi va quvvat koeffitsiyentini o'lchash .....	144
3.4.1. Chastotani o'lchash .....	144
3.4.2. Faza siljish burchagini o'lchash .....	146
3.4.3. Quvvat koeffitsiyentini o'lchash .....	147
3.5. Magnit kattaliklarni o'lchashning umumiy masalalari .....	150
3.5.1. Magnit oqimini o'lchash .....	150
3.5.2. Magnit kuchlanganligi va magnit induksiyasini o'lchash .....	152
3.5.3. Ferromagnit materiallar asosiy xarakteristikalarini aniqlash .....	153
3.5.4. Ferromagnit materiallardagi quvvat isrofini aniqlash .....	155

#### **IV bob. NOELEKTRIK KATTALIKLARNI O'LCHASH**

4.1. Umumiy ma'lumotlar .....	157
4.2. O'lchash o'zgartkichlarining asosiy metrologik xarakteristikalari .....	158
4.3. O'lchash o'zgartkichlarining klassifikatsiyasi .....	158
4.4. Elektromagnit o'lchash o'zgartkichlari .....	160
4.4.1. Induksion o'zgartkichlar .....	160
4.4.2. Induktiv o'zgartkichlar .....	161
4.4.3. Transformatorli o'zgartkichlar .....	162
4.4.4. Magnit qisiluvchi o'lchash o'zgartkichlari .....	164
4.5. Issiqlik o'lchash o'zgartkichlari .....	165
4.5.1. Termoflyuktlar .....	165
4.5.2. Termorezistorlar .....	166
4.6. Optik o'zgartkichlar .....	168
4.6.1. Optik o'zgartkichlarning asosiy xarakteristikalari .....	168
4.6.2. Fotoko'paytirgichlar, fotorezistorlar, fotodiodlar, fototranzistorlar .....	169
4.7. Pyezoelektrik o'lchash o'zgartkichlari .....	171
4.8. Galvanomagnit o'lchash o'zgartkichlari .....	173
4.8.1. Xoll o'zgartkichlari .....	173
4.8.2. Magnitorezistorlar va magnitodiodlar .....	174
4.9. Rezistiv o'lchash o'zgartkichlari .....	174
4.9.1. Kontaktli o'zgartkichlar .....	174
4.9.2. Reostatli o'zgartkichlar .....	176
4.9.3. Tenzorezistorlar .....	177
4.10. Elektrostatik o'lchash o'zgartkichlari .....	179
4.11. Mexanik kattaliklarni o'lchash .....	180
4.11.1. Deformatsiya, mexanik kuchlanish va aylantiruvchi momentni o'lchash .....	181
4.11.2. Siljishni o'lchash .....	185
4.11.3. Tezlikni o'lchash .....	189
4.11.4. Tezlanishni o'lchash .....	191
4.11.5. Titrash parametrlarini o'lchash .....	195
4.12. Gidravlik kattaliklarni o'lchash .....	196
4.12.1. Suyuqlik sathini o'lchash .....	196
4.12.2. Suyuqlik sarfini o'lchash .....	197
4.13. Namlikni o'lchash .....	202
4.14. Haroratni o'lchash .....	204
4.15. Qovushqoqlikni o'lchash .....	204

#### **V bob. AXBOROT-O'LCHASH TIZIMLARI**

5.1. Axborot-o'lchash tizimlari to'g'risida umumiy ma'lumot .....	207
5.2. Axborot-o'lchash tizimlarining asosiy strukturalari .....	207
5.3. Mikroprotssessor va mikro EHM li axborot-o'lchash tizimlarining elektroenergetikaning dispetcherlik boshqarilishida qo'llanishi .....	210
5.4. Axborot-o'lchash tizimlari bajaradigan funksiyalar .....	212

5.5. «SMART-KП Elektra»: telemexanika qurulmasi .....	213
O'zbekistonda elektr o'lchashlar fanining rivojlanishiga hissa qo'shgan olimlar to'g'risida .....	216
Foydalanilgan adabiyotlar.....	222

Sulton Fayzullayevich Amirov, Mirjalil Soatovich Yoqubov, Nasim  
G'afurovich Jabborov

## ELEKTR O'LCHASHLAR

Oliy o'quv yurtlari talabalari uchun o'quv qo'llanma

Toshkent temir yo'l muhandislari instituti  
tahririy-nashriyot va poligrafiya bo'limi - 2007

Mas'ul muharrir: *Nu'mon Ahrorov*  
Dizayner va sahifalovchi: *Nurjan Balgayev*

S.F. Amirov, M.S. Yoqubov, N.G'. Jabborov  
Elektr o'lchashlar

Oliy o'quv yurtlari talabalari uchun  
o'quv qo'llanma, - T.: ToshTYMI, 2007, 230 b.

Bosishga ruxsat etildi: 28.08. 2007 y.

Bichimi 60x84/1/16. Hajmi 14,4 b.t.

Adadi 100 nusxa.

Buyurtma № C – 1943. Bzhosi shartnoma asosida.

«O'zbekiston» nashriyot matbaa ijodiy uyi  
bosmaxonasida chop etildi.

100129, Toshkent shahri, Navoiy ko'chasi -30.



