

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

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

RADIOO'LCHOV

fanidan “5350700-Radioelektron qurilmalar va tizimlar”
ta'lif yo'nalishi talabalari uchun

MA'Ruzalar matni

Toshkent 2020

UDK 621.371

Tuzuvchi Xasanov M.M. Radioo‘lchov: “5350700-Radioelektron qurilmalar va tizimlar” ta’lim yo‘nalishi uchun ma’ruzalar matni.– Toshkent: ToshDTU, 2020. – 136 b.

Ushbu ma’ruzalar matni “Radioo‘lchov” fani bo‘yicha ma’ruza mashg‘ulotlarini o‘tkazishga mo‘ljallangan bo‘lib, 16 ta ma’ruzalardan iborat va ushbu fan o‘quv dasturiga mos keladi.

Ma’ruzalar matni “5350700-Radioelektron qurilmalar va tizimlar” ta’lim yo‘nalishi talabalariga mo‘ljallangan.

I. Karimov Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashining qarori asosida nashr qilindi, 2-son bayonnomasi, 23.09.2020 .

Taqrizchilar: Ibraimov R.R. TATU prof. t.f.d.
Yarmuxamedov A.A. ToshDTU dots. t.f.n.

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2020

SO‘Z BOSHI

“Radioo‘lchov” fani bo‘yicha ma’ruzalar matnlarida hayotimizning barcha jabhalarida, xalq xo‘jaligining, sanoatning, ilmiy izlanishlarning barcha tarmoqlari uchun o‘ta zarur bo‘lgan o‘lhash haqidagi asosiy tushunchalar, ta’riflar, o‘lchov va kattaliklar, har xil o‘lhash vositalari va ular yordamida har xil kattaliklar (elektrik, noelektrik, elektr zanjirlarining parametrlari, texnologik parametrlar va h.k) ni o‘lhash, elektr hodisalarini, vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan signallarni tekshirish, kuzatish, o‘lhash xatoliklari, o‘lhash natijalarini qayta ishlash, ularning ehtimoliy baholanishi kabi masalalar xususida yetarli va zarur ma'lumotlar keltirilgan.

“Radioo‘lchov” fani uzoq tarixga ega bo‘lishi bilan bir qatorda, ilmiy nuqtayi nazardan, xalq xo‘jaligining barcha tarmoqlariga xos bo‘lgan va ayniqsa “Radioelektron qurilmalar va tizimlar” yo‘nalishi bo‘yicha tayyorlanadigan mutaxassislar uchun muhim bo‘lgan, doimiy ravishda va uzluksiz tarzda rivojlanishda bo‘luvchi fanlar qatoriga kiradi.

Mazkur ma’ruza matnlari to‘plami respublikamizdagi ta’lim, fan va texnikaning, ilmiy izlanishlar, iqtisodiy rivojlanish va o‘zgarishlarni hisobga olingan holda yaratildi.

Ma’lumki, respublikamizda keyingi paytlarda tub o‘zgarishlar, tub iqtisodiy islohotlar ro‘y berayaptiki, bular ichida ayniqsa "raqobatbardosh mahsulotlarni ishlab chiqarishni ta’minlash" masalasi ustuvor hisoblanadi.

Bu esa o‘z navbatida muhandis-texnik xodimlarga va umuman texnika sohasi bo‘yicha mutaxassislarga o‘ta murakkab mas’uliyat yuklaydi.

Bugungi kun muhandislari, ilmiy-texnik xodimlari yangi texnika va texnologiyadan foydalanishga, texnologik jarayonlarni avtomatlashdirish, boshqarish va ularni kompleks yechishga, ishlab chiqarish rezervlarini aniqlash va jadallashtirishga qodir bo‘lishlari kerak. Bular esa, o‘lhash nazariyasidan, o‘lhash vositalari, o‘lhash usullari va ular yordamida har xil kattaliklarni o‘lhash, o‘lhash natijalarini qayta ishlash va h.k, qator masalalar bo‘yicha yetarli bilim va malakaga ega bo‘lishlarini taqozo etadi.

1-ma’ruza

Kirish. Asosiy tushuncha va ta’riflar

Reja:

1. Radioo‘lchashlar bo‘yicha asosiy tushunchalar va ta’riflar.
2. O‘lhash haqida tushuncha.
3. Radioo‘lchashlar, o‘lhash jarayoni, uning strukturasi va elementlari.

Kalit so‘zlar: fizik kattalik, etalon, elektr, signal, o‘lhash birligi.

“Radioo‘lchov” fan sifatida o‘lchashlar, o‘lhash usullari, o‘lhash vositalari va ular yordamida har xil kattaliklarini o‘lhash, o‘lhash xatoliklari hamda ularga bog‘liq va tegishli bo‘lgan masalalarni o‘z doirasiga oladi.

Inson aql-idroki, zakovati bilan o‘rganayotgan, shakllantirayotgan hamda rivojlantirgan qaysi fanni, uning yo‘nalishini olmaylik, albatta, o‘lchashlarga, ularning usullariga, o‘zaro bog‘lanishlariga duch kelamiz. Bu o‘lhash usullari va vositalari har xil kattaliklarni o‘lhash va ularga bog‘liq masalalarni mukammal o‘rganish orqaligina amalga oshiriladi. Shu sababdan, hozirgi qaysi bir fan, ilmiy yo‘nalish, u xoh tabiiy, xoh ijtimoiy bo‘lmisin, albatta u yoki bu darajada o‘lhash bilan bog‘liq. Inson qo‘li yetgan, faoliyati doirasiga kirgan ammo o‘lchashlar va ularning vositalari yordamisiz o‘rganilgan, izlangan hamda ko‘zlangan maqsadlarga erishish mumkin bo‘lgan bironta yo‘nalish yo‘q. Shuning uchun ham Radioo‘lchov asoslarini bilish, uni o‘z mutaxassisligi doirasida tushunish va amaliy qo‘llash “Radioelektron qurilmalar va tizimlar” yo‘nalishi bo‘yicha bakalavriat bitiruvchilari uchun muhim omillardan biri bo‘lib hisoblanadi.

“Radioo‘lchov” fani texnika soxasi yo‘nalishidagi bakalavrilar va muhandislar tayyorlashda o‘tilishi lozim bo‘lgan fanlardan xisoblanadi. Oliy ta’lim yuzasidan kelib chiqib, ushbu fan talabalarda Radioo‘lchov bo‘yicha zarur va yetarli bo‘lgan asosiy tushunchalarni shakllantiradi.

“Radioo‘lchov” fanini o‘rganishdan maqsad: talabalarda har xil turdagи kattaliklar, parametrlar, modda, materiallarning xarakteristikalari, texnologik jarayonlar, fizikaviy hodisalar bo‘yicha informatsiya hosil qilish va shu maqsadda ishlataladigan ko‘rsatuvchi

analog, raqamli va qayd qiluvchi (yozib oluvchi) o‘lchash vositalari, o‘zgartkichlarining ishlash prinsiplari hamda ularni amalda qo‘llash borasida yetarli bilim va malakalarni hosil qilishdir.

Asosiy vazifasi esa talabalarni uzlusiz ta’lim tizimida "Radioo‘lchov" bo‘yicha tayyorlashdan kelib chiqqan holda talabalarni maxsus fanlar va shu bilan bir qatorda boshqa umummuhandislik fanlarini ham to‘liq o‘rganishga undaydi.

Ushbu fanni o‘rganish natijasida talabalar:

- o‘lchash haqidagi tushuncha, ta’riflar, elektroradioo‘lchash usullari, har xil parametrlar, kattaliklarni bilishi;

- elektroradioo‘lchash vositalari, ularning ishlanish prinsiplari, xarakteristikalarini bilishi:

- elektrik, magnit, noelektrik va h.k kattaliklar bo‘yicha informatsiya hosil qilish, vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan kattaliklarni qayd qilish (yozib olish) usullarini bilishi;

- elektroradioo‘lchash vositalarini amalda qo‘llay bilishi;

- o‘lchash natijalarini baholay bilishi muhim hisoblanadi.

Bu hozirgi kunda, ayniqsa, ishlab chiqarishni boshqarishda fan va texnikaning rivojlanishida jahon andozalariga mos keluvchi mahsulotlarni ishlab chiqishda, uning raqobatbardoshligini ta’minlashda o‘ta muhim masalalardan biri sanaladi.

Fan va texnikaning rivoji (taraqqiyoti) hamma vaqt o‘lhashlar bilan chambarchas bog‘liq bo‘lib keladi va u o‘zining rivojlanish tarixiga ega.

XX asrning ikkinchi yarmida xalq xo‘jaligining barcha sohalaridagi ilm-fan, madaniyatning gurkirab rivojlanishi bejiz ilmiy-texnikaviy inqilob deb atalmagan. Ilg‘or ilmiy yutuqlar fanga, bizning kundalik hayotimizga kirib kelib, shu darajada odatiy bo‘lib qolganki, ko‘pincha biz ularga e’tibor bermaymiz yoki sezmaymiz.

O‘lhashlar haqidagi fanning tarixi minglab yillarni tashkil etadi. O‘lhashlarga bo‘lgan ehtiyoj qadim zamonlarda yuzaga kelgan. Inson kundalik hayotida har xil kattaliklarni: masofalarni, yer maydonlarining yuzalarini, jismlarning o‘lchamlarini va massalarini, vaqtini va h.k, bu jarayonlarning yuzaga kelish sabablarini, manbalarini bilmasdan, o‘zining sezgisi va tajribasi asosida o‘lchay boshlagan.

Eng qadimgi o‘lchash birliklari - antropometrik, ya’ni insonning muayyan a’zolariga muvofiqlikka yoki moyillikga asoslangan holda kelib chiqqan o‘lchash birliklari hisoblanadi. Masalan: ladon - bosh

barmoqni hisobga olmaganda qolgan to‘rttasining kengligi, fut - oyoq tagining uzunligi, pyad - yozilgan va ko‘rsatkich barmoqlar orasidagi masofa, qarich, quloch, qadam va hokazolar.

Asrlar o‘ta bizga yetib kelgan ba’zi o‘lchov birliklari hozirda ham ishlatiladi. Masalan, qadimgi "janubi-sharqda" "loviya doni", no‘xotcha" ma’nosini bildirgan, turli qimmatbaho toshlarning o‘lchov birligi sifatida ishlatilgan - karat, dorishunoslikda og‘irlik birligi qilib qo‘llanilayotgan, ingliz, fransuz, lotin va ispan tillarida "bug‘doy doni" ma’nosini bildiruvchi - gran va hokazolar.

Ba’zi bir tabiiy o‘lchovlar ham uzoq o‘tmishga ega. Ularning dastlabkilaridan biri, hamma yerda ishlatiladigan vaqt o‘lchovlaridir. Munajjimlarning ko‘p yillik kuzatishlari natijasida qadimgi Vavilonda vaqt birligi sifatida yil, oy, soat tushunchalari ishlatilgan, Keyinchalik yerning o‘z o‘qi atrofida to‘la aylanishiga ketgan vaqtning 1/86400 qismi sekund nomini olgan. Qadimgi Vavilonliklar bizning eramizgacha bo‘lgan II asrdayoq vaqtini Minalarda o‘lchashgan. Mina taxminan ikki astronomik soat vaqt oralig‘iga teng bo‘lib, bu vaqt mobaynida Vavilonda rasm bo‘lgan suv soatidan massasi taxminan 500 grammga teng bo‘lgan "mina suv" oqib ketgan. Keyinchalik mina o‘zgarib, biz o‘rganib qolgan minutga aylandi.

Vaqt o‘tishi bilan suv soatlari o‘z o‘rnini qum soatlariga, ular ham vaqt kelib mayatnikli mexanizmlarga bo‘shatib berdilar. Umrining deyarli 40 yilini mayatnikli soatlar yasashga, ularni takomillashtirishga bag‘ishlagan Gyugens 1664 yil shunday deb yozgan edi: "... men soatlarni sozlashning oson va qulay usulini topdim. Bundan tashqari, hamma davr uchun o‘rinli hamda doimiy bo‘lgan uzunlik o‘lchoviga mutlaqo turg‘un aniqlash kiritdimki, bu men uchun eng beباو bo‘lgan kashfiyotim tufayli topildi". Bu yerda gap tekis va bir xilda tebranuvchi matematik mayatnik to‘g‘risida ketayapti. Kichik tebranishlar uchun tebranish davri

$$T = 2\pi\sqrt{L/g}.$$

bunda: L - mayatnik uzunligi; g - erkin tushish tezlanishi. Yuqoridagi formula negizida 1824 yili Angliyada uzunlik birligi yard qonuniy qabul qilingan.

Ma'lum bir o'lhashga bo'lgan ehtiyoj kishida ong shakllana boshlagan tosh asrlaridayoq paydo bo'lgan edi va insoniyat taraqqiyotining ilk davrlaridayoq "moddiy" o'lhashlar va o'lchov birliklarining katta ahamiyatini tushunib bilganlar.

Fan va texnikaning rivojlanishi har xil funksiyaviy kattaliklarning o'lchamlarini muayyan o'lchovlarga qiyoslab kiritishni taqozo eta boshladi.

Ishlab chiqari munosabatlarining rivojlanishi o'lhash vositalari va usullarini mukammallashtirishni talab eta boshladi. Bu borada erishilgan texnika yutuqlarining uchta asosiy bosqichlarini ajratib ko'rsatish mumkin:

- ishlab chiqarish jarayonida qatnashadigan va stanoklarga biriktirilgan o'lhash vositalarining yaratilishini talab qiluvchi texnologik bosqich (manufaktura va mashina ishlab chiqarishning yuzaga kelishi);

- ishlab chiqarish jarayonlarini tezlashtirish sharoitida foydalanilayotgan o'lhash vositalarining aniqligi, ishonchliligi va unumdorligini keskin oshirishni talab qiluvchi energetik bosqich (bug' energiyasini ishlatish, ichki yonuv dvigatellarining yuzaga kelishi, elektr energiyasini ishlab chiqarish va ishlatish);

- zamonaviy fan yutuqlarining barchasini o'lhash vositalarini tarkibiga kiritishni talab qilgan ilmiy - texnikaviy inqilob (fanni ishlab chiqarish bilan bog'lash va uni bevosita ishlab chiqaruvchi kuchga aylantirish) bosqichi. Bu bosqichning alohida xususiyatlaridan biri obyektlar va jarayonlar holatini muayyan parametrlar yordamida umumiylaholovchi o'lhash tizimlarini yaratish bo'lib, olingan natijalarni bevosita texnik tizimlarni avtomatik boshqarish uchun foydalanishdan iboratdir.

Amaliyot juda keng ko'lamdag'i fizik kattaliklar qiymatini juda tez (sekundning milliarddan bir ulushlarida), yuqori aniqlikda (xatolik o'lchanayotgan qiymatning 10% dan kichik) va nafaqat inson sezgi organlari to'g'ri ilg'ay olmaydigan, balki hayot uchun sharoit bo'limgan holatlarda ham aniqlashni talab qiladi.

Hozirgi kunda fan va texnikaning rivojlanishi tufayli ilgari o'lhab bo'lmaydi deb hisoblangan kattaliklarni o'lhash va baholash imkonini yaratilmoqda. Masalan, Sankt -Peterburg aloqa instituti olimlari hidni o'lhash borasida birmuncha yutuqlarni qo'lga kiritganlar. Bu xususda Italiyalik buyuk olim Galileo Galileyning quyidagi so'zlarini eslab

o‘tish o‘rinli bo‘ladi: "O‘lhash mumkin bo‘lganini o‘lchang, mumkin bo‘lmaniga esa imkon yarating".

Har xil kattaliklarni, masalan kondensatorning elektr sig‘imi, nurlanish oqimi, erigan metallning temperaturasi, atomning magnit maydon kuchlanganligi va hokazolarni maxsus texnik vositalar - o‘lhash o‘zgartkichlari, asboblari va tizimlaridan foydalanmasdan o‘lhashni amalga oshirish mumkin emas. Bularning hammasi ongimizga, hayotimizga shunchalik singib ketganki, aksariyat hollarda biz ularning atrofimizda mavjud ekanligini sezmaymiz. Hamma joyda: ishlab chiqarishda, ilmiy laboratoriyalarda, uy - ro‘zg‘orda, dalada, kasalxonada, avtomobilda va h.k ular bizning beg‘araz va tengsiz yordamchilarimizdir.

Shu boisdan, to‘la ishonch bilan aytish mumkinki, o‘lhash inson ongli hayotining asosini tashkil etadi. Bu borada ko‘plab olimlar o‘lhash texnikasining rivojiga munosib hissa qo‘shganlar. Ular ichida birinchi navbatda quyidagilarni: Ahmad Farg‘oniy, Abu Nasr Forobi, Abu Rayhon Beruniy, Ulug‘bek, Mixail Lomonosov, Dmitriy Mendeleyev va boshqalarni alohida ko‘rsatish o‘tish o‘rinli bo‘ladi. Ahmad Farg‘oniyning “Miqyosi Nil”, ya’ni Nil daryosining sathini tutash idishlar qonuniyati asosida o‘lhash va uning natijasiga ko‘ra yilning yog‘ingarchiligi va uning ekin hosiliga ta’siri to‘g‘risidagi ma'lumotlari, Ulug‘bekning "Zich jadvallari" da keltirgan, hozirgi kunlarda eng zamonaviy o‘lhash qurilmalarida olingan natijalardan juda oz tafovut qiluvchi ma'lumotlari alohida tafsinga sazovordir. Bundan tashqari, Forobiyning astronomik kuzatishlar va o‘lhashlar uchun maxsus asbob - usturlob yasash sirlari xususidagi qimmatli ma'lumotlari juda katta ham ilmiy ham falsafiy ahamiyatga egadir.

O‘lhash texnikasi ehtimollar nazariyasi, boshqarish nazariyasi va boshqa ilmiy yo‘nalishlar bilan birgalikda informatsion - o‘lhash, ya’ni o‘zida asosiy informatsiya olish imkonini beradigan vositalarni jamlagan (o‘lhash, nazorat qilish, hisoblash, tashxis, umumlashtirish va tasvirlarni aniqlash), Radioo‘lchov texnikasining rivojiga asos bo‘ldi. Qo‘yilgan muammolarning, ularni yechish usullari va olingan natjalarning har xillidan qat’i nazar, informatsiya olish mobaynida asosiy o‘lhash, qayta ishslash, qabul qilish va biror jarayon yoki manba haqidagi ma'lumotning tasavvur amallarini bajarish ko‘zda tutiladi.

Bugungi kunda ham olimlarimiz o'lhash nazariyasi, radioo'lchov va umuman o'lhash texnikasi rivoji ustida tinimsiz ilmiy izlanishlar olib borishmoqda.

Radioelektron qurilmalar va aloqa tizimlarini tadqiqot qilish, qayta ishlash, ishlab chiqarish va ekspluatatsiya qilishda muhandislarning ishi radiotexnik kattaliklarni o'lhashlarning ko'p marotaba o'lhashlari bilan bog'liq bo'ladi.

O'lhashlarni qanchalik to'g'ri va tez o'tkazish, qayta ishlash muddatlari sifatli ko'rsatkichlari va qurilmalarning chidamliligi hamda ularni yaratish va ulardan foydalanish xarajatlari bilan bog'liqdir.

1-jadval

Aniqlangan signal	Oniy qiymatlari vaqtning istalgan vaqtida ma'lum bo'lgan signal
Asosiy kattalik	Kattaliklar tizimiga kiruvchi va shu tizimdagi boshqa kattaliklardan shartli ravishda mustaqil deb qabul qilingan kattalik
Bevosita baholash usuli	Kattalikning qiymati bevosita ishlovchi o'lhash asbobining sanash qurilmasi bo'yicha aniqlanadigan usuli
Bevosita baholash	Kattalikning bevosita o'lchovchi o'lhash asbobining sanash qurilmasi bo'yicha aniqlangan qiymati
Bevosita o'lhash	Kattalikning izlanayotgan qiymati bevosita tajriba ma'lumotlidan topiladigan o'lhash
Birtekis shkala	Bo'linmalari o'zgarmas uzunlikdagi shkala, ba'zi hollarda bo'linish qiymati o'zgarmas bo'lgan shkala
Birlamchi o'lhash o'zgartirgichi	O'lchanadigan kattalik berilgan o'lchov zanjiridagi birinchi o'lhash o'zgartirkichi
Birlik etalonii	Birlikni uning o'lchamini qiyoslash sxemasi bo'yicha quyi turgan o'lhash vositalariga uzatish maqsadida ifodalash va (yoki) saqlashni ta'minlovchi maxsus spetsifikasiya bo'yicha bajarilgan va belgilangan tartibda etalon sifatida rasmiy tasdiqlangan o'lhashlar vositasi (yoki o'lhash vositalari majmui)
Birlik etalonii	Birlikni qiyoslash bo'yicha quyida turgan o'lhash

	vositalariga uzatish maqsadida tiklash va takrorlash va saqlashni ta'minlovchi etalon sifatida rasmiy tasdiqlangan o'lhashlar vositasi yoki o'lhash vositalari majmuasi
Boshlang'ich namunaviy o'lhash vositasi	Metrologiya xizmati idorasi qiyoslash sxemasining yuqori talabiga mos keluvchi namunaviy o'lchov yoki namunaviy o'lhash asbobi
Daraja (kattalikning)	Fizik kattalik qiymatining tayanch qiymatga yoki shu kattalikni taqqoslash uchun tanlab olingan uzatish liniyasi nuqtasidagi qiymatga nisbatining logorifmi ko'rinishida ifodalangan fizik kattalik o'lchami
Daraja o'lchagichi	Xalaqitlar mavjud bo'lgan sharoitda sinusoidal kuchlanishni chastotalarning muayyan tor polosasida o'lhash uchun mo'ljallangan asbob
Etalonlar	Fan va texnikaning eng yuksak saviyasida aniqlik bilan ishlangan namunaviy o'lchovlari
Fizik kattalikning asl qiymati	Bu xatoliklardan xoli bo'lgan qiymatdir. Fizikaviy kattalikning haqiqiy qiymati tajriba yo'li bilan topiladi va u kattalikning asl qiymatiga yaqin bo'lgan son qiymatiga ega
Garmonika	Amplituda va boshlangich fazasi mos holda argument ma'lum bir qiymatida davriy signalning amplituda va faza spektri qiymatlariga teng garmonik signal
Garmonikalar koeffitsiyenti	Berilgan davriy signal shaklining garmonika shaklidan farqini ifodalovchi, signalning birinchisidan tashqari barcha garmonikalari yigindisi o'rtacha kvadratik kuchlanishining birinchi garmonikaning o'rtacha kvadratik kuchlanish nisbatiga teng koeffitsiyent
Ishchi o'lhash vositasi	Birliklar o'lchamini uzatish bilan bog'liq bo'lmanган o'lhashlar uchun qo'llaniladigan o'lhash vositasi
Metrologiya	O'lhash, usul va vositalarning birligini va talab qilingan aniqlikka erishish yo'llarini ta'minlaydigan fan
Namuna o'lhash vositalari	Ish o'lhash asboblarini tekshirish va ularni o'zlarini bo'yicha darajalashga xizmat qiladi

O'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati	Yo'1 qo'yilgan xatoliklar ta'sirida olingen natijalar qiymatidir
O'lhash	Maxsus texnika vositalar yordamida fizik kattaliklar qiymatlarini tajriba yo'li bilan topish demakdir
O'lhash vositasi	Normallashtirilgan metrologik tavsifga ega bo'lgan o'lhash asbobi. O'z navbatida, o'lchov, o'lhash o'zgartirgichlari, o'lchov asboblari, o'lhash axborot tizimi va qurilmalari kabi turkumlarga bo'linadi
O'lhash xatoligi	O'lhash natijasining o'lchanayotgan kattalikning asl qiymatini farqlanishidir
O'lchay aniqligi	O'lchanayotgan kattaligining haqiqiy qiymatlarga o'lhash natijalarining yaqinligini aks ettiruvchi o'lhash sifatidir
O'lchov	Berilgan o'lchamli fizik kattaliklarni qayta tiklash uchun mo'ljallangan o'lhash vositasi
O'lchov birligi	O'lhash natijasi ko'rsatilgan birlikda ifodalangan va o'lhash xatoligi berilgan ehtimollikda ma'lum bo'lgan o'lhash holatidir
O'lchovlar	Bir qiymatli, ko'p qiymatli va o'lchovlar to'plamidan iborat bo'ladi

Nazorat savollari

1. Insoniyat hayotida o'lhashning o'rmini tushuntirib bering.
2. Qadimda o'lchashlarning kelib chiqishiga qanday omillar sabab bo'lgan?
3. Radioo'lchov fani nimani o'rgatadi?
4. Radioo'lchov fani qaysi fanlar bilan bog'liq?
5. Qanday o'lchov kattaliklari va atamalarini bilasiz?

2-ma'ruza O'lhash turlari, usullari va xatoligi

Reja:

1. Axborot, o'lhash axboroti, signal to'g'risida tushuncha.
2. O'lhash xatoligi va uni baholash.

3. Xatoliklar nazariyasining asosiy holatlari.

Kalit so‘zlar: axborot, xatolik, standart, signal, sanoq sistemasi.

Tabiat qonunlari u yoki bu hodisa obyektlarining miqdoriy xarakteristikalari orasidagi munosabatlar tarzida ifodalanadi. Bu miqdoriy xarakteristikalar fizik kattaliklar deb ataladi.

Barcha fizik kattaliklarni ikki guruhga ajratish mumkin o‘lhash mumkin bo‘lgan kattaliklar (uzunlik massa) va formulalar asosida hisoblash mumkin bo‘lgan fizik kattaliklar (hajm zichlik va hokazo).

Fizik kattaliklarni o‘lhash uchun birliklar tanlab olinadi. O‘lhash mumkin bo‘lgan fizik kattaliklarning birliklari etalonlarga ega. Fizik kattaliklarning qiymati deganda mazkur kattalik etalondan (uning nusxasidan) necha marta farqlanishini ko‘rsatadigan son tushuniladi.

Formulalar asosida hisoblash mumkin bo‘lgan fizik kattaliklarning birliklari etalonlarga ega emas. Ularni etalonlarga ega bo‘lgan birliklari orqali ifodalanadi.

Lekin sobiq Ittifoq Davlat standartlarining 1979 yil 6 apreldagi 113-qaroriga asosan 1980 yilning 1 yanvaridan boshlab ST SEV 1052-78» Metrologiya. Fizik kattaliklarning birliklari» davlat standarti tariqasida qo‘llanilishi nazarda tutilgan mazkur standart fizik kattaliklar birliklarining xalqaro sistemasi (SI) dan foydalanishni joriy etdi. SI da 7 ta birlik asosiy birlik sifatida va 2 ta birlik qo‘sishimcha birlik sifatida qabul qilingan.

Turli kattaliklar orasidagi bog‘lanishganishni ifodalovchi tenglamalarga tayangan holda asosiy birliklardan hosilaviy birliklar keltirilib chiqariladi.

ST SEV 1052-78 ga asosan SI birliklardan o‘nga karrali tarzda hosil qilingan birliklardan foydalanishga ruxsat etiladi. Bunday birliklarni hosil qilish uchun fizik kattaliklarning SI dagi birligiga quyidagi jadvalda keltirilgan o‘nga karrali old qo‘sishimchalar qo‘silishi kerak.

ST SEV 1052-78 standartda SI birliklari bilan huquqli ravishda sistemaga kirmagan ba’zi birliklardan foydalanishga ruxsat etilgan.

Bugungi kunda O‘zDST 8.012.10. kattaliklar davlat standarti barcha sohalarda keng qo‘llanilmoqda.

Fan va texnikaning hamda iqtisodiy aloqalarning rivojlanishi o‘lchov birliklarini xalqaro masshtabda yagonaligi bilan ta’minlashga olib keldi.

2-jadval

Nomi	belgisi	karraligisi	Ma’nosি
tera	T	10^{12}	trillion
giga	G	10^9	milliard
mega	M	10^6	million
kilo	K	10^3	Ming
gekto	G	10^2	Yuz
deka	D	10	O‘n
desi	D	10^{-1}	o‘ndan bir
santi	S	10^{-2}	yuzdan bir
milli	M	10^{-3}	Mingdan bir
mikro	Mk	10^{-6}	milliondan bir
nano	N	10^{-9}	milliarddan bir
piko	P	10^{-12}	trilliondan bir

Amaliyotda qulay va o‘lchashning turli sohasini o‘z ichiga oluvchi yagona birliklar tizimi talab qilindi. Bundan birliklar tizimining loyihasi o‘lchovlar va og‘irlik (1960) XI General konferensiyasida tasdiqlandi.

Birliklarning yagona xalqaro tizimi qisqacha SI (SI) – «System international» degan nomni oldi.

GOST 8.417-81 ga muvofiq SI tizimi 7 ta fizikaviy kattalikdan iborat.

Elektr o‘lchashlarda tizimga kirmagan logarifmik birliklardan keng foydalaniladi.

Logarifmik birliklardan ko‘pincha quvvat, kuchlanish va tok bo‘yicha uzatish darajalari aniqlanadi.

3-jadval

Xalqaro sistema (SI)da fizik kattaliklarning o‘lchov birliklari
Asosiy birliklar

Kattalik	O‘lchov birligi			
	Nomi	Belgisi	Ta’rifi	
1	2	3	4	
Uzunlik	metr	m	Asosiy birliklar Kripton-86 atomining $2R_{10}$ va $5d_5$ sathlari orasidagi o‘tishga mos bo‘lgan vakuumdagи nurlanishning 1,650,763,73 to‘lqin uzunligi 1 metr deb qabul qilingan.	
Massa	kilogramm	kg	Xalqaro kilogramm prototipining massasini 1 kilogramm deb qabul qilingan.	
Vaqt	sekund	s	Seziy-133 atomi asosiy holatining ikki o‘ta nozik sathlari orasidagi o‘tishga mos	

			bo‘lgan 9,192,631,770 nurlanish davri 1 sekund deb qabul qilingan.
Elektr tokning kuchi	amper	A	Amper-vakuumda bir biridan 1 metr masofada joylashgan ikki parallel cheksiz uzun va kesimi juda kichik to‘g‘ri o‘tkazgichlardan tok o‘tganda o‘tkazgichning har 1 metr uzunligida $2 \cdot 10^{-7}$ N o‘zaro ta’sir kuchi hosil qiladigan o‘zgarmas tok kuchidir.
Termodinamik temperatura	kelvin	K	Suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik temperaturaning 1/273,16 ulushi 1 kelvin deb qabul qilingan.
Modda miqdori	mol	mol	Uglerod-12 ning 0,012kg massasidagi atomlar soniga teng element (masalan, atom, molekula, ion) lardan tashkil topgan sistemadagi modda miqdori 1 mol deb qabul qilingan.
Yorug‘lik kuchi	kandela	kd	101325 Pa bosim ostidagi platinaning qotish temperaturasiga teng temperaturadagi to‘la nurlangichning $1/600000 \text{ m}^2$ yuzidan perpendikulyar yo‘nalishda chiqarilayotgan yorug‘lik kuchi 1 kandela deb qabul qilingan.

Qo‘srimcha birliliklar

Yassi burchak	radian	Rad	Uzunligi radiusiga teng yoyga (aylana yoyiga) tiraluvchi markaziy burchak 1 radian deb qabul qilingan.
Fazoviy burchak	steradian	Sr	Uchi sfera markazida bo‘lgan va shu sfera sirtidan radius kvadratiga teng yuzli sirtni ajratadigan fazoviy burchakni 1 steradian deb qabul qilingan.

Hosilaviy birliliklar

Yuza	metr kvadrat	m^2	1m^2 -tomonlarining uzunligi 1m dan bo‘lgan kvadratning yuzi
Hajm	metr kub	m^3	1m^3 kirralarning uzunligi 1 metrdan bo‘lgan kubning hajmi
Elektr zaryad miqdori	kulon	Kl	1 Kl-tok kuchi 1 A bo‘lgan ko‘ndalang kesimdan 1 s davomida o‘tgan elektr zaryad miqdori.
Elektr qarshilik	om	Om	1 Om-ikki uchidagi potensiallar farqi (kuchlanish) 1V bo‘lganda 1A tok o‘tadigan o‘tkazgichning elektr qarshiligi.
Elektr kuchlanish	volt	V	1V-o‘zgarmas tok kuchi 1A bo‘lgan holda elektr zanjirning 1Vt quvvat sarflanadigan

			qismidagi kuchlanish.
Elektr sig‘im	farad	F	1F-1Kl zaryad berilganda potensiali 1Vga ortadigan o‘tkazgichning elektr sig‘imidir.
Induktivlik	genri	Gn	1 Gn-shunday o‘tkazgich (konturning induktivligiki, undan 1A tok o‘tganda vujudga keladigan to‘la magnit oqim 1Vb ga teng bo‘ladi.
Magnit induksiyasi	tesla	Tl	1 Tl-yuzi $1m^2$ li ko‘ndalang kesimdan 1 Vb ga teng magnit oqim o‘tadigan holdagi magnit induksiyadir.
Magnit oqim	veber	Vb	1 Vb-shunday magnit oqimki, uning nolgacha kamayib borish jarayonida mazkur magnit oqim bilan tutungan elektr qarshiligi 1 Om bo‘lgan elektr zanjirning ko‘ndalang kesimidan 1 Kl elektr zaryad o‘tadi.
Quvvat	vatt	Vt	1Vt-1s davomida 1J ish bajaradigan mashina (yohud ish bajaruvchi)ning quvvati.
Ish (el.energiya)	joul	J	1J-1N kuch ta’sirida jismni (ta’sir etuvchi kuch yo‘nalishida) 1m masofaga ko‘chirishda bajarilgan ish.
Issiqlik miqdori	joul taqsim kelvin	J/K	1 J/K –shunday sistemaning issiklik sig‘imiki, bu sistemaga 1 J issiklik miqdori berilganda uning temperaturasi 1K ga ortadi.

Tizimdan tashqari bo‘lgan birliklar aloqa texnikasida keng qo‘llaniladi. Masalan: bu birliklardan to‘rtqutblilarning uzatish parametrlari, xalaqitlarni miqdoran baholashda, nochiziqli buzilishlar, shovqin, uzatish traktining moslik darajasini aniqlashda va uzatish tizimlarining darajalar diagrammasini qurishda foydalaniladi. 1970 yildan boshlab yagona logarifmik birlik Aleksandr Greyhyem Bell telefon ixtirochisining sharafiga «Bell» kiritildi, amalda boshqa logarifmik birlik «Neper» ham ishlatiladi (GOST 24204-80).

Ular orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$INp=8,686 \text{ dB}$$

$$1dB=0,115Np$$

Uzatish darajasi R bilan belgilanadi va uning yordamida «Nep» va «dB» larda kuchlanish, tok va quvvat baholanadi. Simli aloqa texnikasida o‘lchashning absolyut, nisbiy va o‘lchash darajalari mavjud.

Uzatishning absolyut va nisbiy darajalaridan darajalar diagrammasini qurishda foydalaniadi.

Har qanday o'lhash olib borilganda turli sabablarga ko'ra o'lchanayotgan kattalikning qiymati asl qiymatiga nisbatan cheklanishi mumkin.

O'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatidan chetlanishi – **o'lhash xatoligi** deb aytildi.

O'lhash xatoliklari quyidagicha klassifikatsiyalanadi:

1. Xatoliklar namoyon bo'lishi xarakteriga ko'ra (muntazam, tasodifiy va qo'pol xatoliklar).

2. Sonli ifodalanish usuliga ko'ra (absolyut, nisbiy va keltirilgan xatoliklar).

3. Kirish kattaligining vaqt bo'yicha o'zgarish xarakteriga ko'ra (statik va dinamik).

4. O'lchanayotgan kattalikka bog'liqligiga ko'ra (additiv va multiplikativ).

5. Atrof muhit parametrlarining ta'siriga ko'ra (asosiy va qo'shimcha).

Muntazam xatolik deyilganda, faqat bitta kattalikni qayta-qayta o'lchaganda o'zgarmas bo'lib qoladigan yoki biror qonun bo'yicha o'zgaradigan o'lhash xatoligi tushuniladi. Ular aniq qiymat va ishoraga ega bo'ladi, ularni tuzatmalar kiritish yo'li bilan yo'qotish mumkin.

Kattalikni o'lhash natijasida olingan qiymatga muntazam xatolikni yo'qotish maqsadida qo'shiladigan qiymat tuzatma deyiladi.

Xatoliklar:

- a) instrumental (o'lhash asboblari);
- b) o'lhash usuli;
- d) subyektiv (noaniq o'qish);
- e) o'rnatish;
- f) uslubiy xatoliklarga bo'linadi.

Instrumental xatolik deyilganda, qo'llanilayotgan o'lhash asboblari xatoliklariga bog'liq bo'lgan o'lhash xatoliklari tushuniladi, bu xatolik tuzatma kiritish usuli bilan yo'qotiladi. Texnik o'lhash asboblarining instrumental xatoliklarini yo'qotib bo'lmaydi, chunki bu asboblar tuzatmalar bilan ta'minlanadi.

O'lhash usuli xatoligi, deyilganda usulning takomillashmagangligi natijasida kelib chiqadigan xatolik tushuniladi. Bu xatolik

o'lhash vositasi, xususan, o'lhash qurilmasi, ba'zida esa, o'lhash natijasi xatoliklarini baholashda e'tiborga olinishi lozim.

Subyektiv xatoliklar – kuzatuvchining shahsiy xususiyatlaridan masalan, biror signal berilgan paytni qayd qilishda kechikish yoki shoshilishdan, shkala bir bo'lim chegarasida ko'rsatuvni noto'g'ri yozib olishdan, paralaksandan va hokazolardan kelib chiqadi.

O'rnatish xatoligi – o'lhash asbobi ko'rsatkichining shkala boshlang'ich belgisiga noto'g'ri o'rnatilishi natijasida yoki o'lhash vositasini e'tiborsizlik bilan, masalan, vertikal yoki gorizontal bo'yicha o'rnatilmasligi natijasida kelib chiqadi.

O'lhash metodikasi xatoliklari - kattaliklarni o'lhash shartlari metodikasi bilan bog'liq bo'lgan va qo'llanayotgan o'lhash asboblariga bog'liq bo'lman xatoliklardan iborat. Ayniqsa, aniq o'lhashlarni bajarishda o'lhash natijasida muntazam xatoliklar anchagina buzishi mumkin.

Tasodifiy xatolik deyilganda, faqat, bitta kattalikni qayta-qayta o'lhash mobaynida tasodifiy o'zgaruvchi o'lhash xatoligi tushuniladi. Bu xatolik borligini faqat bitta kattalikni bir xil sinchkovlik bilan qayta-qayta o'lchagandagina sezish mumkin.

Agar har bir o'lhash natijasi boshqalaridan farq qilsa, u holda tasodifiy xatolik mavjud bo'ladi. Shu xatoliklarni baholash ehtimollar nazariyasiga matematik statistika nazariyasiga asoslangan bo'lib, ular o'lhash natijasi o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinlashishi darajasini baholash metodlarini, xatolik ehtimoliy chegarasini baholash imkonini beradi, ya'ni natijani aniqlash, boshqacha aytganda, o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga anchagina yaqin qiymatini topish va bir karrali kuzatish natijasini topish imkonini beradi.

O'lhashning qo'pol xatoligi deyilganda, berilgan shartlar bajarilganda kutilgan natijadan tubdan farq qiladigan o'lhash xatoligi tushuniladi.

Yuqorida aytilgandek o'lhash natijasi hech qachon absolyut aniq yoki fizik kattalikning asl qiymatiga teng bo'lmaydi. Bunga ko'p omillar sabab bo'ladi.

2. Agar xatolik o'lchanayotgan kattalikning o'lchov birliklarda ifodalangan bo'lsa, bunday xatolik absolyut yoki mutlaq xatolik deyiladi.

$$\Delta A = A_{o'lch} - A_{haq}; \quad (1)$$

Amalda o'lhashning nisbiy xatoligidan ko'p foydalaniladi. Nisbiy xatolik – absolut xatolikning o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy yoki o'lchanayotgan qiymatga nisbatidir:

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_{haq}} \cdot 100\% = \frac{A_{o'lch} - A_{haq}}{A_{haq}} \cdot 100\% \quad (2)$$

O'lhash vositalarining xatoliklari quyidagilardir:

1. Absolut xatolik;
2. Nisbiy xatolik;
3. Kelitirlgan xatolik.

O'lhash asbobining xatoligi deb, asbobning ko'rsatishi bilan o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati orasidagi farqqa aytildi:

$$\Delta A = A_{o'lch} - A_{haq} = \pm \Delta A \quad (3)$$

Bunda xatolar musbat yoki manfiy ishorasi bilan kattalikning birliklarida ifodalanadi.

Absolut xatolikning kattalikning haqiqiy qiymatiga nisbati nisbiy xatolik deb ataladi va % larda ifodalanadi.

Amalda keltirilgan xatolik deb, nomlangan, ya'ni absolut xatolik asbobining o'lhash chegarasiga (diapazoni) bo'lgan nisbatidan foydalaniladi. Xatolik qiymati o'lhash asbobi aniqligini, demak, o'lhash natijasini ham xarakterlaydi.

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_{haq}} \cdot 100\%; \quad \gamma_{kel} = \frac{\Delta A}{A_{max}} \cdot 100\%; \quad [A_{max}] yoki [A_{nam}] \quad (4)$$

O'lhashlar aniq bo'lishi uchun xatosi kichik asboblardan foydalaniladi. Ba'zan kattalikning haqiqiy qiymatini topish uchun asbob ko'rsatishi tuzatish koeffitsiyentiga ko'paytiriladi.

$$A_{haq, yoki o'lch} = K_{max} \quad (5)$$

Keltirilgan xatolik γ_{kel} – asbobning aniqlik sinfini $K_{a.c.}$ xarakterlaydi.

DST (22261-82;8,009-84)ga binoan aniqlik sinfining quyidagi qatori mavjuddir: (1.0; 1,5;2.0;2,5;4.0;5.0;6.0)*10ⁿ nk(1.0;-1;-2).

Aniqlik sinfi va keltirilgan xatolik orasidagi ushbu munosabat o'rinni:

$$K_{a.c.} \geq |\gamma_{kel}| \quad (6)$$

Masalan: keltirilgan xatolik $\gamma_{kel} \approx 0,22$ bo'lsa, bu o'lchanash vositasiga $K_{a.c.} = 0,25$ aniqlik sinfi beriladi.

3. O'lchanayotgan kattalikka bog'liqligi hisobga olingan holda xatolik additiv (absolyut) va multiplikativ xatoliklarga ajratiladi.

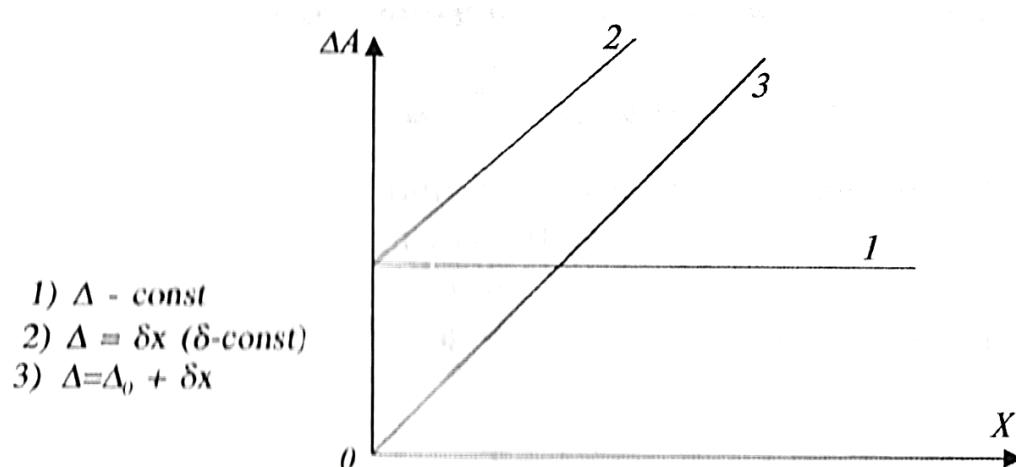
Additiv xatolik o'lchanayotgan kattalikka bog'liq emas, multiplikativ xatolik esa o'lchanash katalikka proporsionaldir.

Additiv xatolik «O» ning xatoligi, multiplikativ xatolik esa sezgirlik xatosi deb aytiladi. Amalda o'lchanash vositasi ikkala xatolikni o'z ichiga oladi.

Agar xatolikning qiymati diapazon bo'yicha doimiy bo'lsa (1-chiziq), o'lchanash vositasining bunday xatosi additiv xatosi deyiladi. Agar o'lchanash vositasi faqat additiv xatolikka ega bo'lsa, unda asbobning xatoligi absolyut xatolik bilan normalanadi. Multiplikativ xatolik o'lchanayotgan kattalikka bog'liq holda chiziqli ravishda o'sib boradi, shunga ko'ra, nisbiy qiymat (2-3-to'g'ri chiziq) diapazonda doimiy bo'lib qoladi. Shuning uchun bu xatolik nisbiy xatolik tarzida normallashtiriladi (1-rasm).

Multiplikativ xatolik nochiziqli elementli qurilmalarda paydo bo'ladi. Masalan: AChT ning o'lchanashida multiplikativ xatolik paydo bo'ladi.

Ko'rsatkichli asboblar uchun nisbiy xatolik 0,5-0,6% foizni tashkil qiladi.



1-rasm. Xatolikning o'lchanash diapazoni bo'yicha o'zgarishi

4. O'lhash vositalari statik yoki dinamik ish tartibida ishlatilishi mumkin.

Statik tartibida o'lchanayotgan kattalik vaqt bo'yicha o'zgarmaydi. Dinamik rejimda o'lchanayotgan kattalik vaqt bo'yicha o'zgaradi. Shunga ko'ra, ular o'lhash vositalarining statik xatoligi va dinamik tartibidagi xatoligi deb yuritiladi.

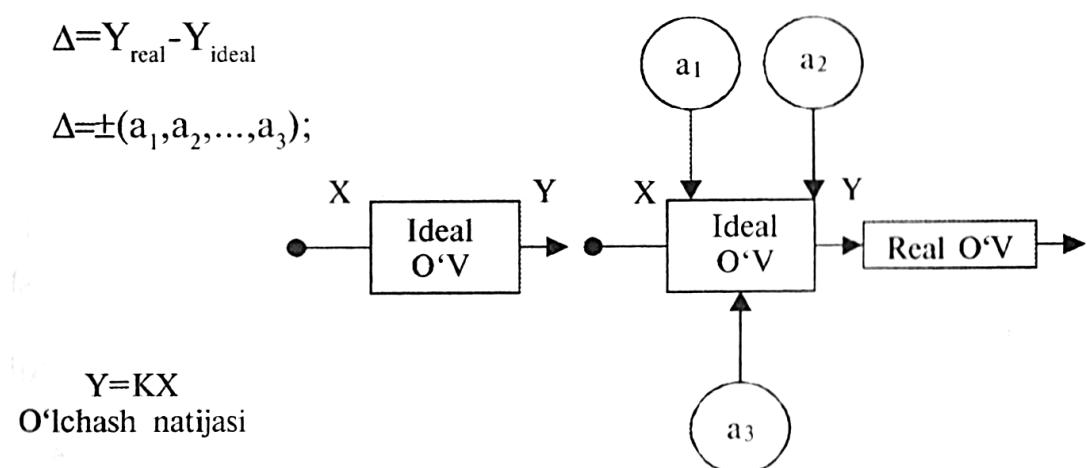
5. Asosiy va qo'shimcha xatoliklar. Asosiy xatoliklar: Harorat, atmosfera bosimi va havoning nisbiy namligi.

$$Y_{\text{ideal}} = KX$$

$$Y_{\text{real}} = KX + f(a_1, a_2, \dots, a_3);$$

$$\Delta = Y_{\text{real}} - Y_{\text{ideal}}$$

$$\Delta = \pm(a_1, a_2, \dots, a_3);$$



2-rasm. Tashqi omillarning o'lhash vositalariga ta'siri

Qo'shimcha xatoliklar: ta'minlash kuchlanishi, elektr tarmoq kuchlanishi, xalaqitlar, magnit maydoni kuchlanganligi. O'lhash vositasi o'lhash o'tkazilayotgan zanjir bilan o'zaro ta'sirlashadi. O'lhash vositasi va elektr zanjirining bir-biriga ta'siri usuliy xatoliklarning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi.

a_1 – asbob shovqini va uning elementlarining eskirishi;

a_2 – ishlab chiqarishda parametrlarning chetlanishi;

a_3 – atrof-muhit parametrlarining ta'siri.

Nazorat savollari

1. Axborot va signal deganda nimani tushunasiz?
2. Axborot uzatishda qaysi kattalikdan foydalaniladi?
3. Qahday fizik kattaliklarni bilasiz?

4. Qanday o'lhash xatoliklari mavjud?
5. Additiv va multiplikativ xatoliklar deganda qanday xatoliklar tushuniladi?

3-ma'ruza

O'lhash xatoliklari va ularning klassifikatsiyasi

Reja:

1. O'lhash xatoliklari va ularning klassifikatsiyasi.
2. Asosiy va qo'shimcha xatoliklar, absolyut va nisbiy, sistematik, tasodifiy va qo'pol xatoliklar.
3. Dinamik xatoliklar.

Kalit so'zlar: xatoliklar, dinamik, statik, differensial, analog.

Turkumlash o'lchanadigan turli kattaliklar uchun turlicha bo'lgan umumiy belgilar bo'yicha amalga oshiriladi.

- a) xarakter bo'yicha;
- b) o'lhash usullari bo'yicha;
- d) o'lhash natijalarini ifodalash usullari bo'yicha;
- e) foydalanilgan o'lhash usuli bo'yicha.

O'lchanayotgan kattalikning vaqtga bog'liqligi xarakteri bo'yicha o'lhashlar statik va dinamik bo'ladi.

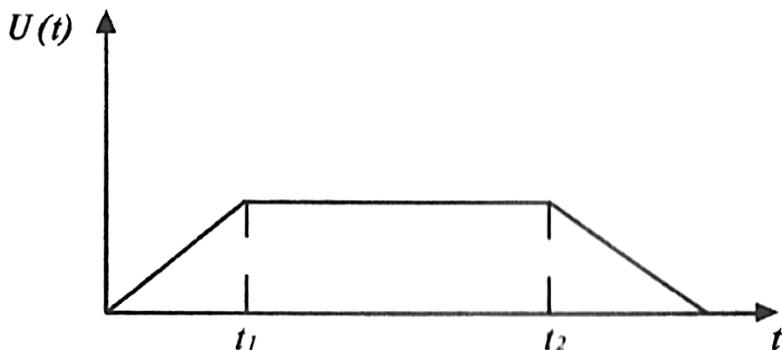
Statik o'lhash, bunda o'lchanayotgan kattalik o'zgarmas bo'ladi.

M: termostat.

Dinamik o'lhash, bunda o'lchanayotgan kattalik vaqtga bog'liq bo'ladi.

Masalan:

Elektr kuchlanishining vaqtga bog'liqligi.



3-rasm. Kattalikning vaqtga bog'liqligi

O'lhash turi bo'yicha: bevosita, bilvosita va birgalikda. O'lhash usullari bo'yicha;

O'lchanayotgan kattalikning son qiymati bevosita, bilvosita, va birgalikda o'lhash turlari yordamida topiladi.

Laboratoriya amaliyotiga va ilmiy tekshirishlarda birgalikda o'lhash usullaridan foydalilanadi.

Bevosita o'lhash deb shunday o'lhashga aytildiki, unda o'lchanayotgan kattalikning izlanayotgan qiymati tajriba ma'lumotlaridan bevosita aniqlanadi.

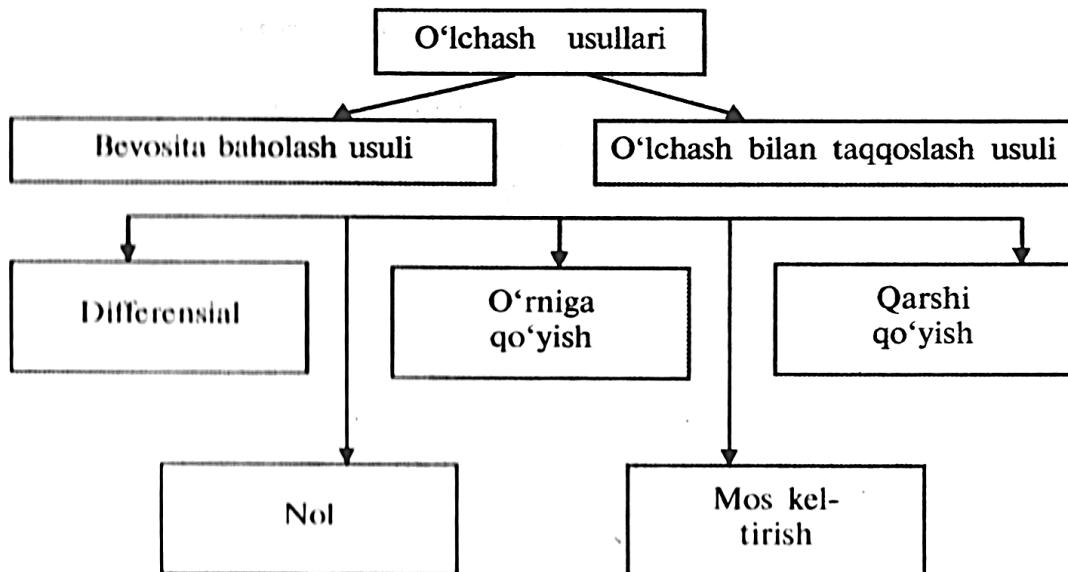
Masalan: - voltmetr bilan manbaning kuchlanishini va ampermetr bilan tok kuchining kattaligini o'lhash.

Bilvosita o'lhash deb shunday o'lhashga aytildiki, unda o'lhash natijasi o'lchanayotgan kattalik bilan ma'lum munosabat yordamida bog'langan kattaliklarni bevosita o'lhashga asoslangan bo'ladi. Bilvosita o'lhashda o'lchanayotgan kattalikning qiymati quyidagi tenglamani yechish yo'li bilan topiladi.

$$X=F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (7)$$

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ - bevosita o'lhash bilan olingan kattaliklar qiymati.
Masalan: R-rezistorning qarshiligi ushbu tenglamadan topiladi.

$$R_x = U_x / I_x \quad (8)$$



4-rasm. O'lhash usullarining tavsnifi

Unga rezistordagi kuchlanishing tushgan qiymati va rezistordan o‘tgan tokning qiymati qo‘yiladi. Birlashtirilib o‘lhash bir nechta bir komli kattaliklarni bir vaqtida o‘lhashdan iborat bo‘lib, unda izlangan kattaliklarning qiymatlari bevosita o‘lhashda xosil qilingan tenglamalar tizimidan topiladi.

Masalan: Uchburchak usulida ulangan rezistorlarning qarshilagini o‘lchaganda uchburchakning turli uchlaridagi qarshiliklar o‘lchanadi va uch o‘lchov natijalari asosida rezistorlarning qarshiliklari aniqlanadi.

Birgalikda o‘lhash deb, bir vaqtida ikki yoki bir necha turli nomli kattaliklarnn ularning orasidagi funksional bog‘lanishllarni, munosabatlarni topish uchun olib borilgan o‘lhashlarga aytiladi va bunda tenglamalar sistemasi yechiladi.

$$\begin{aligned} F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_a, x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) &= 0 \\ F(x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, x_n, x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) &= 0 \\ F(x_1, x_2, x_3, x_n, x_1^{(n)}, x_2^{(n)}, x_3^{(n)}, x_m^{(n)}) &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

x_1, x_2, x_3, x_n - noma’lum kattaliklar
 $x_1, x_2, x_3, x_m ; x_1, x_2, x_3, x_m ; x_1^{(n)}, x_2^{(n)}, x_3^{(n)}, x_m^{(n)}$ – o‘lchangan kattalik qiymati.

Birgallikda o‘lhashga misol: Rezistor qarshiligining haroratga bog‘liqligini aniqlash:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (10)$$

3 ta turli haroratda rezistor qarshiligi o‘lchanadi va uchta tenglamali sistema tuziladi, ulardan R , A va V bog‘lanish parametrlari topiladi.

R - 20°C dagi qarshilik:

A , V - temperatura koeffitsiyenti;

t - atrof muhit harorati.

O‘lhash prinsipini va vositasini belgilab beradigan usullar **o‘lhash usuli** deb ataladi. O‘lhashlarda quyidagi usullardan foydalaniladi.

1-bevosita, ya’ni to‘g‘ridan-to‘g‘ri baholash usuli.

2-o‘lchov bilan taqqoslash quyidagi usullarni o‘z ichiga oladi:

a) differensial (ayirmali) usul.

b) nol (kompensatsion) usul

- d) o‘rniga qo‘yish usuli
- e) moslashtirish usuli (mos keltirish).

Bevosita baholash usuli - bu usulda kattalikning qiymati o‘lchov asbobining sanoq qurilmasidan bevosita aniqlanadi.

Masalan: Tok kuchi ampermetr bilan, kuchlanish voltmetr bilan o‘lchanadi, lekin aniqligi yuqori emas ko‘rsatkichli asboblar shu usul asosida qurilgan.

O‘lchov bilan taqqoslash usuli:

a) differensial usul yoki ayirmali usul bu usul o‘lchanayotgan va ma’lum kattaliklarning ayirmasini o‘lhashi xarakterlaydi, ya’ni kattaliklar orasidagi farq o‘lhash asbobiga ta’sir ko‘rsatadi.

Agar $X=X_0+\Delta$ va $\Delta=0$ bo‘lsa differensial usul “nol” usulga aylanadi.

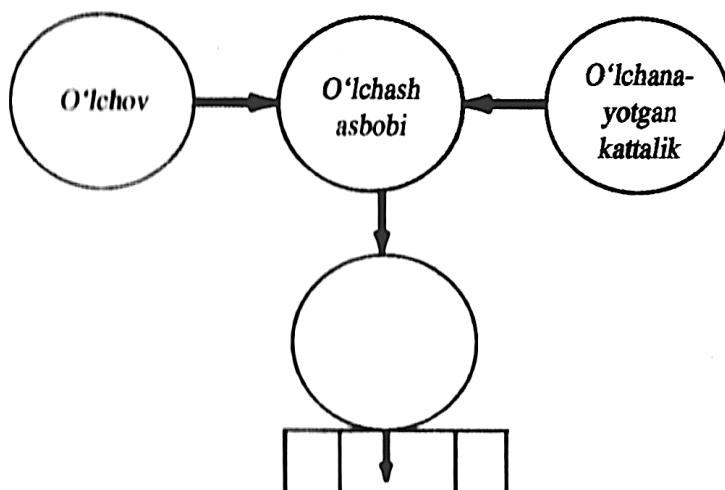
Bu usul o‘lchovasboblarini tekshirishda keng qo‘llaniladi. Uncha aniq bo‘lmanan o‘lhash asboblaridan foydalanilganda ham yuqori aniqliqda natijalar olish imkonи mavjud.

Masalan: Tok va kuchlanish o‘lchov transformatorlarida. Elektro‘lchov texnikasida keng foydalaniladigan o‘zgaruvchan va o‘zgarmas tok ko‘priklarning ishi shu usulga asoslangandir.

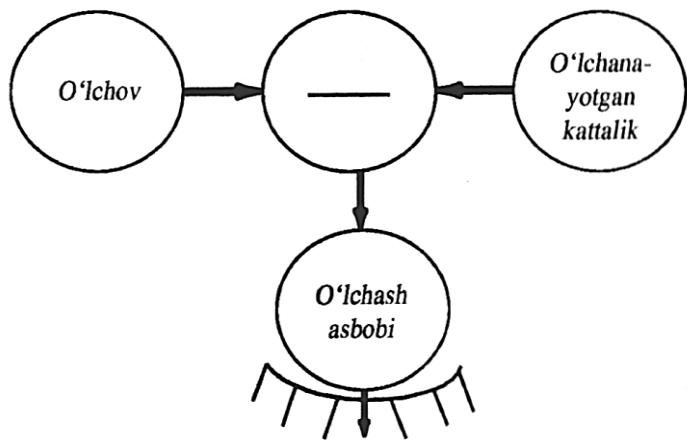
Nol usulida o‘lhash yuqori aniqlikni ta’minlaydi. Masalan: Elektr qarshilikli ko‘prik yordamida o‘lhash.

Nol muvozanatlash usulida o‘lchanayotgan kattalik o‘lchov bilan taqqoslanadi, ammo ular orasidagi ayirma qiymati ma’lum bo‘lgan kattalikni o‘zgartirish usuli bilan nolga keltiriladi.

Qarshi qo‘yish usuli. O‘lchanayotgan va qiymati ma’lum kattalik bir vaqtida taqqoslash asbobiga ta’sir ko‘rsatadi va bu ta’sir yordamida bu kattaliklar orasidagi munosabat tiklanadi (6-rasm).



5-rasm. Differensial usul chizmasi

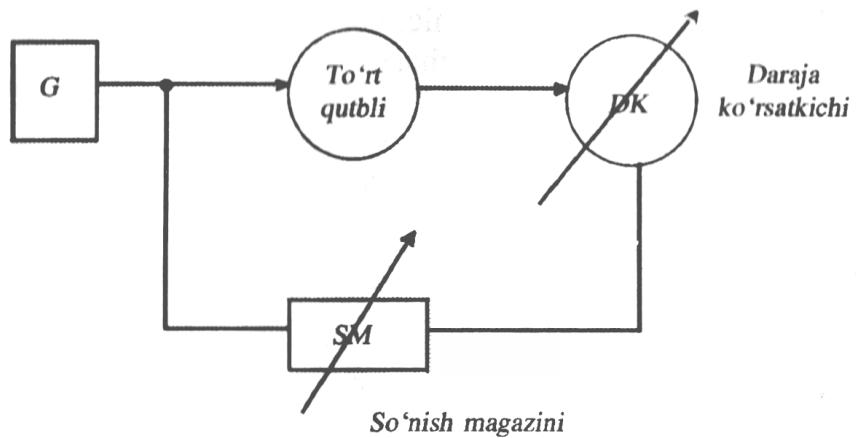


6-rasm. Qarshi qo'yish usuli

O'rniga qo'yish usuli - dastlab o'ichash qurilmasiga parametri noma'lum bo'lgan o'ichanayotgan element ulanadi va asbobning ko'rsatishi yozib olinadi. Keyin esa bu element o'rniga boshqa ma'lum parametrli element ulanadi va uning qiymati o'ichash asbobining dastlabki ko'rsatkichiga tenglashguncha o'zgartiriladi. Bu xolda o'ichangan va ma'lum kattalik qiymatlari bir-biriga teng bo'ladi (8-rasm).



7-rasm. Qarshi qo'yish usuli



8-rasm. O'rniga qo'yish usuli bilan to'rtqutblining parametrlarini o'ichash chizmasi

Moslashtirish yoki mos keltirish usulida-o‘lchangan kattalikning qiymati signal belgi va boshqa xususiyatlarning mos kelishi bilan aniqlanadi.

Barcha o‘lhashlar analog - uzluksiz va uzlukli o‘lhashlarga bo‘linadi.

Analog - uzluksiz o‘lhashda o‘lchaiayotgan kattalikning qiymati uzluksiz ravishda qayd qilinadi.

Uzlukli - diskret o‘lhashda esa o‘lhashlar natijasi faqat ayrim vaqt momentlarida qayd qilinadi.

Nazorat savollari

1. O‘lhash qanday turlarga va usullarga bo‘linadi?
2. Differensial usul qanday amalga oshiriladi?
3. Muvozanatlash usuli qanday amalga oshiriladi?
4. Qarshi qo‘yish usuli qaysi holatlarda qo‘llaniladi?
5. O‘rniga qo‘yish usuli qanday parametrlarni o‘lhash uchun qulay hisoblanadi?

4-ma’ruza **Bevosita va bilvosita o‘lhashlar**

Reja:

1. O‘lhash xatoligini baholash.
2. Bevosita va bilvosita o‘lhashlardagi xatoliklarni hisoblash, ularni kamaytirish yo‘llari.

Kalit so‘zlar: mutlaq, nisbiy, elektr, noelektr, differensial.

Umuman o‘lhash juda turli xil yo‘sinda o‘tkazilishi mumkin. Bu, albatta, o‘lchanadigan elektrik va noelektrik kattaliklarning ko‘pligiga, ularning vaqt bo‘yicha har xil xarakterda o‘zgarishiga, o‘lhash aniqligiga, qo‘yiladigan har xil talablarga va o‘lhash natijalarining har xil yo‘l bilan olinishiga bog‘liqdir.

Metodologik nuqtayi nazaridan o‘lhash natijasi qanday usulda olinishiga qarab, o‘lhash quyidagi turlarga bo‘linadi:

1. Bevosita
2. Bilvosita

3. Birgalikda

Bevosita o'lhash - qachonki, natija bevosita tajriba orqali olinsa, bunda bevosita o'lhashni quyidagi formula orqali ifodalash mumkin.

$$X = Y \quad X - o'lchanadigan kattalik \\ Y - tajriba natijasi$$

Bilvosita o'lhash. Bunda natija bevosita o'lhashlar asosida topiladi.

$$X = f(Y); \quad X = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$$

Birgalikda o'lhash. Izlanayotgan kattalik tenglamalar sistemasining yechimidan topilib, bunda tenglamaning parametrlari bevosita va bilvosita o'lhashlar natijasi hisoblanadi.

$$F_1(X_1, X_2, X_3, \dots, X_1', X_2', X_3', \dots) = 0$$

va

$$F_2(X_1, X_2, X_3, \dots, X_1'', X_2'', X_3'', \dots) = 0$$

X_1', X_2', X_3' - bilvosita o'lchangان kattaliklar
 X_1'', X_2'', X_3'' - bevosita o'lchangان kattaliklar

Mutlaq o'lhash - Bir yoki bir necha asosiy kattaliklarning bevosita o'lchanishini va (yoki) fizikaviy doimiylikning qiymatlarini qo'llash asosida o'tkaziladigan o'lhash.

Nisbiy o'lhash - Kattalik bilan birlik o'rnila olingan nomdosh kattalikning nisbatini yoki asos qilib olingan kattalikka nisbatan nomdosh kattalikning o'zgarishini o'lhash.

O'lhash metodlari deganda o'lhash qonun-qoidalari va o'lhash vositalaridan foydalaniib, kattalikni uning birligi bilan solishtirish usullarini tushunamiz.

O'lhashning quyidagi metodlari mavjud:

O'lhash metodlari - bular o'lhash eksperimentini o'tkazish algoritmi va o'lhash vositalarining yig'ilmasi bilan xarakterlanib, 2 metodga bo'linadi: bevosita baholash metodi va solishtirish metodi.

Bevosita baholash metodi - bevosita o'lhash asbobining sanash qurilmasi yordamida to'g'ridan-to'g'ri o'lchanayotgan kattalikning

qiymatini topish. Masalan, prujinali manometr bilan bosimni o'lhash yoki ampermetr yordamida tok kuchini topish.

O'lchov bilan taqqoslash (solishtirish) metodi - o'lchanayotgan kattalikni o'lchov orqali yaratilgan kattalik bilan taqqoslash (solishtirish) usuli. Masalan tarozi toshi yordamida massani aniqlash. O'lchov bilan taqqoslash usulining o'zini bir nechta turlari mavjud:

Ayirmali o'lhash (differensial) metodi - o'lchov bilan taqqoslash usulining turi hisoblanib, o'lchanayotgan kattalikning va o'lchov orqali yaratilgan kattalikning ayirmasini (farqini) o'lhash asbobiga ta'sir qilish usuli. Misol qilib uzunlik o'lchovini qiyoslashda uni komparatorda namunaviy o'lchov bilan taqqoslab o'tkaziladigan o'lhash.

Yoki, voltmetr yordamida ikki kuchlanish orasidagi farqni o'lhash, bunda kuchlanishlardan biri juda yuqori aniqlikda ma'lum, ikkinchisi esa izlanayotgan kattalik hisoblanadi.

$$\Delta U = U_0 - U_x; \quad U_x = U_0 - \Delta U$$

U_x bilan U_0 qanchalik yaqin bo'lsa, o'lhash natijasi ham shunchalik aniq bo'ladi.

Nolga keltirish metodi - bu ham o'lchov bilan taqqoslash usulining bir turi hisoblanadi. Bunda kattalikning taqqoslash asbobiga ta'siri natijasini nolga keltirish lozim bo'ladi. Masalan, elektr qarshilagini qarshiliklar ko'prigi bilan to'la muvozanatlashtirib o'lhash.

O'rindoshlik metodi - o'lchov bilan taqqoslash usulining turi hisoblanib, o'lchanayotgan kattalikning o'lchov orqali yaratilgan ma'lum qiymatli kattalik bilan o'rin almashishiga asoslangan. Misol, o'lchanadigan massa bilan tarozi toshini bir pallaga galma-gal qo'yib o'lhash yoki qarshiliklar magazini yordamida tekshirilayotgan rezistorning qarshilagini topish (9-rasm).

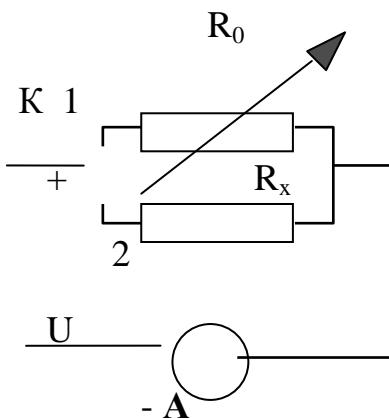
Bunda "K"ni ikkala holatda (1,2) qo'yganda $\alpha_1 = \alpha_2$ shart bajarilishi kerak.

$$I_1 = U / R_0 \rightarrow \alpha_1$$

$$I_2 = U / R_k \rightarrow \alpha_2$$

Mos kelish usuli - o'lchov bilan taqqoslash usulining turi. O'lchanayotgan kattalik bilan o'lchov orqali yaratilgan kattalikning ayirmasini shkaladagi belgilar yoki davriy signallarni mos keltirish

orqali o‘tkaziladigan o‘lchash. Masalan, kalibr yordamida val diametrini moslash.



9-rasm. Qarshiliklar magazini yordamida tekshirilayotgan rezistorning qarshiligini topish

Har bir tanlangan usul o‘z usuliyatiga, ya’ni o‘lchashni bajarish usuliyatiga ega bo‘lishi lozim. O‘lchashni bajarish usuliyati deganda, ma'lum usul bo‘yicha o‘lchash natijalarini olish uchun belgilangan tadbir, qoida va sharoitlar tushuniladi.

Bundan tashqari o‘lchanadigan kattalikning vaqt bo‘yicha o‘zgarish jarayoniga qarab o‘lchash quyidagicha turlanadi:

O‘lchash jarayonida vaqt bo‘yicha o‘zgarmaydigan kattalikni o‘lchash - statik (bunga turg‘un, ta’sir etuvchi, amplituda qiymatlarini o‘lchash misol bo‘ladi), vaqt bo‘yicha o‘zgaradigan qiymatlarni o‘lchash esa - dinamik o‘lchash deyiladi. (m-n, aniq qiymatlarni o‘lchash).

Dinamik o‘lhashlarda agar o‘lchash vositasi o‘lchanadigan kattalikning uzlusiz o‘zgarishini qayd qila olsa, bunda uni uzlusiz o‘lchash deyiladi.

Yuqorida ko‘rilgan metodlardan tubdan farq qiluvchi diskret o‘lchash metodi ham mavjud, bu shundayki, bunda vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi kattalikning hamma qiymati ($0 - t$) emas, balki, ba'zi momentlarga tegishli qiymatigina ma'lum bo‘ladi.

Nazorat savollari

1. Bevosita, bilvosita va birligida o‘lchash turlari nima bilan farq qiladi?
2. Mutlaq va nisbiy o‘lchash deb nimaga aytildi?

3. O'lhashni baholashning qanday usullari mavjud?
4. O'lchanadigan kattalikning vaqt bo'yicha o'zgarish jarayoniga qarab qanday turlarga bo'linadi?
5. Mos kelish usuli qanday usul hisoblanadi?

5-ma'ruza

Elektroradioo'lhash vositalarining asosiy metrologik tavsiflari

Reja:

1. O'lhash asboblarining metrologik tavsiflari.
2. O'lhash vositalarining metrologik tekshiruv va nazoratga tortilishi.

Kalit so'zlar: funksiya, aniqlik klassi, o'zgartirish, elektromexanik, diapazon.

Har qanday o'lhash asbobini tanlashda eng avvalo uning metrologik tavsiflariga e'tibor berishimiz lozim bo'ladi.

O'zgartirish funksiyasi - buni analogli o'lhash asboblarida shkala tenglamasidan ham bilishimiz mumkin. Tanlanayotgan asbobda o'zgartirish funksiyasi chiziqli bo'lishi qaydnomalarni olishni osonlashtiradi, subyektiv xatoliklarni esa kamaytiradi.

Aniqlik klasslari

Odatda o'lhash asbobi olinadigan natijaga kirituvchi xatoligini oldindan belgilash uchun xatolikning me'yorlangan qiymatidan foydalaniladi. Xatolikning me'yorlangan qiymati deganda berilgan o'lhash vositasiga tegishli bo'lgan xatolikni tushunamiz. Alovida olingan o'lhash vositasining xatoligi har xil, muntazam va tasodifiy xatoliklarining ulushi esa turlicha bo'lishi mumkin. Ammo, yaxlit olib qaralganda o'lhash vositasining umumiyligi me'yorlangan qiymatdan ortib ketmasligi kerak. Har bir o'lhash asbobining xatoliklarini chegarasi va ta'sir etuvchi koeffitsiyentlar haqidagi ma'lumotlar asbobning pasportida keltirilgan bo'ladi.

O'lhash asboblari ko'pincha yo'l qo'yilishi mumkin bo'lgan xatoligi bo'yicha klasslarga bo'linadi. Masalan: elektromexanik turidagi ko'rsatuvchi asboblarda standart bo'yicha quyidagi aniqliklar ishlataladi:

$$\delta_{a,k} \in \{0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4\}$$

Odatda, asboblarning aniqlik klasslari asbobning shkalasida beriladi va ularning keltirilgan xatoligini bildirib, quyidagicha bog‘langan bo‘ladi

$$\delta_{a,k} = \beta_{k \max} \geq \beta_k; \quad \delta_{a,k} = \beta_{k \max} \geq \beta_k = \Delta/a_{x \max}$$

Agar o‘lhash asbobining shkalasidagi aniqlik klassi aylana bilan chegaralangan bo‘lsa, masalan 1,5, u holda bu asbobning sezgirlingining xatoligi 1,5 % ga tengligini bildiradi.

Agar o‘lhash asbobining aniqlik klassi chiziqchasiz bo‘lsa, u holda aniqlik klassi raqami keltirilgan xatolikning qiymatini bildiradi. Lekin bir narsani unutmaslik lozim, agar asbob, masalan ampermetr keltirilgan xatolik bo‘yicha 0,5 klass aniqligiga ega bo‘lsa, uning barcha o‘lhash diapazoni oralig‘idagi xatoliklari +/- 0,5 % dan ortmaydi deyishlik xato bo‘ladi. Chunki, bu turdagи asboblarda shkalanинг boshlanishiga yaqinlashgan sari o‘lhash xatoligi ortib boraveradi. Shu sababdan bunday asboblarda shkalanинг boshlang‘ich bo‘laklarida o‘lhash tavsiya etilmaydi.

Agar asbobning shkalasida aniqlik klassi yonbosh kasr chizig‘i bilan berilgan bo‘lsa, masalan, 0,02/0,01 u holda asbobning shkalasining oxiridagi xatoligi +/- 0,02 % shkalanинг boshida esa +/- 0,01 % ekanligini bildiradi.

Sezgirlingi. Umuman sezgirling - bu o‘lhash vositasining tashqi signaliga nisbatan ta’sirchanligi, sezuvchanligidir. Umumiy holda sezgirling o‘lhash vositasining chiqish signali orttirmasining, kirish signali orttirmasiga nisbatidan aniqlanadi:

$$S = \lim \Delta Y / \Delta X \approx \Delta Y / \Delta X ;$$

Bevosita ko‘rsatuvchi asboblar uchun sezgirling asbob qo‘zg‘aluvchan qismining og‘ish burchagini o‘lchanadigan kattalik bo‘yicha birinchi hosilasi bo‘lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$S = d\alpha/dx$$

bu yerda a - asbob qo‘zg‘aluvchan qismining og‘ish burchagi.

Sezgirlik ostonasi - bu o‘lchanadigan kattalikning shunday eng kichik (boslang‘ich) qiymatiki, u o‘lhash asbobining chiqish signalini sezilarli o‘zgarishiga olib keladi.

$$S = X_{\min} / X_{\text{HOM}} \cdot 100 \%$$

bu yerda X_{\min} - o‘lchanadigan kattalikning eng kichik (boslang‘ich) qiymatidir.

Asbob ko‘rsatkichining variatsiyasi - o‘lchanayotgan kattalikning biror qiymatini, o‘lhash sharoitini o‘zgartirmagan holda, takror o‘lchaganda hosil bo‘ladigan eng katta farqdir va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\gamma = (A_0' - A_0'') / A_{x_{\max}} \cdot 100\%$$

A_0' , A_0'' - o‘lchanayotgan kattalikning (namunaviy asbob yordamida) takror o‘lhashdagi qiymatlari. Variatsiya asosan qo‘zg‘aluvchan qismi tayanchga o‘rnatilgan asboblarda ishqalanish hisobiga kelib chiqadi.

Asbobning o‘lhash xatoligi. Bu xatolik sifatida mutlaq xatolik, nisbiy xatolik yoki keltirilgan xatolik berilgan bo‘lishi mumkin.

Bu xatoliklar xususida oldingi mavzularda yetarli ma'lumotlar berilgan.

O‘lhash diapazoni. Bu asosan ko‘p diapazonli asboblarga tegishli. Aksariyat hollarda asbobning har bir o‘lhash diapazoniga taalluqli xatoliklari ham beriladi.

Xususiy energiya sarfi. Bu tavsif ham muhim hisoblanib, asbobning o‘lhash zanjiriga ulanganidan so‘ng kiritishi mumkin bo‘lgan xatoliklarni baholashda ahamiyatli sanaladi. Ayniqsa, kichik quvvatli zanjirlarda o‘lhashlarni bajarishda bu juda muhimdir.

Xususiy energiya sarfi o‘lhash asbobining tizimga va konstruktiv ishlanishiga bog‘liq bo‘lib, ayniqsa, kichik quvvatli zanjirlarda o‘lhashlarni bajarishda juda muhimdir.

Ishonchliligi (chidamliligi) - o‘lhash vositasining ma'lum o‘lhash sharoitida, belgilangan vaqt mobaynida o‘z metrologik xususiyatlarini (ko‘rsatkichlarini) saqlashidir. Bu ko‘rsatkichlarni chegaradan chiqib ketishi asbobning layoqatliligi pasayib ketganligidan dalolat beradi. O‘lhash asbobining ishonchliligi,

odatda, buzilmasdan ishlash ehtimolligi bilan baholanadi va taxminan quyidagicha topiladi.

$$\tau = n / n_{um}$$

bu yerda, n - ishonchlilikka sinalgan asboblar soni;

n_{um} - umumiyl (ko‘p seriyali) ishlab chiqarilgan asboblar soni.

O‘lchashlar birliligiga erishishning asosiy mexanizmi bo‘lib metrologik tekshiruv va nazorat hisoblanadi. Davlat metrologik tekshiruvi va nazorati davlat metrologiya xizmati organlari tomonidan metrologiya normalari va qoidalariiga rioya etilishini tekshirish maqsadida amalga oshiriladi (12-modda).

Davlat metrologik tekshiruvi va nazorati metrologiya sohasidagi qonun hujjatlari talablariga muvofiq amalga oshiriladi. Davlat metrologik tekshiruvi va nazorati asosi “Metrologiya to‘g‘risida” qonun va O‘z RST 8.002:2002. Metrologik tekshiruv va nazorat. Asosiy talablar standart bilan reglamentlangan. Ushbu hujjatlar bilan Davlat metrologik tekshiruvi va nazoratining obyektlari, turi va ko‘rinishi o‘rnatilgan metrologik tekshiruvi va nazoratining obyektlari (Qonunning 13-moddasi) hisoblanadi. Quyidagilar davlat metrologiya tekshiruvi va nazoratining obyektlari hisoblanadi:

- etalonlar;
- o‘lchov vositalari;
- moddalar va materiallar tarkibi hamda xossalarning standart namunalari;
- axborot-o‘lchov tizimlari;
- o‘lchovlarni bajarish uslubiyotlari;
- metrologiya normalari va qoidalarda nazarda tutilgan o‘zga obyektlar.

Davlat metrologiya tekshiruvi va nazorati tatbiq etiladigan doiralar Qonunning 14-moddasida aniqlab berilgan.

Davlat metrologiya tekshiruvi va nazorati:

- sog‘liqni saqlash, veterinariya, atrof-muhitni muhofaza qilish;
- moddiy boyliklarni va energetika resurslarini hisobga olish;
- savdo-tijorat, bojxona, pochta va soliq operatsiyalarini o‘tkazish, telekommunikatsiya xizmatlarini ko‘rsatish;
- zaharli, yengil alanganuvchan, portlovchi va radioaktiv moddalarni saqlash, tashish hamda yo‘q qilib tashlash;
- davlat mudofaasini ta’minlash;

- mehnat xavfsizligini va transport harakati xavfsizligini ta'mirlash;
- sertifikatlanadigan mahsulotning xavfsizligi va sifatini aniqlash;
- geodezik va gidrometeorologik ishlar;
- o'lchov vositalarini davlat sinovidan, tekshiruvdan, kalibrlashdan, ta'mirlash va metrologik attestatsiyadan o'tkazish;
- foydali qazilmalarni qazib olish;
- milliy va xalqaro sport rekordlarini ro'yxatga olishga nisbatan tatbiq etiladi.

O'zbekiston Respublikasining normativ hujjatlariga binoan davlat metrologiya tekshiruvi va nazorati faoliyatning o'zga doiralariga nisbatan ham tatbiq etilishi mumkin.

Davlat metrologiya tekshiruvi va nazorati turlari 15-moddada keltirilgan.

Davlat metrologiya tekshiruvi quyidagi tarzda amalga oshiriladi:

- o'lchov vositalarining turlarini sinash va tasdiqlash;
- o'lchov vositalarini hamda o'lchovlarning bajarilish uslubiyotlarini metrologik attestasiya qilish;
- o'lchov vositalarini, shu jumladan, etalonlarni tekshiruvdan o'tkazish, kalibrash;
- o'lchov vositalarini hamda o'lchovlarning bajarilish uslubiyotlarini sinash;
- tekshiruvdan o'tkazish, metrologik attestatsiya qilish;
- faoliyatning boshqa muayyan turlarini kalibrash huquqiga ega bo'lishi uchun metrologiya xizmatlari, markazlari, laboratoriylarini akkreditasiya qilish;
- yuridik va jismoniy shaxslarning o'lchov vositalarini tayyorlash, realizatsiya qilish;
- ularning ijerasi bilan shug'ullanishga doir faoliyati lisenziyalanayotganda mazkur shaxslarning belgilangan metrologiya normalari va qoidalariga rioya etishlarini baholash hamda tasdiqlash;
- o'lchovlarning bajarilish sifatini va metrologiya faoliyatining boshqa turlarini baholash.

Davlat metrologiya nazorati quyidagilarga qo'llaniladi:

- o'lchov vositalarini tayyorlash, ta'mirlash, ularning ijerasi bilan shug'ullanish, ularni realizatsiya qilish;
- ularning holati va qo'llanilishi (fizik o'lchamlar birliklari etalonlarini, moddalar va materiallar tarkibi hamda xossalaring)

standart namunalarini, o‘lchov tizimlarini qo‘sghan holda);

- o‘lchovlarning bajarilish uslubiyotlarining qo‘llanilishi;
- belgilangan metrologiya normalari va qoidalariga rioya etilishi hamda akkreditasiya qilingan metrologiya xizmatlari, markazlari, laboratoriyalari faoliyati ustidan amalga oshiriladi.

Zarur hollarda «O‘zstandart» qaroriga binoan metrologiya tekshiruvi va nazoratning boshqa turlari va shakllari ham belgilanishi mumkin.

Nazorat savollari

1. Metrologiya tekshiruv turlarini sanab bering.
2. Metrologik nazorat turlarini sanab bering.
3. Metrologiyaning (o‘lchovshunoslik) asosiy atamalarini aytib bering.
4. O‘lhash vositalarini “qiyoslash” deganda nima tushuniladi?
5. O‘lhash vositalarini kalibrlash nima?

6-ma’ruza Radioo‘lhash vositalari

Reja:

1. Radioo‘lhash vositalari to‘g‘risida umumiylumotlar.
2. O‘lchovlar, o‘lhash o‘zgartgichlari.

Kalit so‘zlar: sezgirlik, o‘lhash diapazoni, elektromagnit, elektrodinamik, voltmetr.

Radiotexnik o‘lhash asboblar quyidagicha tavsiflanadi: o‘lhash diapazoni, xatoligi, sezgirligi, o‘lchanayotgan kattalik manbaidan oladigan quvvati, ko‘rsatkichlarning ta’sir etuvchi kattaliklarga bog‘liqligi (o‘rab turgan muhit harorati, egrining shakli va o‘lchanayotgan tok yoki kuchlanish chastotasi va boshqalar).

Asboblarning absolyut xatoligi bu, asbob ko‘rsatkichi va o‘lchanayotgan kattaliklarning haqiqiy qiymati orasidagi farqdir:

$$\Delta = x_a - x_{haq}.$$

O‘lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati sifatida uning tajriba asosida topilgan qiymati qabul qilinadi va bu qiymat asl qiymatiga shunday yaqinlashadiki, ko‘zlangan maqsad uchun bu qiymatdan uning o‘rniga foydalanish mumkin.

Asbobning nisbiy xatoligi bu – absolyut xatolikni o‘lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga nisbatidir:

$$\delta = \Delta / x_{\text{haq}}. \quad (11)$$

Shunga ko‘ra, xatoliklarning son qiymatlari ikkitadan ortiq bo‘limgan ahamiyatli raqamlar bilan ifodalanadi va ko‘pchilik hollarda absolyut xatolikni o‘lhash asbobining ko‘rsatishi deb qarash mumkin:

$$\delta = \Delta / x_a. \quad (12)$$

Asbobning keltirilgan xatoligi bu absolyut xatolikni me’yorlangan qiymatiga nisbatidir

$$\gamma = \Delta / x_n. \quad (13)$$

Tekis yoki kvadratli shkalaga ega bo‘lgan asbob uchun me’yorlangan qiymat odatda shkalaning ishchi qismining oxirgi qiymatida teng deb olinadi (o‘lhashning yuqori chegarasiga), agar 0 belgisi shkalaga tashqarisida yoki uning chetida bo‘lsa.

Asbobning aniqlik sinfi – asbobning umumlashtirilgan tavsifi bo‘lib, yo‘l qo‘yilgan asosiy xatolik chegaralari bilan aniqlanadigan va ta’sir etuvchi kattaliklar ta’siri ostida asbob ko‘rsatkichi o‘zgarishi va asbobning boshqa xossalari bilan aniqlanadi.

Asbobning aniqlik sinfini bilgan holda yo‘l qo‘yilgan asosiy xatoliklar chegarasini topish mumkin. Ushbu qismda qarab chiqilayotgan ampermestr, voltmetr va vattmetrlar uchun aniqlik sinfi asbob keltirilgan xatoligining asosiy yo‘l qo‘yiladigan chegarasiga son jihatdan teng.

Sezgirlik o‘lhash asboblarining asosiy tavsiflaridan biridir. Asbob ko‘rsatkichi chiziqli va burchak siljishning shu siljishni hosil qilgan kattalik o‘zgarishiga nisbati asbobning sezgirligi deb ataladi:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta X} , \quad (14)$$

bu yerda: S - asbobning sezgirligi;
 ΔL - ko'rsatkich siljishining o'zgarishi;
 ΔX - o'lchanayotgan kattalik o'zgarishi.

O'lhash mexanizmi va o'lhash zanjirining xarakteriga ko'ra asbobning sezgirligi, o'lhash diapazoni barcha qismida o'zgarmas yoki o'zgaruvchan bo'lishi mumkin. Masalan, magnitoelektrik asboblarda ko'rsatkichning shkala bo'yab siljishi o'lchanayotgan tokka chiziqli bog'langandir, asbobning sezgirligi esa doimiydir.

Elektromagnit asboblarda bu bog'lanish kvadratlidir, shunga ko'ra sezgirlik o'lhash diapazonida bir xil emas.

Bundan tashqari, bu asbobning turli kattaliklarga sezgirligi turlicha bo'lishi ham mumkin. Masalan, elektrodinamik asbob bilan quvvat o'lchananida sezgirligi doimiydir, ya'ni o'zgarmasdir, tok yoki kuchlanishni o'lhashda esa o'zgaruvchadir.

Shuning uchun o'lhash asbobining sezgirligi deganda uning tok yoki kuchlanish bo'yicha sezgirligi tushuniladi.

Ayrim hollarda nisbiy sezgirlik tushunchasidan foydalanish qulaydir:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta X / X} = \frac{\Delta X}{\Delta L} . \quad (15)$$

Sezgirlikka teskari bo'lgan kattalik asbob doimiysi yoki shkala bo'linmasi qiymati deyiladi. Sezgirligi yuqori bo'lgan asboblardan asosan aniq o'lhashlar uchun ishlataladi. O'lchanayotgan kattalik qiymatini asbob ko'rsatkichiga ta'sir qila oladigan eng kichik o'zgarishi sezgirlik chegarasi deyiladi.

Radioo'lhash asbobni manbaga ulaganda signal manbasidan qanchadir quvvat sarflanadi. Bu hol signal manbasining ishslash tartibining chetlanishiga olib keladi. Bu og'ish uslubiy xatolikni keltirib chiqaradi. Tok va kuchlanishni o'lhashda yuzaga keluvchi uslubiy xatolikni hisoblash uchun ampermetrning ichki qarshiligi R_a va voltmetrning qarshiliklari R_b ekanligini bilish kerak.

Masalan, tokni o'lhash uchun biror zanjirga ampermetr ulansa va bunda ampermetr qisqichlarga nisbatan chiqish qarshiligi R , shu qisqichdagi kuchlanish U bo'lsa, u holda zanjirdagi tokning haqiqiy qiymati ($R_0=0$) $J_{haq} = U / R$ ga teng bo'lganda, o'lchanan qiymati esa $J/(R + R_0)$ bo'ladi.

Nisbiy uslubiy xatolik:

$$\delta = \frac{J - J_{\text{haq}}}{J_{\text{haq}}} = \frac{R_0}{R + R_0}. \quad (16)$$

Qisqichlardagi kuchlanishni o'lchash uchun aktiv ikki qutblikning chiqish qarshiligi R va ichki qarshiligi R_{ich} bo'lgan, U-kuchlanish bo'lsa, kuchlanishni o'lchashda nisbiy uslubiy xatolik:

$$\delta_n = \frac{U_{\text{ich}} - U}{U} = \frac{R}{R + R_{\text{ich}}}, \quad (17)$$

bunda U_{ich} - voltmetr qisqichlaridagi kuchlanish.

Oddiy holda ramka bilan ketma-ket R_1 qarshilikli rezistor ulanadi. Zanjirdagi ramka qarshiligining harorat koeffitsiyenti kamayadi va o'lchagichning nisbiy harorat xatoligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\delta = \beta_0 \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_1 + R}, \quad (18)$$

bunda, β_0 - zanjirdagi ramka qarshiligining harorat koeffitsiyenti R_0 - ramkalar, prujinalar va ulagichlarning chulg'am qarshiligi;

R - shunt qarshiligi;

R_1 - qo'shimcha rezistor qarshiligi.

Muhitning harorati ortganda magnitoelektrik voltmetrning harorat xatoligi

$$\delta = \beta_0 \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_{\text{haq}}}, \quad (19)$$

bunda, R_{haq} - qo'shimcha rezistor qarshiligi.

Elektromagnit va elektrodinamik voltmetrlarning harorat xatoligi prujina momentining harorat koeffitsiyenti va g'altak qarshiligining harorat koeffitsiyentiga bog'liq bo'ladi va quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\delta_t = -\frac{1}{2} \cdot \beta_\omega = \frac{R_0}{R_0 + R_1 + R} \cdot \beta_0, \quad (20)$$

bu yerda, β_ω - prujina momentining harorat koeffitsiyenti (u manfiydir va $10^\circ S$ da $0,2 - 0,3\%$ ni tashkil etadi).

(20) - formulaning ikkinchi hadi asbobning o'lhash chegarasiga bog'liq. Voltmetr kichik o'lhash chegarasida katta xatolikka ega bo'ladi. G'altakni ketma-ket ulash sxemasidagi elektrodinamik ampermetrlarda va elektromagnit ampermetrlarda harorat prujinaning egiluvchan xossalariiga ta'sir etadi. Shuning uchun ularning harorat xatoligi $10^\circ S$ da $+0,2\%$ dan oshmaydi va maxsus kompensasiya usullarini talab qilmaydi. Elektrodinamik va elektromagnit voltmetrlarning ko'rsatkichlari o'lchanayotgan kuchlanish chastotasiga bog'liq bo'ladi. O'zgarmas va o'zgaruvchan toklarda ularning ko'rsatkichlarning chetlanishiga sabab, induktiv qarshilik ω burchakka bog'liq.

S ω xatolik o'zgarmas tokdan o'zgaruvchan tokka o'tayotganda quyidagiga teng bo'ladi:

$$S_\omega = \frac{U_0 - U_\sim}{U_0} = 1 - \frac{U_\sim}{U_0} = 1 - \sqrt{\frac{\omega^2 L^2 + R^2}{R_0^2}}, \quad (21)$$

bunda, U_0 - o'zgarmas tokdagi asbob ko'rsatishi; U_\sim - asbobning ko'rsatishi yuzaga keltirayotgan o'zgaruvchan kuchlanish; R_0 - o'zgarmas tokda voltmetr qarshiligi; R_\sim - o'zgaruvchan tokda zanjirdagi aktiv qarshilik.

2000 Gs chastotalarda ishlaydigan bunday asboblarni, R_\sim ni R_0 dan farqini ma'lum hollarda kichik deb hisoblash mumkin. Agar $R_\sim = R_0$ bo'lса:

$$S_\omega = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\omega L}{R_0}\right)^2}. \quad (22)$$

Yoki

$$S_\omega \approx -\frac{1}{2} \left(\frac{\omega L}{R_0}\right)^2. \quad (23)$$

Bu xatolikni kompensatsiyalash uchun voltmetrning qo'shimcha rezistorlari S kondensator bilan shunday shuntlanadiki, ma'lum chastotada voltmetrning zanjirdagi induktiv qarshiligi kichik bo'lishi kerak.

Elektromagnit voltmetrlarning chastota xatoligi ko‘rilayotganda shuni e’tiborga olish kerakki, burchak og‘ishi bilan induktivlik o‘zgaradi va har xil ko‘rsatkichlarda xatoliklar ham turlicha bo‘ladi. Shuning uchun chastotali kompensatsiya faqat birgina ko‘rsatkich uchun o‘rinli, ya’ni kam samaralidir.

Elektrostatik voltmetrlarning ko‘rsatkichi o‘lchanayotgan kuchlanishning chastotasi va shakl egrisiga bog‘liq emas; bundan tashqari bu asboblar juda katta kirish qarshiligidagi ega va quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$X_{\text{kir}} = J/W \cdot C_a, \quad (24)$$

bunda, S_a – asbobning kirish sig‘imi.

Agar o‘lchanayotgan kuchlanishning shakl egriligi sinussimon shakldan farq qilsa, uslubiy xatolik kelib chiqadi.

Elektromagnit, elektrodinamik, termoelektrik tizimga mansub voltmetr va ampermetrlar, shuningdek to‘g‘rilagichlari ta’sir etuvchi qiymatga ega bo‘lgan elektron voltmetrlar va elektrostatik voltmetrlar bilan ishlaganda shuni e’tiborga olish kerakki, bu asboblarning ko‘rsatishlari shakl egrisiga bog‘liq bo‘lmagan holda o‘lchanayotgan kuchlanishning ta’sir etuvchi qiymatiga proporsionaldir.

Magnitoelektrik tizimli asboblar ko‘rsatishi o‘lchanayotgan kuchlanishning yoki tokning doimiy tashkil etuvchisiga bog‘liq (agar o‘zgaruvchan tashkil etuvchining chastotasi yuqori chastotalar sohasida yotsa).

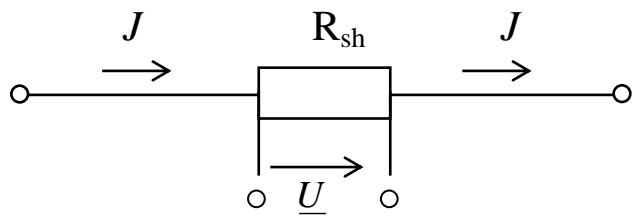
Eng oddiy o‘lhash o‘zgartkichi – bu tokni kuchlanishga o‘zgartirib beruvchi o‘zgarmas tok shuntidir. U to‘rt qisqichli rezistordan iborat. J tok o‘tuvchi kirish qisqichlari “tokli” deyiladi, chiqish qisqichlari esa “potensialli” qisqichlar deyiladi (9-rasm).

Nominal chiqish kuchlanish U_H ni nominal kirish toki J_H ga nisbati nominal shunt qarshilagini bildiradi va o‘zgartirish koeffitsiyentiga teng:

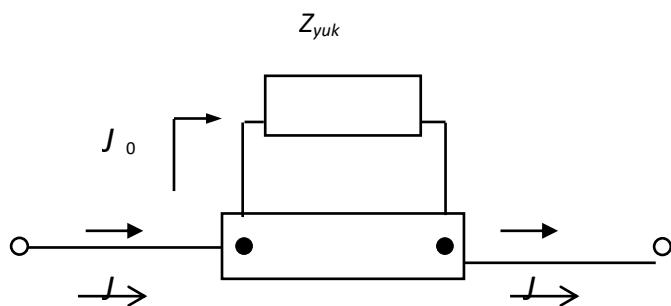
$$R_H = \frac{U_H}{J_H}.$$

Doimiy tok shunti uchun xatolik deganda quyidagi tushuniladi:

$$\gamma = \frac{R_H - R}{R_H}.$$



a)



b)

9-rasm. Shunt: a) o‘zgarmas tok shunti; b) yuklama shunti

O‘zgarmas tok shunti uchun:

$$\gamma = \frac{R_H - R}{R_H} = j\varphi .$$

bunda, $R = R + jX$ - to‘la shunt qarshiligining haqiqiy qiymati;

R – uning aktiv qarshiligi; X – induktiv qarshilik; γ – qarshilik qiymatining xatoligi; φ – fazoviy xatolik.

Shunt ulagan Z_{yuk} nagruzka berilgan tokda chiqish kuchlanishiga ta’sir etadi:

$$U_2 = J \frac{RZ_{YUK}}{R + Z_{YUK}} = JR \frac{1}{1 + \frac{R}{Z_{YUK}}}$$

Agar nagruzka qarshiligi shunt qarshiligiga nisbatan katta bo‘lsa $|R/Z_{YUK}| \ll 1$ u holda ikkinchi tartibli kichik kattaliklarni hisobga olmagan holda quyidagini yozish mumkin:

$$U_2 = JR \left(1 - \frac{R}{Z_{YUK}}\right)$$

Ko‘p hollarda yuklanmani shuntga tutashtiruvchi potensial simlar yordamida ulanadi, ularni qarshiligin esa hisobga olmay bo‘lmaydi va yuklanma qismlaridagi U_2 kuchlanishni shuntning chiqish kuchlanishi deb atash mumkin.

Tutashtiruvchi simlarni qarshiliklari $R_{SIM} \ll R_{YUK}$ ni hisobga olgan holda, ikkinchi tartibli kichik qiymatli kattaliklarni hisobga olmagan holda, quyidagini yozish mumkin:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_2 \frac{\underline{Z}_{yuk}}{R_{sim} + \underline{Z}_{yuk}} \approx \underline{U}_2 \left(1 - \frac{R_{sim}}{\underline{Z}_{yuk}}\right) .$$

yoki

$$\underline{U}_2 = JR_H \left(1 - \lambda - \frac{R_H}{\underline{Z}_{iok}} - \frac{R_{CIM}}{\underline{Z}_{iok}}\right) .$$

Shuntlar manganindan tayyorlanadi va magnitoelektrik millivoltmetr yordamida toklarni o‘lchash uchun hamda toklarni boshqa usulda o‘lchashda qo‘llaniladi. Aniq asboblar uchun shuntlar tayyorlashda asbob qarshiligi va tutashtiruvchi simlar qarshiliklarining ta’siri hisobga olinadi.

Kuchlanishni tokka aylantirishda o‘zgartkich bo‘lib, kirish kattaligi tok hisoblangan o‘lchash mexanizmi orqali ketma-ket ulangan qo‘shimcha rezistor hisoblanadi.

O‘lchash mexanizmi zanjirida tok quyidagiga teng:

$$\underline{J}_0 = \frac{\underline{U}_{kir}}{\underline{Z}_0 + R_{K.N}} = \underline{U}_{kir} K .$$

bu yerda, $Z_0=R_0+\varphi X_0$ - o‘lchash mexanizmidagi o‘ramning to‘liq qarshiligi;

$R_{K.H}$ - qo‘shimcha rezistorning nominal qarshiligi;

$K = \frac{1}{(Z_0 + R_{K.N})}$ - o‘zgartirish koefitsiyenti.

O‘zgaruvchan tokda qo‘shimcha rezistor xatoligi deganda quyidagi tushuniladi:

$$\lambda = \frac{R_{K.N} - R_K}{R_{K.HN}} = \varphi + i\varphi .$$

bunda, $R_k = R_k + jX_k$ - qo'shimcha rezistor haqiqiy qiymatining to'la qarshiligi;

R_k - uning aktiv qarshiligi;

X_k - induktiv qarshiligi;

ρ - qarshilik qiymatining xatoligi;

φ - fazaxatoligi.

Ikkinci tartibli kattalikning kichik qiymatini hisobga olmagan holda, o'lchash mexanizmi zanjirida tok uchun ushbu munosabatni yozish mumkin:

$$J'_0 = \frac{U_{kir}}{Z_0 + R_{K.N}(1 + \lambda)} = U_{kir} K' .$$

bunda, $K' = K \left[\frac{1 + \lambda R_{K.N}}{(Z_0 + R_{K.N})} \right]$

Qo'shimcha rezistorlar manganindan sim yoki bosma rezistorlar ko'rinishida tayyorlanadi.

Qo'shimcha rezistorlar voltmetr va parallel zanjirlardagi voltmetrlar va fazometrlarning yuqori o'lchash chegaralarini kengaytirishda qo'llaniladi.

Kuchlanishni aniq bir songa kamaytirish uchun kuchlanish bo'lgichlaridan foydalaniladi.

Kuchlanish bo'lgichi kuchlanishni kuchlanishga aylantirib beruvchi birdan kichik bo'lgan o'zgartirgichning nominal koeffitsiyentiga ega:

$$K_H = \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_2}{(Z_1 + Z_2)} .$$

Kuchlanish bo'lgichiga Z_H nagruzkasini ulaganda, o'zgartirkich koeffisiyent o'zgaradi. Shuning uchun nagruzka qarshiligi $|Z_2|$ dan katta qilib olish kerak.

Kuchlanish bo'lgichlari yuqori kirish qarshilikli asboblarni yuqori o'lchash chegaralarini kengaytirishda qo'llaniladi. Bo'lgichlarda

ishlatilayotgan elementlarga ko‘ra: rezistivli, sig‘imli va induktivli bo‘lgichlarga bo‘linadi.

$$U = U_{YU} \frac{C_{YU} + C_1 + C_2}{C_2} .$$

Sig‘imli bo‘lgichlar ko‘pincha katta kuchlanishlarda qo‘llaniladi. Elektrostatik voltmetrlarda o‘lchashlarning yuqori chegarasini kengaytirish uchun kuchlanishning sig‘imli bo‘lgichidan foydalaniladi, bunda:

Sig‘imli bo‘lgich parametrlari shunday tanlanadiki, $C_{YU} \gg S_1$ bo‘lishi kerak.

O‘zgarmas tok va kuchlanishni fazasini saqlagan holda qanchadir marta ko‘paytirish yoki kamaytirish (tok va kuchlanishni) uchun tok va kuchlanish transformatorlaridan foydalaniladi. Tok transformatori tokni tokka o‘zgartiradi, kuchlanish transformatori esa kuchlanishni kuchlanishga o‘zgartiradi.

O‘lchash transformatorining transformasiya koeffitsiyenti bu tok transformatorning nominal transformatsiya koeffitsiyentidir.

$$K_{JH} = \frac{J_{1H}}{J_{2H}} .$$

Transformator kuchlanishi:

$$K_{UH} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}} .$$

Nominal transformatsiya koeffitsiyenti transformator shitlarida tok yoki kuchlanishlarni nisbati sifatida beriladi.

Transformatsiya koeffisiyentlarining haqiqiy qiymatlarini mos ravishda:

$$K_J = \frac{J_1}{J_2} \quad \text{va} \quad K_U = \frac{U_1}{U_2} .$$

Birlamchi va ikkilamchi toklar (kuchlanishlar) vektorlari o‘z ideal qiymatlaridan nafaqat moduli bo‘yicha, balki fazasi bo‘yicha farq

qiladi. Transformator aniqligi faqatgina tok (kuchlanish) xatoligi bilan emas, balki burchak (faza) xatoligi bilan ham tavsiflanadi.

Burchak xatoligi S deb, minutiga birlamchi tok (kuchlanish) vektori va 180° ga burilgan ikkilamchi tok (kuchlanish) orasidagi burchakka aytildi.

Transformatorning kompleks transformatsiya koeffitsiyenti deganda quyidagi munosabat tushuniladi:

$$\underline{K}_J = -\frac{\underline{J}_1}{\underline{J}_2} \quad \text{va} \quad \underline{K}_U = -\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2}.$$

Tok va kuchlanish transformatorining kompleks xatoligi mos ravishda quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned}\underline{\lambda}_J &= \frac{-\underline{J}_2 K_{JH} - \underline{J}_1}{\underline{J}_1} = f_J + j\delta_J \\ \underline{\lambda}_U &= \frac{-\underline{U}_2 K_{UH} - \underline{U}_1}{\underline{U}_1} = f_U + j\delta_U.\end{aligned}$$

bunda, f_J va f_U - tok xatoligi va kuchlanish xatoligi; δ_J va δ_U - mos ravishda tok va kuchlanish transformatorlarining burchak xatoliklari. Transformator xatoliklari konstruktiv parametrlar, ikkinchi o‘ramga ulangan nagruzka qiymati va tavsifi yordamida aniqlanadi va quyidagi formulalar yordamida ifodalanadi:

a) tok transformatori uchun:

$$\lambda_J = j \frac{Z_2 Z_m}{\omega W_2^2}.$$

yoki

$$f = -\frac{R_2 X_m + X_2 R_m}{\omega W_2^2} \quad S_J = \frac{R_2 R_m - X_2 X_m}{\omega W_2^2}$$

bu yerda $Z_m = R_m + jX_m$ - magnit o‘tkazgichning kompleks magnit qarshiligi; $Z_2 = R_2 + jX_2$ - transformator ikkilamchi zanjirining kompleks qarshiligi;

W_2 - ikkilamchi chulg‘am soni;

ω - aylana chastotasi.

b) kuchlanish transformatori uchun:

$$\underline{\lambda}_U = -\underline{Z}'_K \underline{Y}'_{YUK} - \underline{Z}_{K1} \underline{Y}_X$$

bu yerda,

$$Y'_{yuk} = \frac{1}{Z'} - \text{yuklanma o'tkazuvchanligi};$$

Z_K^1 - birlamchi o'ramning kompleks qarshiligi;

Y_X - bo'sh yo'ldagi o'tkazuvchanlik;

Z'_K - transformatorning qisqa tutashuv qarshiligi;

Z''_K - ikkilamchi o'ram qarshiligi.

Nazorat savollari

1. Radioo'lchov vositalari qanday tavsiflanadi?
2. Asbobning aniqlik sinfi deb nimaga aytildi?
3. Elektr o'zgartirgich qurilma nima vazifalarni bajaradi?
4. Shunt ishslash tamoyilini tushuntirib bering.
5. O'lchov asboblari ishslash tamoyillariga ko'ra qanday tizimlarga bo'linadi?

7-ma'ruza

Radioo'lchash vositalari (davomi)

1. O'lchash asboblari, ularning umumlashgan struktura sxemalari.
2. Ishlatish usullari, asosiy metrologik xususiyatlari.

Kalit so'zlar: parametr, rezistor, kondensator, induktivlik, volt-ampermetr, logoo'lchagich.

Radiotexnik zanjirlar ikki qutbli, to'rt qutbli va ko'p qutblilar bilan ulash mumkin bo'lgan elementlardan tashkil topgan.

Ikki qutbli (alohida element yoki murakkab elektr zanjiridan iborat) qutbning 2 chiqishiga ega, to'rt qutbli 2 ta kirish va 2 ta chiqishidan iborat 4 qutbi bor. Ko'p qutblilik 4 qutblidan ko'p chiqishga ega bo'ladi.

Qo'shni parametrli chiziqli radiotexnik zanjirlarda fizika kursidan ma'lum bo'lgan quyidagi elementlar keng qo'llaniladi. rezistorlar, induktivlik g'altaklari va kondensatorlar.

Ba'zi hollarda bu elementlarni qanday ideal parametrlar bilan xarakterlanuvchi R-qarshilik, L-induktivlik, C-sig'im ba'zi ideal parametrlari bilan xarakterlanuvchi chiziqli passiv qutbli sifatida qarash mumkin.

O'lhashlarda elementning ideal ko'rinishiga mos keluvchi u yoki bu parametrning qiymatini aniqlash imkonи yo'q.

Aktiv qarshilik rezistorning asosiy parametrlaridan biri hisoblanadi yana induktivlik, induktivlik g'altagi, aktiv quvvat va parazit sig'imga ega.

Rezistorning parazit parametrlarini hisobga olib kondensator yoki g'altakning induktivligi, quvvatning ayrim samarali qiymatini, sig'imni, induktivlik oqib o'tayotgan tokning chastotasini xarakterlashdir.

Komponentlarning samarali parametrlarini o'lhash natijalarining salbiy oqibatlaridan saqlanib, ishchi chastotalarda o'lhash lozim.

Bu elementlarning yana bir qator ikkilamchi parametrlarining, masalan g'altak induktivligining aslligi Q, kondensatorning yo'qolish burchagi b tangensi, r konturni xarakterlovchi qarshiligi o'lchanayotgan parametrlarni aniqroq olish imkonini beradi.

Volt-Ampermetr o'lhash usulida zanjirdagi ikki qutblining o'lchanayotgan tok kuchi va kuchlanishi keyinchalik uning parametrlarini Om qonuniga asosan hisoblashga olib keladi.

Bu usul aktiv, to'la qarshilik induktivlik va sig'imni o'lhash uchun qo'llaniladi.

10-rasmda aktiv qarshilikni o'lhash usuli chizmasi berilgan.

Aktiv qarshilikni o'lhash doimiy tokda olib boriladi, bunda o'lchanayotgan zanjirga R 2 ta sxema bo'yicha kiritiladi.

10-rasmda milliampermetri ko'rsatishining og'ishi tokka proporsional.

$$I = \frac{E}{R_{asl} + R_x} \quad (25)$$

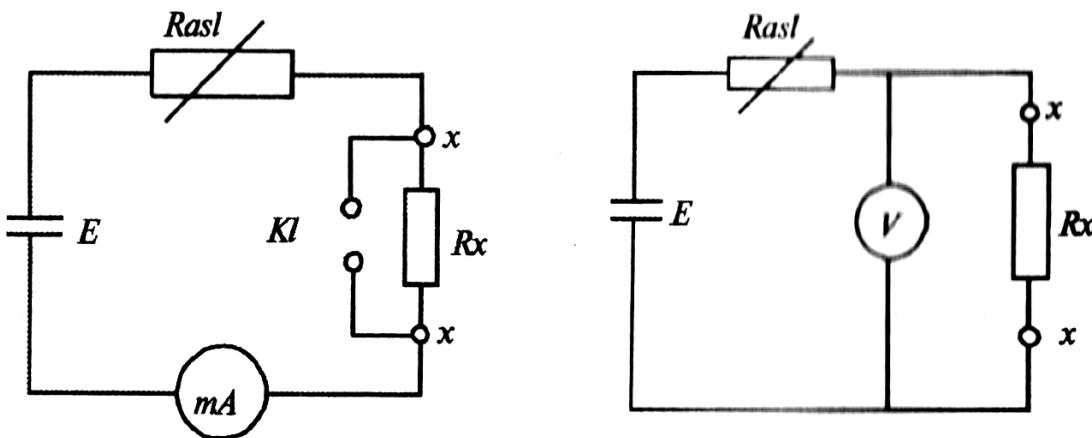
Bu sxema asosida juda katta qarshiliklarni o'lhash mumkin (10-200 M Ω).

O‘lchashdan oldin K kalit orqali qisqichlar tutashtiriladi hamda keltiriladi va Rasl o‘zgaruvchan rezistor orqali tok shunday holatga keltiriladiki, bunda ko‘rsatkich butun shkala bo‘ylab og‘ishi kerak, bunda 0 Om nuqtaga mos kelsin.

Kichik qarshiliklarni o‘lhash uchun (0, 1...100 Om)gacha voltmetrli sxemadan foydalilaniladi.

(10, b-rasm) uning ko‘rsatishi quyidagiga teng.

$$U = E \frac{R_x}{R_{asl} + R_x} \quad (26)$$



10-rasm. Qarshilikni o‘lhash usuli

Agar R_{asl} R_x va $U=E*R/R_{asl}$, ya’ni ko‘rsatishi o‘lchanayotgan R_{asl} qarshilikka to‘g‘ri bog‘lanishga ega.

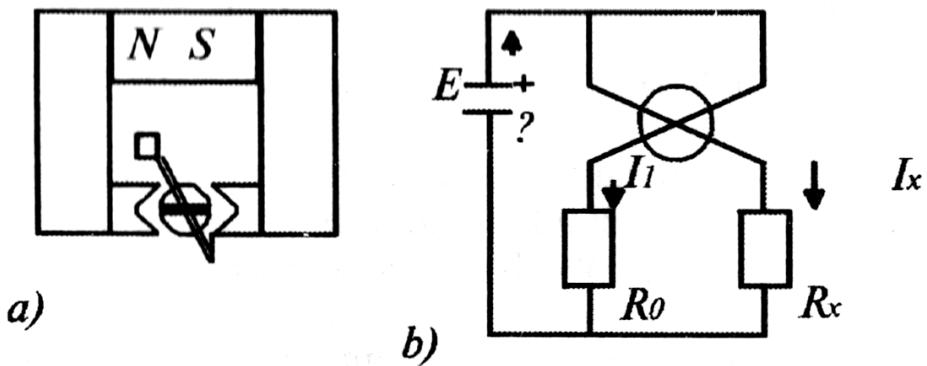
Bu aktiv qarshiliklarni o‘lchovchi sxemaning ichki qarshiligidagi bog‘liq bo‘lgan uslubiy xatolik X ning paydo bo‘lishiga olib keladi. Ampermetrning ichki qarshiligi qanchalik kichik bo‘lsa uslubiy xatolik shuncha kichik bo‘ladi ($R_a=0$, $R_x=0$), (10, a-rasm).

10, b-rasmda voltmetrning R qarshiligi qanchalik katta bo‘lsa, xatolik shuncha kam bo‘ladi ($R_v=0$, $R_x=0$). Demak, 10, a-rasmdagi sxema katta qarshiliklarni o‘lhashda foydalilaniladi. 10, b-rasmdagi sxema kichik qarshiliklarni o‘lhashda foydalilaniladi.

Volt-Amper usuli bilan zanjir elementlari parametrlarini o‘lhashda kichik chastotalarda o‘lhash xatoligi 0,5% - 10% gacha va foydalilanayotgan qurilmalarining xatoligi va parametrlari parazitlarining ko‘pligi bilan aniqlanadi.

Chastota ortishi bilan xatolik ham ortadi.

Qarshilikni o‘lchash aniqligiga erishish uchun E ta’minot manbaini logometr yordamida kamaytirish mumkin. Logometr shunday qurilmaki o‘zaro ikkita elektr kattalikni ko‘rsatuvchi asosan ikkita toklarni. Logometr ya’ni logoo‘lchagichlar magnitoelektrli va elektrodinamikli bo‘ladi.



11-rasm. Logoo‘lchagich:
a-qurilma; b-ulanish sxemasi

O‘lchamlarda keng tarqalgan logoo‘lchagichlar magnitoelektrli sistemalardir. Logoo‘lchagich ikkita qattiq qisilgan ramqadan iborat, ular o‘zgaruvchan maydonda joylashtirilgan. Ushbu maydon qutblarning maxsus konfiguratsiyasi orqali yuzaga keladi. O‘zgaruvchan maydon shuning uchun yuzaga keltiradi-ki , ramkada joylashtirilgan aylanayotgan momentlar faqatgina tokka bog‘liq bo‘libgina qolmay, balki ramqalarning maydonda joylashishiga ham bog‘liq bo‘lsin.

$$M_1 = \psi_1(\alpha) I_1; M_2 = \psi_2(\alpha) I_2,$$

bunda I_1, I_2 - ramkadan oqib o‘tuvchi toklar, $\psi_1(\alpha), \psi_2(\alpha)$ -magnit oqimning ramkaga bog‘liqligi. $M_1=M_2$ da qarama-qarshi momentlar nolga teng bo‘ladi. $\psi_1(\alpha)I_1=\psi_2(\alpha)I_2$, demak, siljiydigan sistemaning chetlanish burchagi.

$$\alpha = F(I_1/I_x); \quad (27)$$

Yoqish sxemasi uchun (12, b-rasm)

$$I_1 = E/(R_r + R_0) \quad I_x = E/(R_r + R_x) \quad \alpha = F[(R_r + R_x)/(R_r + R_0)]; \quad (28)$$

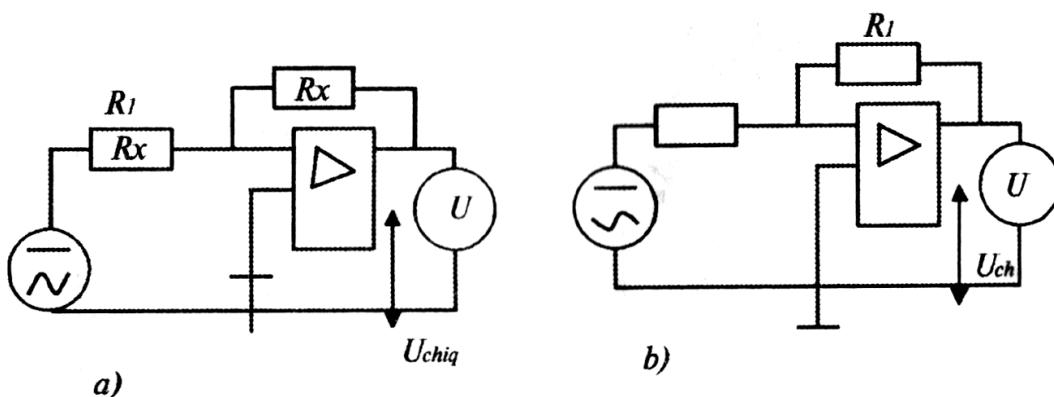
Bu yerda R_f -ramka qarshiligi; R_0 -namunaviy qarshilik;

Demak, (28)-formulaga asosan logoo‘lchagich ko‘rsatkichi tebranish kuchlanish manbaiga bog‘liq emas. Qarshilik R_x bog‘liq bo‘lgan ko‘rsatkichlar 0,5% chetlanishdan oshmaydigan laboratoriya logoo‘lchagichlarni yaratishga imkon beradi.

Ommetr - o‘lchaydigan qurilma qarshilikni o‘lhash uchun mo‘ljallangan. Analogli elektron ommetrni invers kuchaytirgich OU asosida sxemasi yig‘iladi. Ommetr chiqishidagi kuchaytirilgan kuchlanish quydagicha aniqlanadi.

$$U_{chi1} = UR_x/R_1 \quad (29)$$

Chiqish kuchlanishi R_x qarshilik bilan chiziqli bog‘lanishlanganligi uchun qurilmani shkalasi qarshilik birliklariga ega bo‘lishi mumkin . Keng chegaralarda shkala bir tekisdir. Elektron ommetr qarshiligi 2...4%. Aloxida katta qarshilikni o‘lhashni o‘lhashga mo‘ljallangan qurilmalarni ya’ni, R_x va R_1 ni joylar bilan almashtirish kerak, bunda o‘lchanayotgan qurilma shkalasi teskari bo‘ladi va kuchlanish $U_{chiq} = -UR_x/R_1$ ga teng bo‘ladi. Bitta qurilmada ikki xil variantdagi sxemani qo‘llanilishi birligi Omdan bir necha o‘nlab MOm largacha xatoligi 10% tashkil qiladigan o‘lchamlar yaratish imkonini beradi. Qarshilik o‘lchagichlarni ya’ni, keltirilgan sxemalar asosidagilar o‘zgaruvchan toklar xolda ham qarshilikni o‘lhash imkonini beradi.

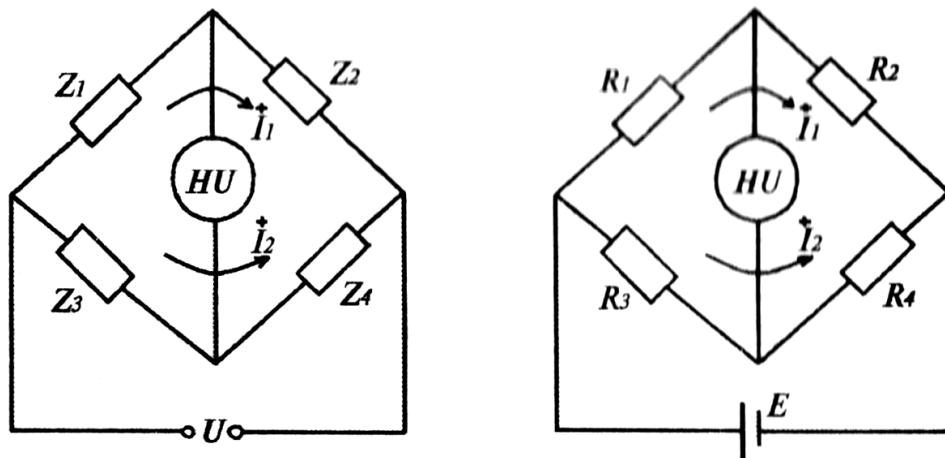


12-rasm. Ommetrning qarshilagini o‘lhash sxemasi: a-kichik; b-katta

Parametrlarni o‘lhash uchun ko‘priklarni tenglashtirish usuli qo‘llaniladi. O‘lhash kattaliklarini tenglashtirishni ko‘prik yordamida o‘lhash jarayoni avtomatik yoki to‘g‘ridan - to‘g‘ri amalga oshiriladi, doimiy yoki o‘zgaruvchan toklarda. Ko‘priksimon sxemalar yuqori sezgirlikka, yuqori aniqlikka hamda keng diapozonga egadirlar, ya’ni

o'lchanayotgan element parametrlarida R, L, C elementlarining ko'priksimon o'lchash sxemasini bir necha xillari mavjud: to'rt yelkali, teng og'irlikli, tengog'irlikli bo'lmanagan va foizli. Bu ko'priklarni boshqarish avtomatik va to'g'ridan-to'g'ri bo'lishi mumkin.

Keng tarqalgan sxemalardan biri to'rt yelkali ko'priksimon teng og'irlikli sxemadir.



13-rasm. To'rt yelkali ko'priksimon sxemalar:
a-umumi; b-aktiv qarshiliklarni o'lchash uchun.

Umumi holda to'rt yelkali ko'prikkompleks xarakterga ega:

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_1 e^{\wedge}(j\varphi_1); \\ Z_2 &= Z_2 e^{\wedge}(j\varphi_2); \\ Z_3 &= Z_3 e^{\wedge}(j\varphi_3); \\ Z_4 &= Z_4 e^{\wedge}(j\varphi_4). \end{aligned} \quad (30)$$

Bu yerda Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 –kompleks qarshiliklar moduli; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - ularning tegishli fazalari.

Teng ogirlik shartlari quyidagi tengliklar orqali aniqlanadi:

$$Z_1 Z_2 = Z_3 Z_4 \quad (31)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha_3 + \alpha_4 \quad (32)$$

Teng og'irlikni ta'minlash uchun namunaviy aktiv qarshilikni boshqarishni qo'llash mumkin. Fazalarning teng og'irlik shartini etalon kondensator C_0 bajarishi mumkin.

To‘rt yelkali teng og‘irligli doimiy tok ko‘prigi aktiv qarshilikni o‘lhash uchun 13, b-rasmida keltirilgan. Ko‘prik dioganaliga aktiv qarshilikni o‘lhash vaqtida tok nolga teng deb olinadi. (31) ga binoan, ko‘prik tengogirligi $R_x \cdot R_2 = R_3 \cdot R_4$ shart orqali bajarilishi kerak, bu yerdan noma’lum qarshilik $R_x = R_2 \cdot R_3 / R_4$. Ko‘prikni teng ogirligiga erishish uchun aktiv qarshilikni bitta boshqariladigan parametriga ega bo‘lsa, yetarli 13-rasmida ko‘rsatilgandek. Bu ko‘priklar uchun o‘lchanayotgan qarshilik chegarasi 10^{-2} dan 10^7 Omgacha bo‘ladi. O‘lhash xatoligi – juda kichik foizdan bir necha foizgacha bo‘ladi, o‘lhash diapazoniga bog‘liq holda. 13, b-rasmida ko‘rsatilgan ko‘prik sxemasi raqamli elementlar asosida bo‘lishi mumkin. Buning uchun boshqaruvchi rezistor qarshiliklar to‘plami ko‘rinishida yig‘iladi, o‘zaro ikkilik va o‘nlik kodida bajarilgan qarshiliklar navbatmanavbat o‘lchanayotgan tok yelkasiga ulanadi, tengog‘irlilik hosil bo‘lguncha.

O‘zgaruvchan tok ko‘prigi orqali induktivlik, sig‘im, asllik va burchak tangenisini o‘lhash.

To‘rt yelkali ko‘prikni o‘zgaruvchan tokda induktivlik va asllikni o‘lhashi 14-rasmida ko‘rsatilgan.

Ularda garmonik tok manbai U kuchlanish va burchak chastotasi ω da qo‘llaniladi. Bu to‘rt yelkali ko‘priklar yaxshi tengog‘irlilikni ta’minlaydi. Ekvivalent sxemalar ketma-ket va parallel bo‘lishi mumkin.

14-rasmida ko‘rsatilgan sxemadagi ko‘priksimon tenglikni ta’minalash sharti.

$$R_1(R_x + j\omega L_x) = R_2(R_0 + j\omega L_0) \quad (33)$$

Bu yerda R_x va L_x -yo‘qotishni qarshilik va induktivligi; R_0 va L_0 –namunaviy qarshilik va induktivlik (33) orqali

$$R_x = R_2 \cdot R_0 / R_1; \quad (34)$$

$$L_x = L_0 \cdot R_2 / R_1 \quad (35)$$

Bu sxema uchun quyidagi tenglik to‘g‘ri bo‘ladi.

$$R_x + j\omega L_x = R_2 \cdot R_3 (1/R_0 + j\omega S_0) \quad (36)$$

Ba’zi bir o‘zgartirishlardan so‘ng induktivlik g‘altakning parametrik

$$R_x = R_2 \cdot R_3 / R_0; L_x = S_0 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (37)$$

$$G‘altak aslligi: Q = \omega \cdot L_x / R_x = R_0 \cdot \omega \cdot S_0$$

Sig‘im va tangens burchagini ko‘priksimon sxemasi orqali o‘lchash 15, a-rasmida ko‘rsatilgan, katta yo‘qotishlarda 15, b-rasmida ko‘rsatilgan.

Tengog‘irlik sharti sxemasi 15, a-rasmida ko‘rsatilgan.

$$R_4[R_x + 1/(j \cdot \omega \cdot S_x)] = R_2[R_0 + 1/(j \cdot \omega \cdot S_0)] \quad (38)$$

Formulaga o‘zgartirish kiritganimizdan so‘ng quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$S_x = S_0 \cdot R_4 / R_2; \quad R_x = R_2 \cdot R_0 / R_4; \quad (39)$$

Yo‘qotishlar burchagi tangensi;

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega \cdot S_x \cdot R_x = \omega \cdot S_0 \cdot R_0 \quad (40)$$

Elementlarni parallel ulash ko‘prigi uchun S_x va R_x quyidagiga teng;

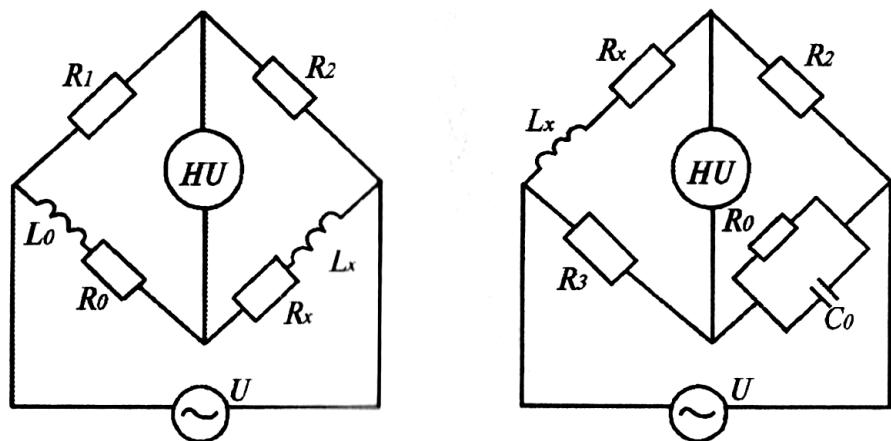
$$R_4 \cdot R_x \cdot (1 + j \cdot \omega \cdot S_0 \cdot R_0) = R_2 \cdot R_0 \cdot (1 + j \cdot \omega \cdot S_x \cdot R_x); \quad (41)$$

$$\text{Bu yerdan } S_x = S_0 \cdot R_4 / R_2; \quad R_x = R_2 \cdot R_0 / R_4; \quad (42)$$

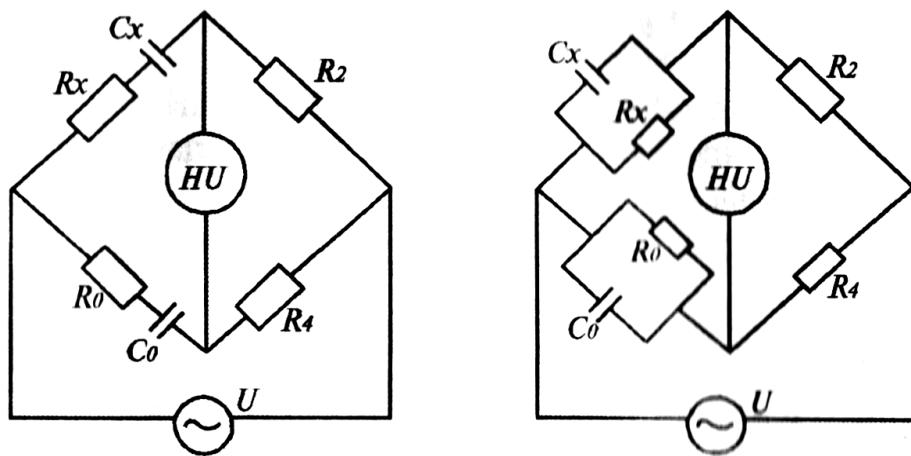
Parallel sxemada burchak tangensi

$$\operatorname{tg} \delta_x = 1 / (\omega \cdot R_x \cdot S_x) = 1 / (\omega \cdot R_0 \cdot S_0) \quad (43)$$

Sxemaning teng og‘irligini navbatma-navbat karashlik yoki sig‘imning o‘zgaruvchan namunalarini tanlab beradi. Bu jarayonni qadam deb yuritiladi. Yaxshi kelishuvli ko‘prik 5 qadamdan oshmaydi. O‘zgaruvchan tok ko‘priklari kichik chastotalarda (500..5000 Hz) ishlatiladi, negaki yuqori chastotalarda xatolik ham oshib ketadi. O‘zgaruvchan tokda ko‘prik xatoligi ko‘prikni tashkil qiluvchi elementlar orqali topiladi. Ko‘prik o‘zgaruvchan toki, ko‘prikdagi o‘zgarmas tokka qaraganda ko‘proq xalaqit va parazitlar aloqaga, ya’ni yelkalar, yelka va yer ostidagi aloqaga egadir.



14-rasm. Induktivlikni o‘lchash ko‘prik sxemalari:
a-g‘altakli; b-sig‘imli.



15-rasm. Ko‘priksimon sxemaning sig‘im va tangens burchagini
o‘lchash sxemasi: a) katta; b) kichik.

Nazorat savollari

1. Jamlangan parametrli elektr zanjirlari nimani anglatadi?
2. Elektr zanjirlar elementlarining qanday parametrlari jamlangan hisoblanadi?
3. Aktiv quvvatni o‘lchashning asosiy usullarini sanab o‘ting.
4. Aktiv quvvatni o‘lchashning usullariga qisqacha ta’rif bering.
5. Doimiy va o‘zgaruvchan tokda o‘lchashning ko‘prik usulini ta’riflang.

8-9-ma’ruzalar

Impulsli va raqamli o‘lchash usullari

Reja:

1. Umumiy ma’lumotlar.
2. Impulsli va raqamli o‘lchash usullari.
3. Tok va kuchlanishni raqamli o‘lchash.
4. Mikroprotsessorli raqamli o‘lchash asboblari.

Kalit so‘zlar: analog, impuls, kod, mikroprotsessor, o‘zgartirish.

Analog asboblardan farqli holda raqamli o‘lchash asboblarida (RO‘A) quyidagi operatsiyalar avtomatik holda bajariladi: o‘lchanayotgan kattalikning sath bo‘yicha kvantlanishi; uning vaqt bo‘yicha diskretizatsiyalanishi; hamda informatsiyaning kodlanishi.

O‘lchov informatsiyasining kod shaklida berilishi uning qayd qilinishi va ishlovini osonlashtiradi. Raqamli o‘lchash asboblaridan elektr va ba’zi noelektr kattaliklar o‘lchanadi.

Raqamli o‘lchash asboblarining afzalliklari:

- o‘lchash natijasining yuqori aniqligi;
- tezkorligi va o‘lchash jarayonini avtomatlashtirish mumkinligi;
- tashqi mexanik va iqlim ta’sirlariga berilmasligi;
- operator subyektiv xatoligining yo‘qligi;
- birgina asbobda turli kattaliklarni: o‘zgaruvchan va o‘zgarmas kuchlanishni, tok kuchi, chastota va faza siljishini o‘lchash mumkinligi;
- o‘lchash chegarasi 1 MVdan 2000 V gacha;
- Kamchiligi;
- asbobning murakkabligi sababli tannarxining balandligi;
- ko‘rsatkichli asboblarga qaraganda kam chidamliligi.

Raqamli o‘lchash asbobining umumlashgan chizmasi quyidagi 16-rasmida keltirilgan.

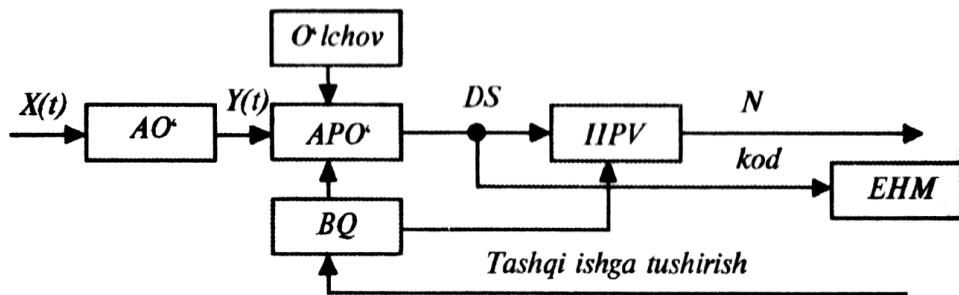
AO‘ - kirish analog o‘zgartgichi;

ARO‘ - analog raqamli o‘zgartgich;

O‘lchov - namuna o‘lchov;

BK - boshqarish qurilmasi;

IIRV - informatsiyani ifodalovchi raqamli vosita.



16-rasm. RO‘A tuzilishi chizmasi

AO‘ - analog o‘zgartgich o‘lchanayotgan $x(t)$ kattalikni u bilan funksional bog‘lanishda bo‘lgan analog kattalik $y(t)$ ga aylantiradi, bu esa raqamli kodga o‘zgartirishni osonlashtiradi.

AO‘-sifatida kuchaytirgich bo‘lgich, filtrlar, noelektrik kattaliklarni elektr kattaliklarga aylantirgichlar va boshqalardan foydalaniladi.

ARO‘ analog kattalikni sath va vaqt bo‘yicha kvantlash, o‘lchov bilan taqqoslash va natijalarni kodlash ishlarini bajaradi. Bunda chiqishda diskret signal (DS) ishlanadi va bu signal IIRVda raqamli hisob N ga kiritiladi.

Raqamli asboblarda ikkilik va o‘nlik sanoq shaklidan foydalaniladi.

Raqamli asboblarning elementlari va qismlari.

1. Ikkilik hisoblagichlar.
2. Registerlar.
3. Deshifratorlar.
4. Vaqt selektorlari.
5. Taqqoslash sxemalari.

Ushbu qismlar asosida quyidagi ko‘rinishdagi o‘zgartirishlar amalga oshiriladi.

Analog kod (ASP)

Kod analog (SAP)

RO‘A qismlari logik sxemalar va triggerlardan tashkil topgan.

Raqamli o‘lhash asboblari bir necha xil bo‘ladi.

Vaqt oraliqlarini o‘lchovchi raqamli o‘lchagichlar: garmonik yoki impulsli signallar davri va impulslar davomiyligini o‘lchaydi.

O‘lchanayotgan signal $U_x(t)$ kuchaytirgich shakllantiruvchiga keladi, chiqqan signal $U_x(t)$ to‘g‘ri burchakli impuls bo‘lib, uning davomiyligi T_x o‘lchanayotgan signal davriga teng bo‘ladi. Bu impuls K-kalitni ochadi va T_0 – davrli impulslar GI dan hisoblagichga

kiritiladi. X – hisoblagich T_x vaqt ichidagi impulslar soni quyidagi ifodadan hisoblanadi.

$$N = T_x / T_0 = T_x \cdot f_0 ; \quad (44)$$

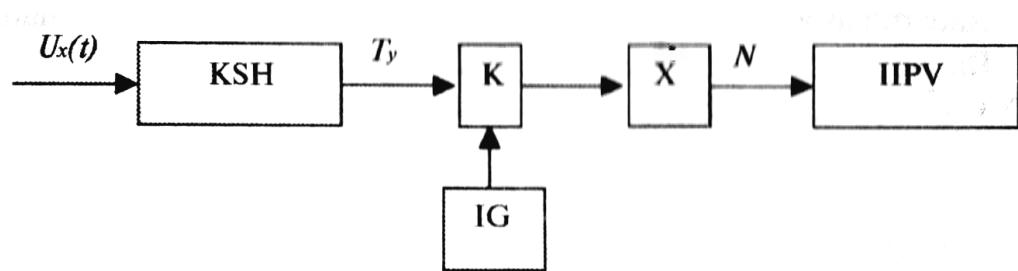
F_0 - chastotaning T_0 - davri bu holda namunaviy kattalikdir va u bilan o‘lchanayotgan vaqt oralig‘i taqqoslanadi.

Hisoblagichdan chiqqan kod IIRV da aks etadi.

Raqamli chastotomerlar:

- davriy signal chastotasini va vaqt intervalini o‘lchaydi.
- bu chastotamerning ish prinsipi quyidagicha;
- noma’lum chastotaning davrlar soni T_x - namuna vaqt oralig‘i T_0
- da hisoblanadi, ya’ni

$$N = T_0 / T_x = T_0 \cdot f_x ; \quad (45)$$



17-rasm. RO‘A da davriy o‘lchashning tuzilishi

Raqamli fazametrlar:

- bu fazametrlar impulsli qurilmalarni tadqiq qilishda, turli bo`g‘inlarining faza-chastota tavsiflarini olishda ishlatiladi.

Ular ikkita guruhg‘a bo‘linadi:

1. Fazalar siljishi oniy qiymatini o‘lchovchi;
2. Fazalar siljishi o‘rta qiymatini o‘lchovchi.

Ish prinsipi - ikkita sinusoidal yoki impuls kuchlanishi orasidagi faza siljishi vaqt oralig‘iga aylantiriladi va bu vaqt oralig‘i raqamli usulda o‘lchanadi. Garmonik tebranishlar faza siljishi:

$$\varphi = 2\pi T_x / T_x ;$$

$$T_x = 1/f_x$$

T - tebranish davri - tebranishlar orasidagi vaqt siljishi.

Raqamli chastotamer, vaqt oralig'i o'lchagichi va fazametrlar bir xil qismlar tashkil topganligi sababli ular yagona universal asbob sifatida ko'rilgan va elektron-hisob chastotameri deb nomlangan.

Bu chastotamerlar past chastotali - 10 MHz gacha va yuqori chastotali 150 MHz bo'ladi. O'lchashlar avtomat holda va qo'lda bajariladi.

Masalan: 43-35, 43-38, 43-57 va F5035, F5041, F5080.

O'lchov ma'lumotlarini uzoq bo'lmanan masofalarga uzatish uchun o'zgarmas va o'zgaruvchan kuchlanish va tok hamda unifikatsiyalangan signaldan foydalaniladi.

Raqamli voltmetrlar va ARO' GOST 14014-82 bilan tasdiqlangan.

Vaqt o'zgartkichli raqamli voltmetrlar:

-o'lchanayotgan kuchlanish dastlab vaqt oralig'iga aylantiriladi. Keyin esa raqamli kodga o'zgartiriladi.

O'zgaruvchan kuchlanish va toklarni o'lchovchi raqamli voltmetrlar.

Chastota o'zgartkichli raqamli voltmetrlar ish prinsipi: dastlab o'lchanayotgan kuchlanish impulsli yoki garmonik signal chastotasiga oraliq tarzida aylantiriladi.

Kuchlanishning ta'sir etuvchi va o'rta qiymatini o'lchashda o'zgaruvchan kuchlanish o'zgarmas kuchlanishga aylantiriladi.

Bunday SIP chizmasi quyida keltirilgan.

O'zgaruvchan sinusoidal yoki impulsli kuchlanishning amplituda qiymatini o'lchash uchun amplituda (tahlillagich) analizatorlari va xotirada saqllovchi raqamli voltmetrlar ishlataladi.

Bu yerda:

MO' - masshtab o'zgartkichi;

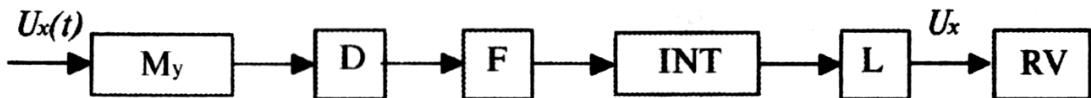
D – detektor;

F – filtr;

Int-integrator;

RV-raqamli voltmetr;

L-linearizator.



18-rasm. O'zgaruvchan kuchlanish va toklarni o'lchovchi raqamli voltmetrlar

Ayniqsa, o‘lchanayotgan kuchlanish amplitudasini xotirada saqlash usuli soddaligi bilan farqlanadi.

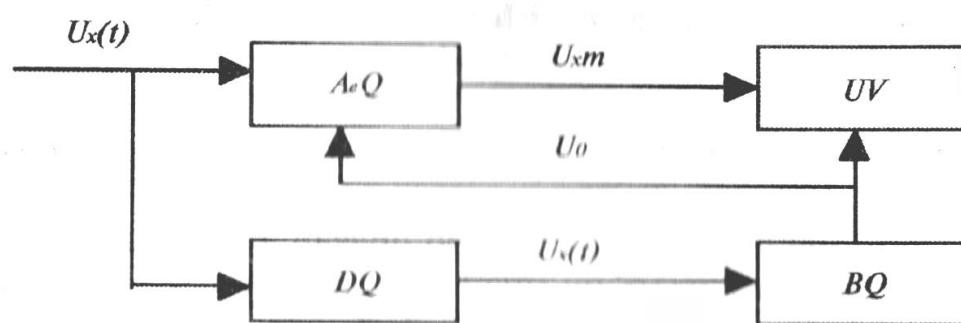
Bu voltmetr 0,1-0,2% xatolikka ega.

Eslash vaqt t_{es} 10 mks.

AeQ - analog eslash qurilmasi

DK - differensiallovchi qurilma

BQ - boshqarish qurilmasi



19-rasm. Amplituda qiymatini eslab qoluvchi raqamli voltmetrning tuzilishi.

Mikroprotsessorli raqamli o‘lchash asboblari.

O‘lchash texnikasida mikroprotsessor va mikro EHM ning qo‘llanilishi ko‘p kanalli o‘lchash asboblarining yaratilishiga olib keldi. Ular loggerlar deyiladi. Ular blok-modul prinsipida qurilgan. Asosiy elementlari: kommutatorlar, ASP, MP yoki mikro EXM, operativ (OE+), doimiy (PZU) qayta dasturlanuvchi (PPZU), SSOI, operator pulti, tashqi qurilmadir.

Loggerlar 16-100 o‘lchov kanallariga ega.

Davriy signalning chastotasi f_x ni o‘lchash uchun ma’lum t_0 vaqt oralig‘idagi uning davrlar soni N ni hisoblash yetarlidir.

$$f_x = N / \Delta t_o; \quad (46)$$

f_x - noma’lum chastota; N - davrlar soni.

Noma’lum vaqt intervalini f_x o‘lchashda esa signalning T_0 - davrlar sonini ma’lum f_0 chastotada o‘lchanayotgan interval t_x da hisoblash yetarli bo‘ladi.

O‘lchash natijasi quyidagicha ifodalanadi.

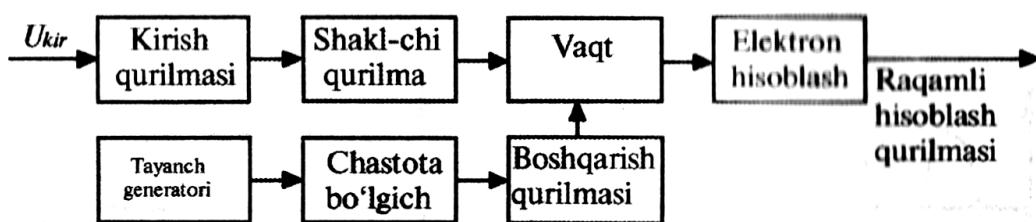
$$\Delta t_x = N / f_o = NT_o; \quad (47)$$

Yuqorida keltirilgan bevosita hisoblash usuli elektron signalining chastota vaqt parametrlarini raqamli o'lchash usullarining asosini tashkil qiladi.

Quyidagi rasmda elektron hisobi chastota o'lchagichning soddalashtirilgan tuzilishi berilgan.

Chastota o'lchash rejimi. Tekshiriladigan signal U_x kirish qurilmasiga keladi, kuchaytiriladi yoki susaytiriladi, signal filtrlanadi.

Shakllantiruvchi qurılma signalni impulslar ketma-ketligi U_{chik} ga aylantirib beradi, ularning chastotasi tekshirilayotgan signal chastotasiga teng bo'ladi.



20-rasm. Elektron hisobi chastota o'lchagichining tuzilish sxemasi

Selektor boshqariluvchi elektron kalit bo'lib u elektron hisoblagichga noma'lum chastotasi shakllangan impulslarni boshqaruvchi qurilmada stroblovchi I_{su} impuls bo'lgandagina o'tkazadi, bu impulsning davomiyligini t_0 o'lchash vaqtini aniqlaydi.

Boshqarish qurilmasi chastota bo'lgichlar yordamida stroblovchi impulsni yuqoristobil tayanch generatori signalidan ishlab beradi va uning davomiyligi 10 k karrali bo'ladi. k-butun son.

Selektor chiqishida elektron hisoblagich bilan sanalgan N impulslar soni kirish signali chastotasiga proporsional bo'ladi va raqamli hisob qurilmada qayd qilinadi. $\Delta t_0 = 10^K c$ bo'lganligi uchun chastota

$$f_x = N \cdot 10^K \text{ Hz} \quad (48)$$

Keltirilgan diagrammalar asosida chastotani bevosita o'lchashda xatolikning 2 ta tashkil etuvchisini ajratish va ular qiymatini hisoblash qiyin emas.

Birinchidan, bu xatolik - namuna vaqt intervali xatoligidir. Bu xatolik tayanch kvars generatori boshlangich chastotasi asosida paydo bo'ladi.

Raqamli chastotamerlarda asosan termostatlangan kvarts generatorlardan foydalaniladi va $f_0 = 0.1 \div 10 \text{ MHz}$ chastota diapazonida bo‘ladi, chastotasining maksimal nisbiy xatoligi $10^{-7} \dots 10^{-9}$ tashkil etadi. Bu xatolikni ikkinchi tashkil etuvchi diskret xatolikka nisbatan hisobga olmasa ham bo‘ladi.

$$N_x = f_x \Delta t_o. \quad (49)$$

Tekshiriluvchi signal va stroblovchi impuls vaqt bo‘yicha o‘zaro bog‘langanligi sababli impulslarni sanash xatoligi impulsni tashkil etadi.

Shunga ko‘ra, chastotani o‘lchashda diskretlikning maksimal nisbiy xatoligi

$$\delta_g = \pm 1/N = \pm 1/f_x \Delta t_o. \quad (50)$$

Diskretlik xatoligini kamaytirish mumkin, buning uchun o‘lchash boshida stroblastgan impuls tekshirilayotgan signal bilan sinxronlashtiriladi. Bunda diskretlik bo‘yicha xatolik doimo musbat bo‘ladi:

$$\delta_g = 1/f_x \Delta t_o. \quad (51)$$

Yuqoridagilardan ko‘rinib turibdiki, diskretlash xatoligi o‘lchanayotgan chastotani va o‘lchash vaqtini oshirish hisobiga kamaytiriladi. Yuqori chastotalarni o‘lchashda diskretlikning nisbiy xatoligi kamayadi va tayanch generatorining xatoligi - bilan teng bo‘ladi. O‘lchanayotgan chastota va o‘lchash vaqtini ortgan sari diskretlikning nisbiy xatoligi kamayadi.

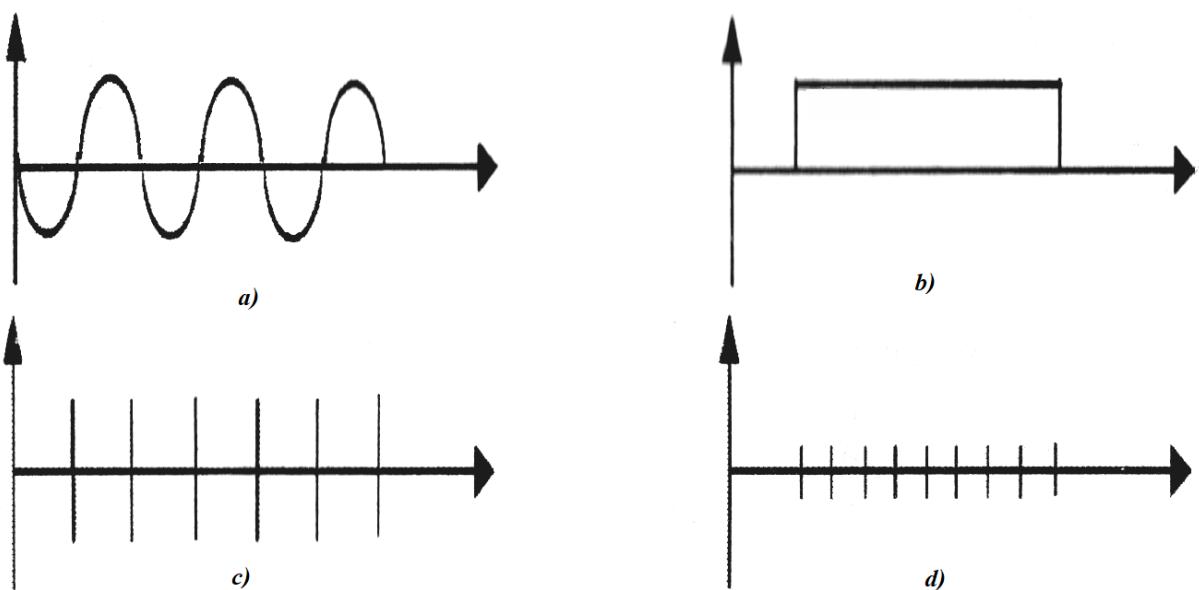
Ushbu kattaliklarning istalgan ikkitasi berilgan bo‘lsa, uchinchi kattalikni hisoblash mumkin bo‘ladi.

Xozirgi paytda analog - diskretli o‘lchash asboblari (ADO‘A) ishlatalmoqda. RO‘A dan farqli xolda bu asboblarda kvazianalog hisoblash qurilmasidan foydalaniladi. Bu qurilmada ko‘rsatkich vazifasini yorug‘ nuqta / polosa bajaradi, u o‘z uzunligini diskret ravishda o‘zgartiradi.

Kvazianalog hisoblash qurilmasi kod bilan boshqariladi. RO‘A, AO‘A va ADO‘A uchun umumiy bo‘lgan raqamli hisoblash qurilmasi (RXK) foydalilanildi.

“Kod” hosil qilish uchun RO‘A da o‘lchanayotgan uzluksiz kattalik vaqt bo‘yicha diskretlanadi va sath bo‘yicha kvantlanadi. Vaqt bo‘yicha uzluksiz bo‘lgan $x(t)$ kattalikni diskretlash deb, kattalikni vaqt bo‘yicha uzlukli kattalikla aylantirish tushuniladi.

Kattalikning qiymati «0» dan farqli va $x(t)$ ning mos qiymatlari bilan ayrim vaqt momentlarida mos tushadi. Vaqtning ikkita momenti orasidagi oraliq diskretizatsiya qadami deyiladi va bu qadam doimiy va o‘zgaruvchan bo‘lishi mumkin.



21-rasm. Elektron hisoblagich qurilmalarida signalning vaqt bo‘yicha diagrammalari: sinussimon (a), to‘g‘riburchaksimon (b), diskret (d), impuls (e)

O‘lchanayotgan kattalikli qiymati bo‘yicha diskretlanish - kvantlanish deyiladi, bunda vaqt bo‘yicha uzluksiz bo‘lgan kattalik uning vaqt oralig‘idagi qiymatlari bilan almashtiriladi. RO‘K larda kvantlangan va diskretlangan signal raqamli kodga aylantiriladi, ya’ni turli diskret qurilmalar uchun qulay shaklga keltiriladi.

Kodlashda hisoblashning ikkilik, o‘nlik va ixtiyoriy sanoq tizimidan foydalilanildi.

O‘nli tizimda har qanday N soni quyidagi ko‘rinishda beriladi.

$$N = \sum_{i=-m}^n k_i \cdot 10^{i-1}$$

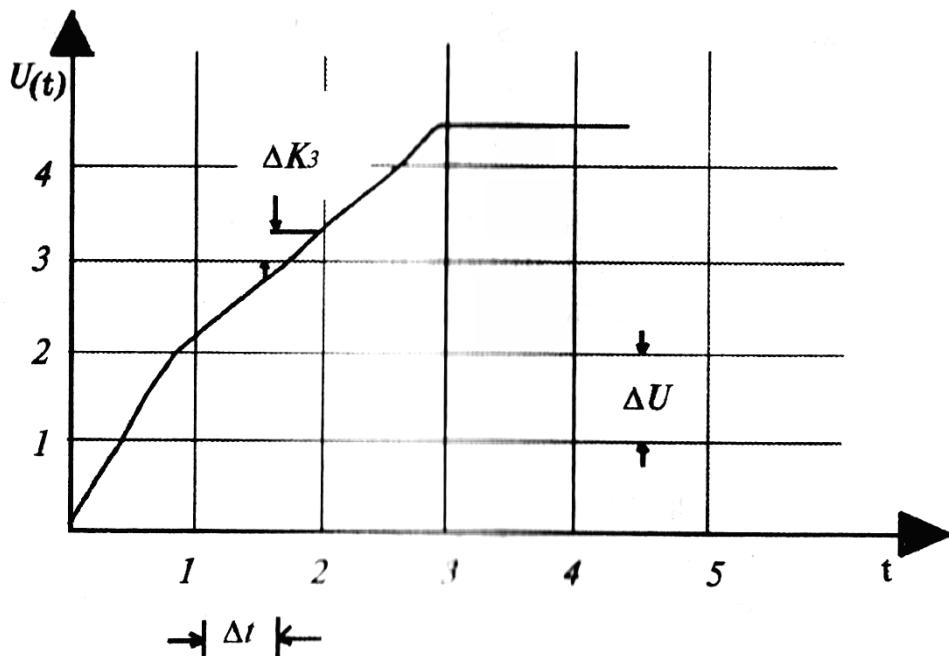
bunda ki – razryad koeffitsiyenti

10^{i-1} – vazn koeffitsiyenti m dan n gacha bo‘lgan butun sonlar razryad raqamini aniqlaydi. Masalan, 930,4 soni sanoqning o‘nli tizimida ushbu ko‘rinishda beriladi.

$$930,4 = 9 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 0 \cdot 10^0 + 4 \cdot 10^{-1}$$

9,3,0,4 – razryad koeffitsiyenti

RO‘A da o‘nli tizimda o‘lchash natijalarini ifodalash uchun foydalaniladi. Bunda kodlash ikkita turg‘un xolatga ega bo‘lgan «trigger» deb nomlangan elementlardan foydalaniladi.



22-rasm. $U(t)$ kattalikning kvantlanishi va diskretlanish grafigi.

Δt – diskretlash odimi

ΔU – pog‘ona, kvantlanish odimi

ΔK_3 – 3-sath bo‘yicha kvantlanish xatoligi

Nazorat savollari

1. Vaqt oraliqlarining o‘lchovi raqamli o‘lchagichlar nimalarni o‘lchaydi?
2. Raqamli o‘lchagichlarning qanday turlarini bilasiz?

3. Raqamli o‘lhash asboblarining afsalliklarini ayting?
4. Raqamli asboblarning elementlari va qisimlarini aytib beraing?
5. Raqamli fazalar o‘lchagichlarining qaysi turlarini bilasiz?
6. Raqamli o‘lhash asboblarida qaysi tizimlarda foydalaniladi?

10-ma’ruza

O‘lchov generatorlari

Reja:

1. Generatorlarning turlari va vazifasi.
2. Garmonik to‘lqin generatorlari.

Kalit so‘zlar: generatsiya, garmonik, avtogenerator, chastota, modulyatsiya, tebranish konturi.

Turli radiotexnik elementlar, sxemalar, qurilmalar va tizimlarni tadqiq qilish, signali va parametrlarini o‘lchashda turli-tuman shakllar, chastotalar va quvvatlarga ega bo‘lgan sinov va aniq signallar manbai talab qilinadi. Mazkur signallarni tadqiq etilayotgan apparaturaga berib, manbani o‘lchovlar sifatida qo‘llab elektr signallarning qator parametrlari (garmonik tebranish chastotasi, impulslarning davomiyligi va kuzatish davri, modulyatsiya koeffitsiyenti va sh.k) o‘lchaydi: elektr zanjirlarning amplituda – chastotaviy va o‘tish tavsiflarini oladi, shuningdek shovqin koeffitsiyenti va radioqabul qilgich qurilmalar sezgirligini aniqlaydi, o‘lchov asboblarini graduirlaydi yoki testlaydi; yuguruvchi va tingch to‘lqinlar koeffitsiyentlarini, O‘YuCh qurilmalar yuklanishini akslantirishi va to‘la qarshiligi koeffitsiyentlarini aniqlashda o‘lchov liniyalarini ta’minlaydi. Turli tebranishlarning bunday manbalari signallarning o‘lchov generatorlari (avtogeneratorlar) deb ataladi.

O‘lhash signallari generatori – bu jalb qilinadigan metrologik tavsiflarga muvofiq berilgan chegaralarda me’yorlashtiriladigan chastota, vaqtli va amplitudaviy parametrlarining ma’lum shakldagi radiotexnik signallari manbaidir.

O‘lchov generatorlari elektr tebranishlar, modulyatsiya quvvati va darajasi ma’lum chegaralarda qayd etiladigan yoki sozlanadigan ekranli manbadir. Ular oddiy generatorlardan qator prinsiplariga ko‘ra farqlarga ega: keng diapazonlarda tebranishning chiqish parametrlarini

kuchlanish yoki quvvatning chastotasi, shakli, davomiyligi va darajasi aniq o‘rnatish va sozlash imkoniyatiga ega, signallarni o‘rnatish va sozlashni nazorat qilishga imkon beruvchi yuqori barqaror parametrlar o‘rnatilgan o‘lchov asboblariga ega, o‘lchash va dasturli boshqarishning boshqa vositalari bilan hamkorlikda ishlashi mumkin.

O‘lchov generatorlarining quyidagi turlari farqlanadi:

- past chastotali signallar generatori – infratovush (lot UNFRA – past; elastik to‘lqinlar 16Gs dan past, ularni inson eshitish a’zosi eshitmaydi) chastotali (0,01 Gs...16 Gs), past chastotali yoki past tovushli va ultratovush chastotalar (20 kGs...300 kGs) ning garmonik. Modullanmagan yoki modullashgan signallar manbai;

- yuqori chastotali signallar generatorlari – yuqori (0,3 Gs...300 MGs) va o‘ta yuqori chastotalar (O‘YuCh, 300 MGs) ning garmonik modullanmagan yoki modullangan signallar manbai;

- tebranuvchan chastotali (cbun- generatorlar) belgilangan chastota polosasi chegaralarida chastota avtomatik o‘zgaradigan garmonik signallar generatori;

- impulslar generatorlari yoki relaksion generatorlar turli shakldagi bir (yagona) yoki davriy video impuls - signallar manbai;

- shovqin va shovqinsimon signallar generatorlari-chiqish kuchlanish statistik tavsiflar bilan nazorat qilinadigan tasodifiy jarayonlarni amalga oshirishga mo‘ljallangan elektr shovqini va shovqinsimon signallar manbai.

Chiziqli – o‘zgaruvchan kuchlanishlar generatorlarini (ChO‘KG) ajratib ko‘rsatish lozim, ular relaksatsion generatorlarga oid bo‘lib, o‘lchov hamda yoyilmalar generatorlari sifatida ishlatish mumkin.

Ta’kidlab o‘tish kerakki, garmonik tebranishlar generatori chiqish signali spektrida bir yoki bir necha garmonikalar mavjud. Relaksion generatorlarning chiqish tebranishlari o‘lchanadigan amplitudali ko‘plab garmonikalarga ega.

O‘lchov generatorlarida real signalni imitatsiyallash uchun garmonik tebranishlarni modulyatsiyalash imkoniyati ko‘zda tutilgan. Modulyatsiya ko‘rinishiga ko‘ra generatorlar amplitudali (bir polosalı amplitudali), chastotali va fazoviy sinusoidal amplitudali, chastotali va impulsli modulyasiyasi, shuningdek impuls - kodli va shovqinsimon (psevdotasodifiy, psevdo grekcha psevdos – yolg‘on, yolg‘ondan, soxta) modulyatsiyali uskunalarga bo‘linadi.

O‘lchov generatorlar kuchlanishi (quvvati) ning chiqish darjasini kalibrilangan va kalibrlanmagan bo‘lishi mumkin. Kuchlanishning

kalibrlangan darajasi mikrovoltning 100 biridan to 10 dan biri va volt birligigacha, quvvati esa 10^{-15} Vt dan bir va o‘nlab mikrovattgacha o‘zgaradi. Kalibrlanmagan darajali generatorning chiqish quvvati bir necha vattgacha yetadi. Garmonik signallar generatorlarning asosiy metrologik tavsiflari chastotasi va chiqish darajasiga belgilash xatoligi, chastota nobarqarorligi, chiqish signaling modulyatsiya-lashdagi parametrlari, moslashgan yuklamada maksimal chiqish quvvatidir.

Impulsli signallar generatorlari yagona yoki juft impulslar, gersning bir qismidan to yuzlab megagersgacha takrorlanadigan chastotali to‘g‘riburchakli impulslar, ularning davomiyligi nakosekundning bir bo‘lagidan to bir necha sekundgacha va amplitudaga millivoltdan to o‘nlab voltgacha, pachkasini va davriy ketma-ketligini shakllantiradi.

Maxsus shaklli signalalar generatorlari kuchlanishning uchburchakli va boshqa shakllarini vujudga keltiradi.

Vazifasi, harakat prinsipi va sxemotexnik bajarilishidan qat’i nazar sanab o‘tilgan barcha tebranishlar generatori (generatsiyaning parametrik sxemasidan tashqari) nochiziqli kuchaytirgich, teskari aloqali musbat zanjir va o‘zgarmas tok manbaidan iborat. Chiqish tebranishlarining shakli va chastotasi generatorning faqat o‘z parametrlari bilan aniqlanadi.

Garmonik tebranishlar generatori tarkibida tor polosali tebranish tizimi bo‘lishi kerak. Relaksatsion generatorning harakat prinsipi teskari aloqali keng polosali energo sig‘imi musbat zanjirlarda oqadigan zaryad- razryad yoki to‘plovchi – yutuvchi xodisalarga asoslangan.

Garmonik tebranishlar generatorining o‘z - o‘zini qo‘zgo‘alishi shartlarini ko‘rib chiqamiz. Tebranishlar qo‘zg‘alishi va generatsiyasi uchun ular kuchlanishini bir qismi kuchaytirgich chiqishidan (aniqrogi, tebranuvchi tizimdan) aloxida kiritilgan musbat teskari aloqali zanjir bo‘yicha uning kirishiga beriladi (TA). Boshqacha aytganda, bunday qurilma “o‘z- o‘zini qo‘zg‘atadi” va shunig uchun o‘z-o‘zini qo‘zg‘atuvchi generator deb ataladi.

Generatorda vujudga keladigan soddalashtirilgan mexanizm quyidagicha harakat qiladi. Ishga tushirganda tebranuvchi tizimda ta’midot manbani ulash, kuchaytirgich asbobida tok sakrashlari va kuchlanishlardan vujudga kelgan kuchsiz erkin tebranishlar hosil bo‘ladi. TA li mustab zanjir kiritilishi tufayli tebranishning bir qismi

kuchaytirgich chiqishida uning kirishga tushadi. Tor polosalni tebranish tizimi mavjudligi uchun yuqorida ta’riflangan jarayonlar birgina ma’lum chastota ω da vujudga keladi va boshqa chastotalarda keskin so‘nadi.

Avvalda, generator manbai ulangandan keyin signalning tebranish tizimida vujudga kelgan kuchayishi chiziqli rejimda yuz beradi, so‘ngra tebranishlar amplitudasi o‘sishiga bog‘liq holda kuchaytirgich elementining nochiziqli xossasi sezilarli rol o‘ynay boshlaydi. Natijada generatorning chiqish tebranishlari amplitudasi bir qator belgilangan darajaga yetadi, keyin deyarli o‘zgarmas bo‘lib qoladi. Tebranishning bir davrida o‘zgarmas tok manbaidan kuchaytirgich oladigan energiya yuklamada xuddi shu vaqtida sarflanadigan energiyaga teng bo‘ladi. Bu xolatda generator ishining statsionar rejimi xaqida gap boradi.

Garmonik tebranishlar generatorini umumlashtirilgan sxemada ko‘rish mumkin (28-rasm) u kuchlanish bo‘yicha kuchayishning kompleks koeffitsiyentiga $K = K(j\omega)$ ega bo‘lgan nochiziqli rezonans kuchaytirgich va uzatishning kompleks koeffitsiyentiga ega bo‘lgan TA musbat zanjirdan iborat, $\beta = \beta(j\omega)$.

Mazkur generatorda quyidagi kuchlanishlarning kompleks amplitudasi belgilangan: kirish $U_{kir} = U_{kir}(j\omega)$; chiqish $U_{chiq} = U_{chiq}(j\omega)$ va teskari aloqa $U_{TA} = U_{TA}(j\omega)$.

Generatsiya ω ning istalgan chastotasida teskari aloqa kuchlanishi

$$U_{TA} = U_{kir} = \beta V_{kir} \quad (54)$$

Bu vaqtida chiqish kuchlanish

$$U_{chiq} = KV_{kir} \quad (55)$$

yoki formulani hisobga olib aniqlanadi.

Bundan $K\beta = 1$ bo‘lsa, generatorning statsionar rejimda ishlashi kelib chiqadi.

Agar $K\beta = 1$ bo‘lsa, chiqish tebranishlari amplitudasi o‘sib boradi, bu generatorning o‘z-o‘zini qo‘zg‘atishning zaruriy shartini aniqlaydi.

Formulani quyidagicha tasavvur qilamiz:

$$K(\omega)e^{j\gamma k(\omega)}\beta(\omega)e^{j\gamma\beta(\omega)} = K\beta T^{j(\gamma k + \gamma)} = 1 \quad (56)$$

bu yerda: $K(\omega) = K$ va $\beta(\omega) = \beta$ ko'rsatkichlari – kuchlanishning xususiy kuchayishi (TA zanjirsiz) koeffitsiyenti va TA li musbat zanjirning uzatish koeffitsiyentining haqiqiy qiymati; $\gamma_k(\omega) = \gamma_k$ va $\gamma_\beta(\omega) = \gamma_\beta$ kuchaytirgich va joriy chastota ω da TA li musbat zanjirning muvofiq kiritadigan fazoviy siljishlardir.

Ifodani 2 ta tenglik sifatida taqdim etish qabul qilingan:

$$K\beta = K_{TA} = 1; \quad (57)$$

$$\gamma_k + \gamma_\beta = 2_{\beta n} \quad (58)$$

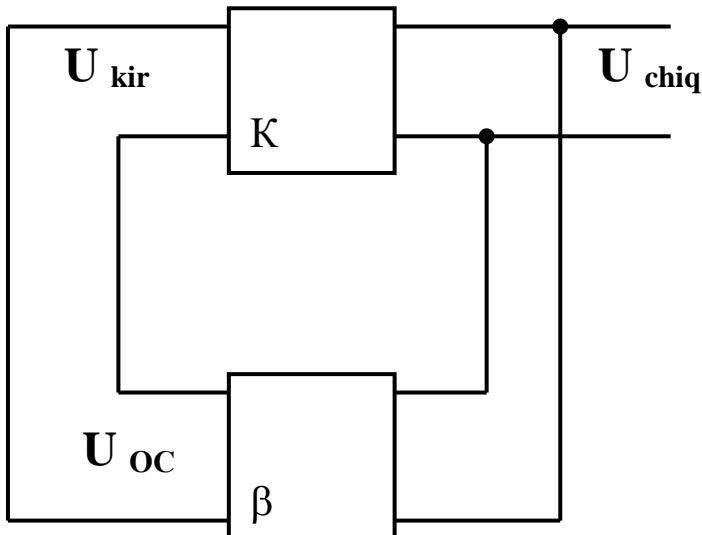
bu yerda: K_{TA} - teskari tarmoq musbat zanjirli kuchaytirgichning kuchayishi koeffitsiyenti: $n=0,1,2,3\dots$

Formula generatorda amplituda balansi shartini belgilaydi. Bunda statsionar rejimida generasiyalanadigan chastotada TA li kuchaytirgichning ko'payish koeffitsiyenti $K_{TA} = 1$ kelib chiqadi. Tenglik esa faza balansi shartini tavsiflaydi. U statsionar rejimda generatsiyalananadigan chastotada kuchaytirgich va TA li musbat zanjir vujudga keltiradigan signalning summar fazoviy siljishi 0 ga teng yoki 2β ga karrali bo'lish kerakligini ko'rsatadi.

Garmonik tebranishlar generatorlarida tebranuvchi tizim sifatida rezonansli LC kontur (O'YUCH generatorlarda bu maqsadda O'YUCH – qurilma yoki rezonatorlardan foydalaniladi) va chastota - bog'liqli (fazalovchi) RC - zanjirlar xizmat qiladi.

LC – konturli garmonik tebranishlar generatorlari LC – generatorlar, fazalovchi RC-zanjirligi esa RC-generatorlari deb ataladi. LC-generatorlari yetarlicha yuqori chastotada (100 kGs da ko'p) tebranishlar RC-generatorlar esa past chastotali garmonik tebranishlar (gersning bir qismida to o'nglab kilogersgacha) ishlab chiqaradi.

Past chastotali va yuqori chastotali diapazonli garmonik tebranishlar generatorlari o'lchov vositasi uchun 2 ko'rinishda – signallar generatorlari (SG) – past chastotali generatorlar va standart signallar generatorlari (SSG) – yuqori chastotali tebranishlar generatorlari sifatida bajariladi. SSG ancha yuqori barqaror chastotalalar va shakllarga ega, lekin SG ga nisbatan chiqish signali darajasi past.



28-rasm. Generatorning umumlashtirilgan tuzilishi

Past chastotali diapazonlarda LC – generatorlarning texnik tavsiflari tebranuvchi konturlarning induktivligi va sig‘mi va ularga mos keluvchi g‘altak va kondensatorlar razmerlarining kattaligi birdan olib borishi bilan sezilarli yomonlashadi. Shuningdek ularni keng chegaralardan chastotalarda sozlash qiyin. Shuning uchun past chastotali garmonik tebranishlarning o‘lchov generatorlarida tebranuvchi tizim va TA musbat zanjir sifatida chastota-tanlovchi RC-zanjirida foydalaniladi. Bunday tebranishlar manbai RC-generatorlar deb ataladi.

RC-generator sxemasida, istalgan boshqa generatorda bo‘lgani kabi, TA musbat zanjir kiritilishi kerak.

Bunga fazalar siljituvchi RC zanjir ularishi bilan erishiladi. Odatda, RC-generatorlarga Vinn ko‘prigi (29, a- rasm) o‘lanadi, u TA signali fazasini 180° ga siljishini amalga oshiradi. Bunday generator kuchaytirgich asosida quriladi, unda keng chastota diapazonida uzatish koeffitsiyenti moddiy kattalik, $\gamma = 2\pi$ fazaviy siljish esa Vinn ko‘prigi bilan operatsion kuchaytirgichda signal inversiyasini ta’minlaydi.

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (59)$$

29, b-rasmda Vinn ko‘prikli RC generatorining oddiy sxemasi tasvirlangan, unda rezonatorlarning biri o‘rniga kuchlanish rezonansi rejimida ishlaydigan kvarsli rezonator K_e ulangan SG tizimdagi

tovush diapazoni generatorining umumlashtirilgan tuzilish sxemasi (yuqori chastotasi 50Gs gacha bo‘lgan past chastotali generator) belgilovchi (jamlovchi) generator, quvvat kuchaytirgichi, chiqish qurilmasi va raqamli (yoki istalgan elektron) voltmetrni o‘z ichiga oladi.

Tovush signali generatori tuzilish sxemasining asosiy tuguni jamlovchi generatordir.

Jamlovchi generator - garmonik tebranishlarning boshlang‘ich manbai. Jamlovchi generator sxemasi chastotani o‘rnatishda keng chegaralar va yuqori aniqlilik, garmonik tebranishlar parametrlarining yuqori barqarorlik va nochiziqli buzilishlarning kichik koeffitsiyentini ta’minlash kerak.

Quvvat kuchaytirgichi - turli tipdagi o‘lchov generatorlarining tarkibiy qismi hisoblanadi va jamlovchi generatorning yuqori omli chiqish qurilmasini keyingi qurilmalarning past omli kirish qarshiliklari bilan moslashtirishga xizmat qiladi. Sxemada ko‘zda tutilgan kuchayish koeffitsiyentini sozlovchi kuchaytirgich raqamli voltmetr ko‘rsatkichlari bo‘yicha generator chiqishida kuchlanishning talab qilingan darajasini belgilashga imkon beradi. Kuchaytirgich sxemaga kiritilayotgan manfiy TA kuchlantirgich tavsiflari barqarorligini oshirish va kuchaytirilayotgan kuchlanishning nochiziqli buzilishlar darajasini kamaytirishga yordam beradi. Qator holatlarda quvvat kuchaytirgichi jamlovchi generator sxemasi bilan birlashtirilgan.

Chiqish qurilmasi - kuchaytirgichda kelayotgan kuchlanishini kuchsizlashtirishni nazorat qilishni amalga oshiradi, shuningdek o‘lchov generatorini tashqi yuklama bilan muvofiqlashtirishni ta’minlaydi. Chiqish qurilmasi disiballarda bo‘lingan pogonasimon attenuuatorlardan iborat.

Tovush chastotali generatorlar odatda 5...10 Vt da chiqish signali quvvatining qiymat darajasiga ega. Lekin bunday quvvat moslangan yuklamadagina ajralib chiqish mumkin, shuning uchun generator chiqishda ko‘pincha moslashtiruvchi transformator ulanadi, masalan, 60, 600, 6000 V kuchlanishga. Chiqish kuchlanishining raqamli voltmetrli ko‘rsatkichi ham generatorning moslangan yuklamasidagina to‘g‘ri bo‘ladi.

Generator chastota qurilmasi xatoligini bir foizdan qancha pasaytirish, uning beqarorligini xuddi shunday qiymatda pasaytirish mumkin. Chastota barqarorligini pretsizion tashqi elementlar

(kondensatorlar, induktivlik va rezistorlar) ishlatalish bilan oshirish mumkin.

Tovush chastotali tebranishlar generatsiyasining 3 ta: to‘g‘ri, tepkili usuli va elektron modellashtirish usullari qo‘llanadi.

To‘g‘ri usuldan foydalanuvchi jamlovchi generator asosida teskari aloqali aralash sirtmoq bilan o‘ralgan operatsion kuchaytirgich tashkil qiladi. Jamlovchi generatorlarda – tovush generatorlari chastotasing barqarorligini ko‘tarish uchun tez-tez tepkili jamlovchi generatorlar qo‘llanadi. Jamlovchi generatorning tuzilish sxemasi 2 ta boshlang‘ich yuqori chastotali generatordan, f_1, f_2 qayd qilingan chastotalar aralashtirgichi va oraliq chastotalar filtri (3 - rasm). Tepkili usulda tovush chastotasi tebranishlari aralashtirgichning garmonik tebranishlar f_1, f_2 chastota bo‘yicha 2 ta yaqin nochiziqli elementiga ta’siri natijasida paydo bo‘ladi.

Bunda f_2 dan $f_1 + f$ gacha chegaralarda o‘zgarish mumkin. Bu yerda f ishchi diapazonining eng katta chastotasi. Aralashtirgich chiqishidan aralash chastotalar olinadi, shu jumladan oraliq chastota deb nomlangan $F_{och} = f_2 - f_1$ chastota olinadi.

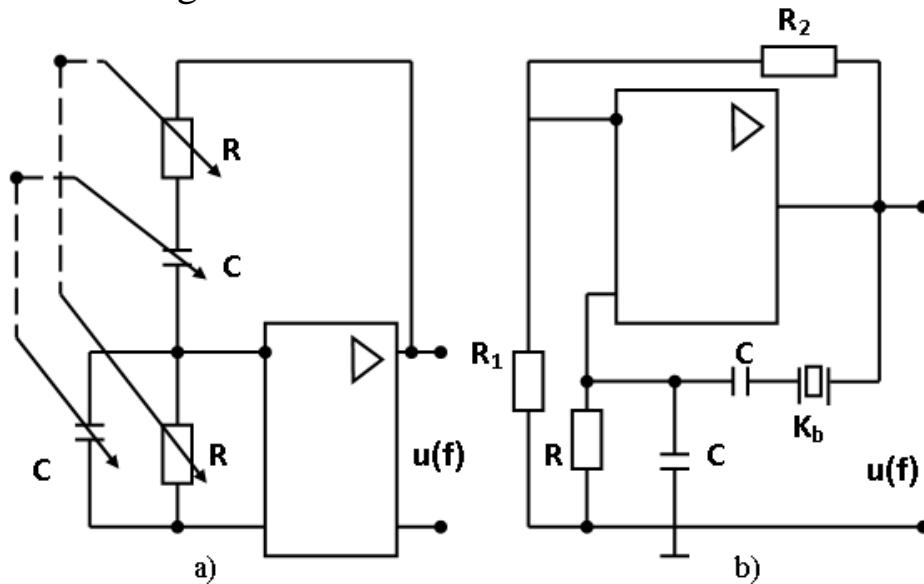
Oraliq chastota F_{och} tebranish filtr orqali oraliq chastota ajratadi.

Tepkili tebranishli o‘lchov generatorlari yaratishda elektron tebranishlar boshlang‘ich generatorlari chastotalarining yuqori barqarorligini ta’minlashga yo‘naltirilgan choralar qabul qilinadi. Qoidaga ko‘ra, tepkili generatorda chastotalarni davriy kalibrovkalash imkoniyati e’tiborga olinadi. Tebranishlar generatsiyalanadigan nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti odatda foizning 1/10 qismini tashkil qiladi va asosan oraliq chastotalar filtrning sifati bilan aniqlanadi.

Elektron modellashtirish usuli infrapast chastotali garmonik tebranishlar generatorlari yaratishda ishlataladi.

Elektron modellashtirish usuli bo‘yicha ko‘rilgan infrapast chastota generatorini umumlashtirilgan tuzilish sxemasi orqali tasvirlash mumkin (31-rasm). Jamlovchi generator tebranish zvenosining elektron modeli sifatida ko‘rinadi. Tebranish zvenosi elektron modelining asosiy elementi o‘zgarmas tok kuchaytirgichi-operatsion kuchaytirgichga qurilgan integratordir. Ma’lumki, integrator eslab qoluvchi zveno hisoblanadi. 32, a-rasmda infrapast chastotali generator TA li musbat zanjiriga ulangan tebranish zvenosi elektron modelining tuzilish sxemasi ko‘rsatilgan. Elektron model ikkita

ketma-ket ulangan integrator va kuchaytirgich ko‘rinishidagi invertorni o‘z ichiga oladi.



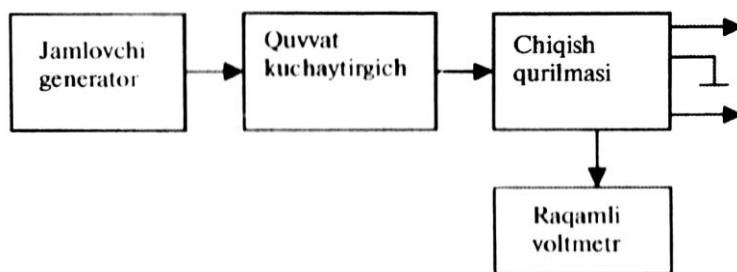
29-rasm. Vinn ko‘prikli RC generatori sxemasi:

a) oddiy; b) kvarsli barqarorlashtirilgan

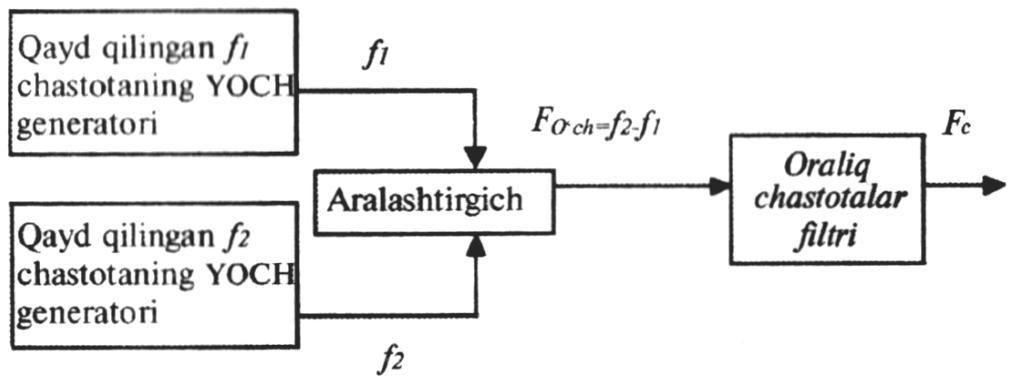
Generatorning kuchaytiruvchi va integrallovchi zvenolari 32, b va d-rasmlarda ko‘rsatilgan.

Bunday generatorning chiqish chastotalari tebranishlari integrallovchi zvenolarning parametrлари bilan aniqlanadi: ularning $\omega \approx \frac{\alpha}{(RC)}$ bilan tengligida, bu yerda α - butun zanjirning uzatish koeffitsiyenti.

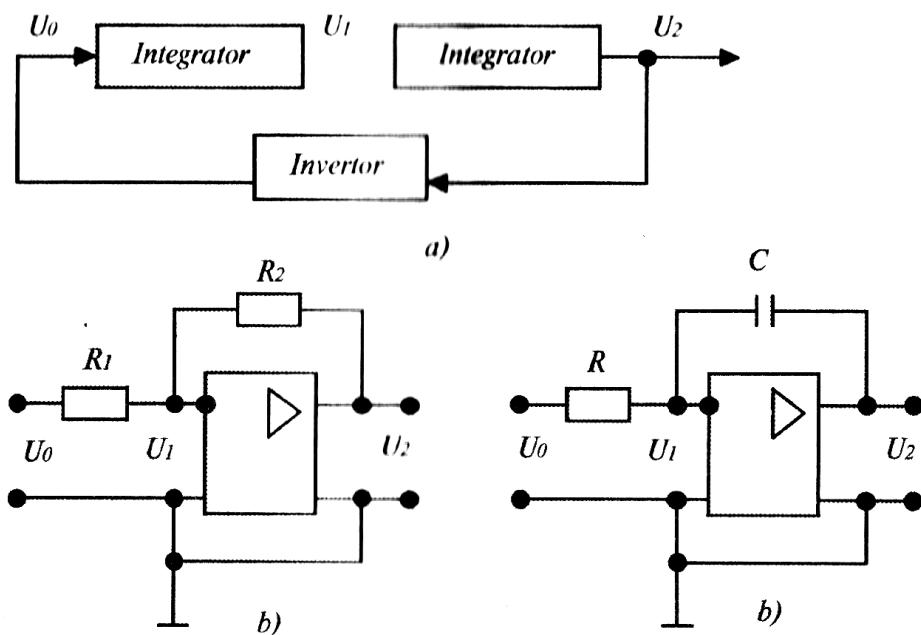
Infrapast chastotali generatordi chastotali elektron boshqarishli sxema bo‘yicha qurish mumkin. Bunday qurilma funksional generatorlar deb nomlanadi.



30-rasm. Tovush diapazonli generatordi umumlashtirilgan tuzilish sxemasi.



31-rasm. Tepkili o‘lchov generatorining tuzilish sxemasi



32-rasm. Tebranish zvenosining tuzilish sxemasi:
a) elektron model; b) kuchaytiruvchi; d) integrallovchi

Nazorat savollari

1. O‘lchov signallari generatorlari haqida ma’lumot bering.
2. O‘lchov signallari generatorlarining qanday turlarini bilasiz?
3. Garmonik tebranishlar generatorining umumlashgan chizmasi asosida ish tamoyilini tushuntiring.
4. Garmonik tebranishlarning o‘lchov RC generatorlarining ish tamoyillarini aytib bering.
5. Vinn ko‘prigi asosida RC-generatorining ishlashini tushuntirib bering.

11-12-ma’ruzalar

O’lchov generatorlari (davomi)

Reja:

1. O’ta yuqori chastotali generatorlar.
2. Impulsli signal generatorlari.
3. Maxsus shaklli signallar generatorlari.
4. Shovqin generatorlari.

Kalit so‘zlar: impuls, chastota, modulyatsiya, tebranish konturi, rezonator.

O’ta yuqori chastotali generator (O’YUCH) 1...40 GHz chastota diapazonida ishlash uchun mo’ljallangan. Tadqiq qilinayotgan sxemadagi chiqish ulovchilarining tipi bo‘yicha koaksial va to‘lqin o‘tkazgich O’YUCH – generatorlar farq qilinadi, bunda ikkinchi tipi ancha yuqori chastotalidir. O’YuCh – generatorlar uchun chastota bo‘yicha kichik yopiqli (oktavaga yaqin - 2 marta) bir diapazonli qurilish xarakterlidir. O’lchaydigan O’YUCH – generatorning kalibranmagan chizish quvvati YUVT ga yetadi, kalibranganligi esa bir necha mikrovattni tashkil etadi. O’YUCH – generatorning kalibrangan attenuuatorlari shkalalari disibellarda, GSS esa desibellar va mikrovattlarda graduirlanadi.

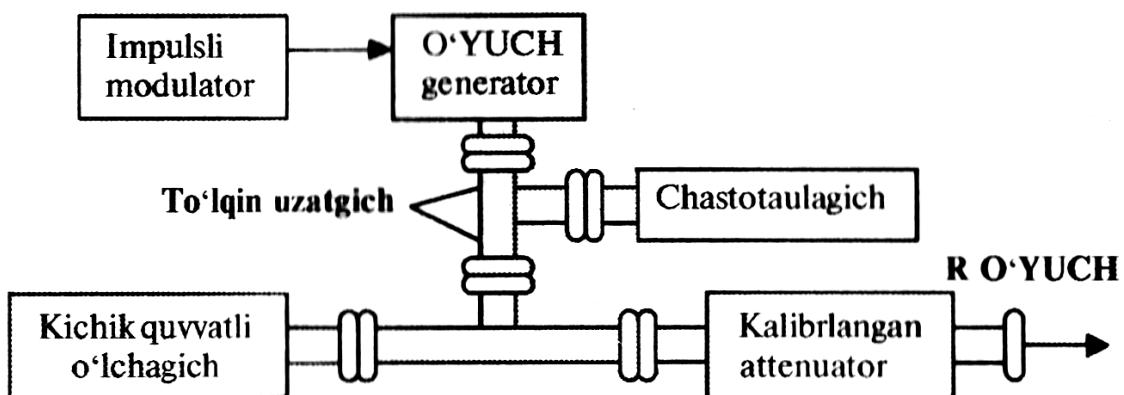
O’YUCH – generatorlar radiolokatsion va radionavigatsion stansiyallari optik aloqa va yo‘ldosh aloqali tizimlari radio qabul qilgich uskunalarining turli antennalar parametrlarini va boshqalarni sozlash uchun ishlatiladi.

To‘lqin uzatgich chiqishli O’YUCH - generator. Uning tuzilish sxemasi 33-rasmda ko‘rsatilgan. Mazkur tipli o’lchov generatorlarining o‘ziga xos xususiyatlari sxema elektron qismining nisbatan soddaligi va uskunalar mexanik tizimlarning murakkabligidir. Elektron sxema shaxsiy O’YuCh - generator, impulsli modulyator, kichik quvvatli o‘lchagich, chastotalar va kalibrangan attenuuatori o‘z ichiga oladi. Generatorning barcha yuqori chastotali tugunlari to‘lqin uzatgich bilan ulangan.

Santimetrli va millimetrali diapazonlarning qisqa to‘lqinli qismida diodli generatorlar qo‘llanadi. Mazkur generatorlardagi diodlar ishchi chastotalarda manfiy qarshilikka ega. Bunday diodlarga tushuvchi

uchastkali volt-amper xarakteristikaga ega bo‘lgan tunel diodlar (TD), shuningdek lavina-uchuvchi diodlar (LUD) va elektron o‘tuvchi oraliq diodlar (EUD) Gann diodlari deb ataluvchi diodlar kiradi.

Past chastotali raqamli generatorlar o‘xshash generatorlardan ancha samarali metrologik tavsiflar bilan farqlanadi: yuqori aniqlilik qurilmasi va chastota barqarorligi, nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenta (qat’iy sinusoidal shakl), chizish signalining doimiy darajasi. Raqamli generatorlar o‘xshash generatorlarga nisbatan yuqori tez harakatliligi, talab qilinayotgan chastotani o‘rnatishning osonligi, yanada ko‘rgazmali indikatsiya, oldindan berilgan dastur asosida chastotalarni avtomatik qayta qurish imkoniyati bilan qulaydir.



33-rasm. To‘lqin uzatgich chiqishli O‘YUCH generatorining tuzilish sxemasi

Past chastotali raqamli generatorlarning harakati raqamli kodni keyinchalik garmonik signalga aylantirishni shakllantirish prinsipiga asoslangan. Bunda chiqish tebranishlari shakllarini approksimatsiyalash (approximolat – yaqinlashaman) metodidan foydalaniladi.

O‘lchov texnikasida chastotasi berilgan spektral polosa chegarasida avtomatik o‘zgaradigan (tebranadigan) garmonik signallar generatorlaridan tez-tez foydalaniladi.

Tebranuvchi chastotali generatorlar (TChG eski nomi “svip-generator”, ya’ni o‘zgaruvchan chastotali generator) tebranishning berilgan polosasi chegaralarida chastotaning avtomatik o‘zgarishining maxsus qonuniga (chiziqli, logarifmik va sh.k) ega bo‘lgan garmonik tebranishlar manbai hisoblanadi. Tebranish polosasi Δf oxirgi f_k va boshlangich f_n chastotalarning farqi kabi aniqlanadi, ya’ni $\Delta f = f_k - f_n$.

Uning qiymatiga bog‘liq holda TCHG tor polosali (Δf ishchi diapazoning yoki poddnaponzoning maksimal chastotasi 1% dan ko‘p emas), keng polosali ($\Delta f > 1\%$) va aralash turlarga ajratiladi.

TCHG ning tuzilish sxemasi kuchlanishni modullaydigan manba, jamlovchi generator, chastota belgilarining shakllanish sxemasi, chiqish bloki va chiqish tebranishlarini qayd etuvchi raqamli daraja indikatoridan tashkil topgan.

Mazkur generatorlarning asosiy ko‘rsatkichlariga chastotaviy va amplitudaviy parametrlar kiradi.

Birinchisiga ishchi chastotasi diapazoni, tebrarish polosasi, chastotalar avtomatik tebranishining davomiyligi va boshqalar kiradi.

Ikkinchisiga berilgan yuklamada ishlayotganda chiqish quvvatining (kuchlanishning) darajasi, chastota takrorlanishida bu darajaning teng bo‘lmasligi va boshqalar kiradi. Tebranuvchi chastotali generatorlarda modulyatsiyalashtirish tavsifi chiziqliligi, quvvatning chiqish darajasi doimiyligi va yondosh modulyatsiyaning qiymati bo‘yicha yetarlicha qattiq talablar qo‘yiladi.

Telekommunikatsiya tizimlari qurilmalari va radiotexnik sxemalarda yuqori chastotali LC generatorlari chastotalarini boshqarishning bir nechta usullari ma’lum. Generator tebranuvchi konturi zanjiriga ulanadigan p-n o‘tishli yarim o‘tkazgichli diod-varikap baryer sig‘imi kattaligi o‘zgartirish yo‘li bilan chastotalarni qayta tiklash usuli o‘z amaliy qo‘llanishini topgan. Modulyatsiyalanadigan kuchlanish varikapning p-n o‘tishiga ta’sir qilib, uning sig‘imini o‘zgartiradi, demak, tebranuvchi kontur parametrlari va generasiyalanuvchi tebranishlarning chastotasini ham o‘zgartiradi.

Maxsus shaklli signallar generatorlari deb, to‘g‘ri burchakli yoki boshqa shaklga ega bo‘ladigan bir yoki davriy impulsli signallar manbasiga aytildi. Maxsus shaklli generatorlar qatorida impulsli (relaksatsion) generatorlar alohida o‘rin egallaydi. Ular davriy ketma-ketlik impulslar generatorlari va impulslar (raqamlar) ning kodli guruhi generatorlariga bo‘linadi.

Barqaror davomiylikli va kuzatish chastotali, aylana frontli va tekis cho‘qqili to‘g‘ri burchakli impulslarni shakllantirish uchun avtomatik tebranish va kutish rejimida ishlovchi multivibratorlardan foydalilaniladi. Multivibratorlarda, odatda, chastotani kvarsli mo‘tadillash ishlatiladi. Impulsli generatori tuzish sxemasi va uning ishlash vaqtli diagrammasi 34-rasmda ko‘rsatilgan. Jamlovchi (taktli)

generator – JG ishga tushirish rejimida ishlashni ta'minlaydi va asosiy impulsarning takrorlanishi chastotasini (T davr) belgilaydi.

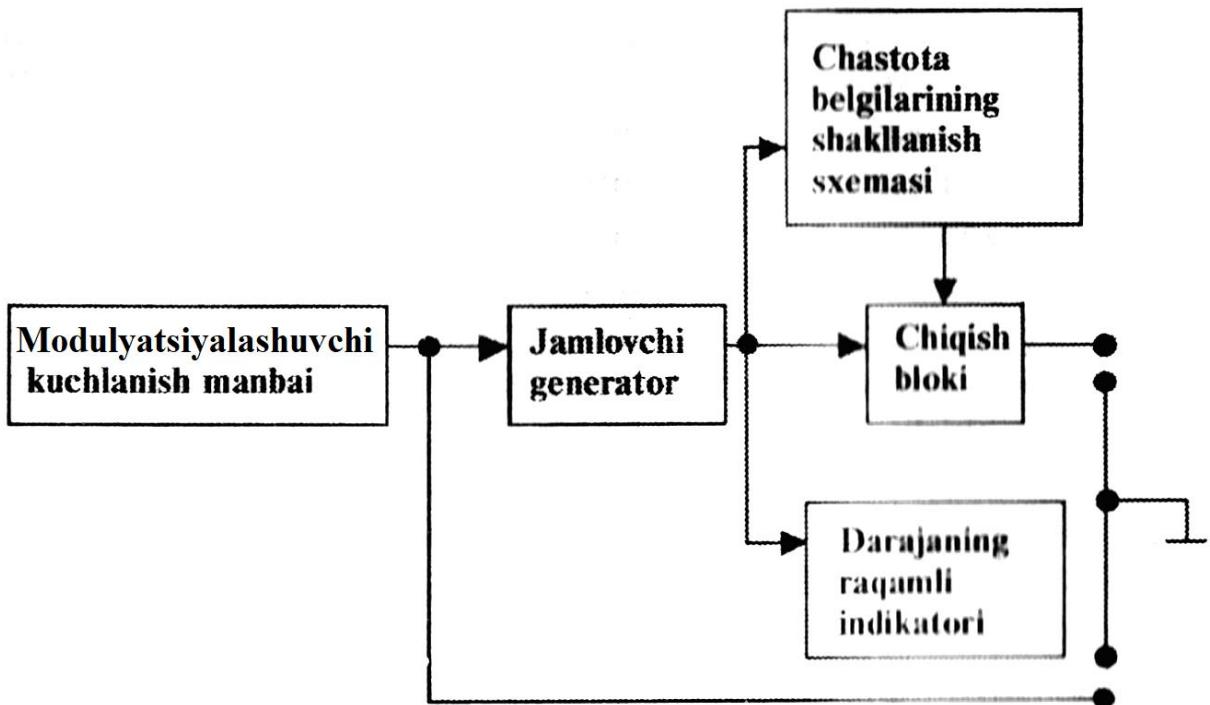
Vaqtli parametrlarni shaklantirgich yordamchi impulslar U_ϕ ishlab chiqaradi va jamlovchi generatordan ishga tushirish (kalitning holati) yoki tashqi ishga tushirish rejimida (kalitning xolati 2) ishlashi mumkin. Kechikish sxemasi yordamchi impulsning vaqtni siljishini U_k tekis o'zgaruvchan intervalda t_k vujudga keltiradi, shuning uchun asosiy impulslar shakllantirgichi tomonidan ishlab chiqariladigan asosiy impulslarining davomiyligi $t_n = t_k$ tarzida aniqlanadi. Qator xolatlarda impuls signallarini tashqi ishga tushirish impulsleri bilan sinxron generatsyalash zarurligi kelib chiqadi. Bunday holatlarda impulsli generator JG o'chirilib, tashqi ishga tushirish rejimiga o'tkaziladi (kalitning 2-holati). Bu rejimda bir marotabali (qo'lda) ishga tushirish imkoniyati mavjud, u K_H tugmachisini tutashtirish bilan amalga oshiriladi.

Shovqin generatorlarining ish tamoyillari tahlilini boshlashdan oldin, dastlab ushbu generatorlarni qurish xususiyatlari va ularga qanday texnik talablar qo'yilishiga oid ma'lumotlarni keltirib o'tamiz. Odatda, shovqin generatoriga quyidagi texnik talablar qo'yiladi:

- ishchi chastotalar diapazoni (u tadqiq qilinayotgan sistemalarning chastota diapazoni bilan mos kelishi kerak);
- shovqin quvvatining spektral zichligi;
- shovqin oniy qiymatlarining taqsimot qonuni;
- shovqin generatorining yoqilgan va o'chirilgan holatlaridagi chiqish qarshiligi (odatda, ularning teng bo'lishi talab qilinadi, masalan, shovqin koeffisiyentini o'lhashda);
- chiqish qarshilagini o'rnatilgan chegaralarda rostlash imkoniyati, chunki, bu talab, ko'paytirgich shovqinining va boshqa to'rtqutblilarning minimal koeffisiyentini o'lhash uchun belgilangan;
- shovqin darajasini rostlash chegaralari;
- atrof-muhit sharoitlarining (harorat, namlik va b.q) o'zgarishidagi shovqin darajasining barqarorlik normasi.
- o'rnatilgan chiqish qarshiligidagi shovqin darajasining kalibrlash xatoligining normasi.

Yuqorida keltirilgan texnik talablarning bajarilishiga oid qisqacha ma'lumotlarni keltiramiz. Shovqinning zaruriy darajasini har doim ham olish mumkin, masalan chiziqli kuchaytirgich bilan. Amaliyotda uch yoki besh kaskadli kuchaytirgichlar o'lhash texnikasining talablarini ta'minlaydi. Ko'plab manbalar oniy qiymatlarning normal

taqsimot qonunlari asosida shovqinlar beradi, ular undan tashqari (ish rejimiga bog'liq holda) kuchli buzilishlarga ega bo'lgan gauss shovqinini (cheklangan o'rta qiymatga nisbatan nosimmetrik va boshqalar) yoki vaqt holati puasson qonuniga yaqin bo'lgan impulsarning xaotik ketma-ketligini generatsiyalashi mumkin. Shovqin oniy qiymatlarining boshqa taqsimot qonunlariga ega bo'lish uchun nochiziqli o'zgartirishlariga murojaat qilinishini taqozo etadi.



34-rasm. TCHG ning soddalashtirilgan tuzilish sxemasi

Shovqin darajasini rostlash oddiy usulda amalga oshiriladi – ba'zan, kuchaytirgich kirishida, yoki, bevosita birlamchi shovqin manbasida, shovqin darajasining barqarorligiga qat'iy talablar qo'yilganda, kuchayishni avtomatik rostlash zanjirlarini kiritish va birlamchi shovqin manbaini barqarorlashtirish zarur bo'ladi. O'rnatilgan chiqish qarshiliklarida shovqin darajasini kalibrlash xatoliklariga bo'lgan normalar metrologik masala bo'lib hisoblanadi.

Quyida shovqin generatorining funksional sxemasi asosida uning ish tamoyilini qarab chiqamiz. Shovqin generatori turli elementlarga egaligi bilan ajralib turadi, ularga ko'plab talablar o'rnatiladi. Umuman olganda, shovqin generatorlari berilgan chastota diapazonida tekis spektral zinchlikda keng sohali shovqin ishlab berishi va shovqinning chiqish parametrlarining o'zgarmasligini (o'rta quvvatni

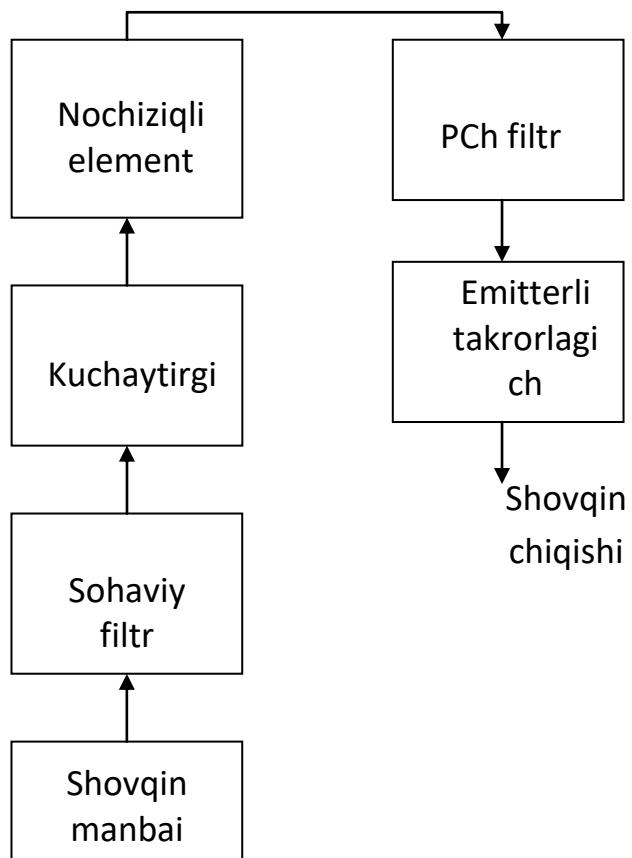
va oniy qiymatlarining taqsimot qonunlari) chiqish quvvatini rostlash va nazorat qilish imkoniyatining mavjudligi talab qilinadi. Sxematik jihatdan qaralsa, shovqin generatorlari 35-rasmida keltirilgan blok sxemaga mos keladi. Shovqinning birlamchi manbalari bo‘lib turli gazorazryadli elementlar bo‘lib hisoblanadi, chunki ular chastotalarning yetarlicha keng sohasida shovqinning yuqori darajasiga ega bo‘ladi. Shakllantiruvchi qurilma yordamida zaruriy chastotalar spektri ajratib olinadi yoki shovqinning bir turi boshqa shovqin turiga o‘zgartirish amalga oshiriladi masalan, tor sohali normal shovqin releyev shovqiniga almashtiriladi. Ushbu maqsadlarda filtrlardan, nochiziqli asboblar va boshqa qurilmalardan foydalaniladi. Agar, shovqin generatori o‘lchash maqsadlariga mo‘ljallangan bo‘lsa, shovqinni chiqish darajasining o‘lchagichiga ega bo‘lgan kalibrlangan bo‘lgich zarur bo‘ladi. Shovqin generatoridan oddiy sharoitlarda foydalanilganida ham imitatsiya maqsadlarida uning tarkibida shovqinning chiqishi darajasini rostlovchi qurilma bo‘lishi kerak. Ma’lumki, shovqin koeffitsiyenti signal manbaining to‘liq chiqish qarshiligiga bog‘liq. Bu qarshilikning ayrim qiymatlarida shovqin koeffitsiyenti minimal qiymatga ega bo‘ladi. Kuchaytirgichlar, chastota o‘zgartkichlar va boshqa qurilmalarni shovqinning minimal koeffitsiyenti bo‘yicha solishtirish uchun signal manbaining chiqish qarshiligining o‘zgartirish imkoniyati bo‘lishi zarur.

Shovqin generatorlarining tasniflanishidan kelib chiqqan holda videochastotali va yuqorichastotali shovqin generatorlarining ish tamoyilini tahlil qilamiz. Videoshovqin generatorlari 5-10 Hz dan 6-10 MHz diapazonda ishlaydi. Ular ko‘pincha birlamchi manba shovqininining bevosita kuchaytirish sxemasi asosida qurilib, turli qo‘sishma quyi va yuqori chastotalarni o‘tkazuvchi filtrlar va zanjirlar bilan to‘ldirilgan bo‘ladi. Generatorning funksional sxemasi 35-rasmida tasvirlangan. Shakllantiruvchi filtrlar chastotaviy xarakteristikalarining shakli, birlamchi manba (uning notekisligini korreksiyalash maqsadlarida) shovqin quvvati spektral zichligining taqsimotini hisobga olgan holda tanlash kerak.

Spektr eltuvchili videoshovqin generatori bajarilishi bo‘yicha qiziqarlidir. Ushbu holda, birlamchi manba sifatida shovqin diodi xizmat qiladi, u yuqori chastotali shovqin beradi, masalan, 60-70 MHz sohada; geterodinlash orqali ushbu soha nolinchı chastotalar sohasiga o‘tkaziladi, keyin, filtrlar va kuchaytirgichlar tizimlari bilan berilgan videoshovqin spektri shakllantiriladi. Tasniflanishiga ko‘ra

pastchastota va infrapast chastotali normal shovqin generatorlari texnikada keng qo'llaniladi. Ko'pincha, generator, noldan 10-20 Hz bo'lgan chastota diapazonida tekis spektr bo'lishi kerak. Infra va pastchastotali shovqinlarni olishning quyidagi usullari ma'lum:

- Shovqinlarni elektroakustik usul bilan bevosita olish.
- Fonogramma usulida spektrni o'tkazish.
- Geterodinlash usuli bilan shovqin spektrini past chastotalar sohasiga o'tkazish.
- Kengsohali shovqinni nochiziqli o'zgartirish usuli bilan shovqin spektrini o'zgartirish.
- Shovqinning boshqa turlarini kombinatsiyalash.
- Ko'proq tarqalgan usul geterodinlash usulidir. Ish mohiyati 35-rasmida tushuntirilgan. Shovqinning keng sohali manbasi tekis spektral zichlikka ega bo'lgan generodinlashtiriladigan signalni olish uchun zarur bo'ladi. Bunday manba bo'lib rezistor yoki shovqin diodi hisoblanadi.
 - Sohaviy kuchaytirgich, chastota o'zgartkichning normal ishlashini ta'minlash uchun, shovqinni yetarli darajada kuchaytirish uchun xizmat qiladi. Buning uchun uning kirishidagi kuchlanish 0.3-0.6 V chegarasida bo'lishi kerak. Undan tashqari, sohaviy kuchaytirgich, kuchaytirgichning soha o'tkazmaydigan qismida yotgan tashkil etuvchilarni filtrlash uchun zarur. Bunda, kuchaytriladigan shovqinlarning spektral xarakteristikasi tekis bo'lishi kerak. Geterodin chastotasi shunday tanlanadiki, ushbu holda, shovqin spektrini nolga yaqin bo'lган chastotalar sohasiga o'tkazish ta'minlanishi kerakligi 36-rasmida ko'rsatilgan. Chastota o'zgartkichi nochiziqli qurilma bo'lib hisoblanadi va uning chiqishida ko'plab kombinatsion chastotalar shakllanadi. Kirish shovqini spektrining o'zgartirilishi natijasida o'zgartirilgan chastotalarning zichlashish qatoriga ega bo'linadi. Sohalardan birining tashkil etuvchilari nolinchi chastota yaqinida, qolganlari esa markaziy chastotaga karrali. Nolinchi chastotalar sohasiga tushib qolgan shovqinning tashkil etuvchilarini ajratish maqsad bo'lib hisoblanadi. Buning uchun chastota o'zgartkichning chiqishidagi shovqin pastchastota filtriga beriladi. Ushbu filtr, alohida chegaraviy chastotalardan yuqori bo'lgan barcha chastotalarni ushlab qoladi va past chastotalarni o'tkazib yuboradi. Geterodin chastotasi barqaror bo'lishi kerak aks holda, filtr chiqishidagi shovqin vaqt bo'yicha statsionar bo'lmaydi.

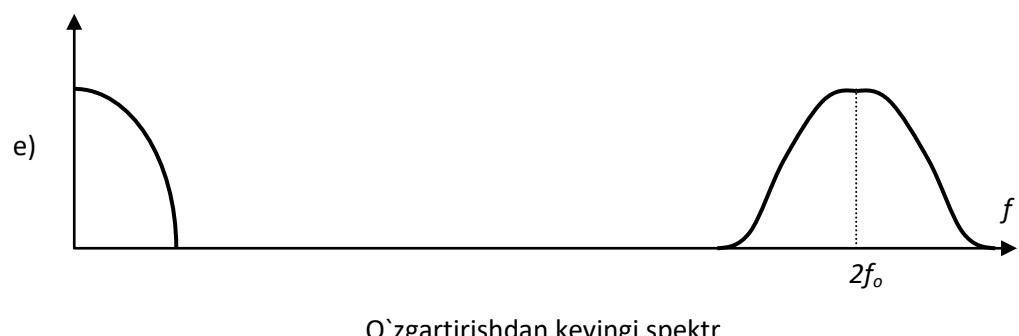
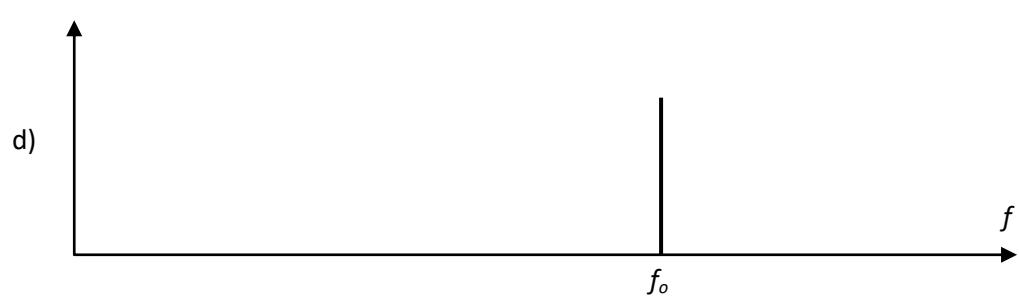
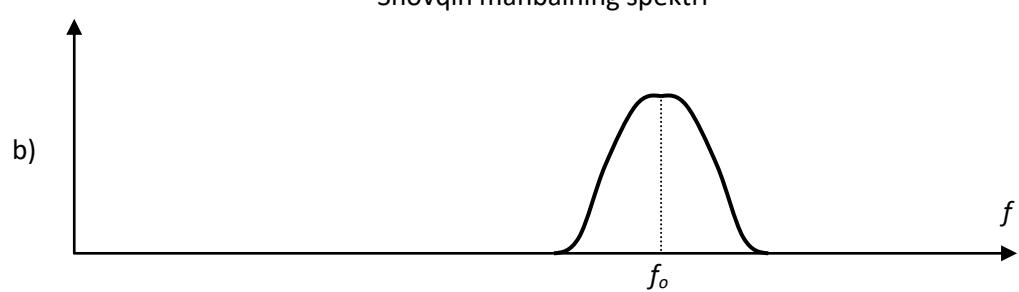
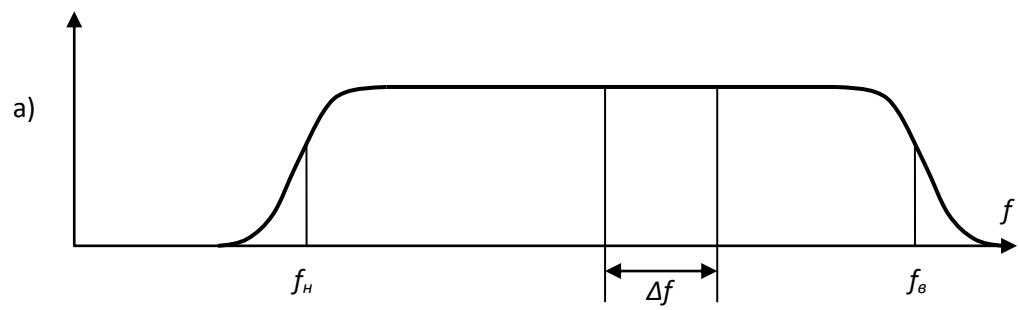


35-rasm. Shovqin generatorining funksional sxemasi

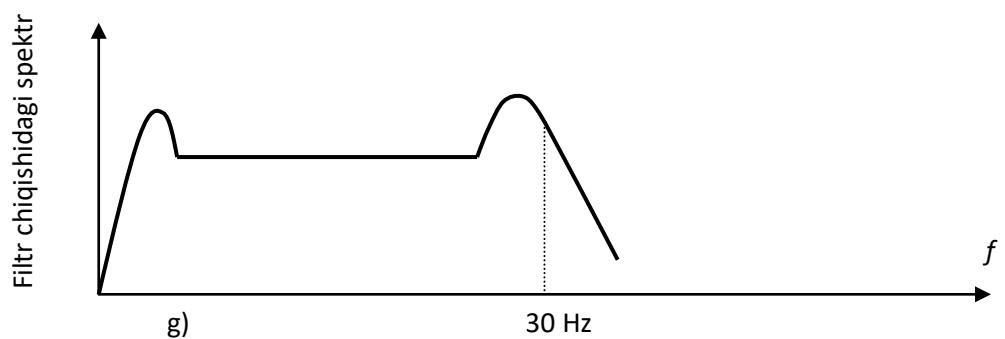
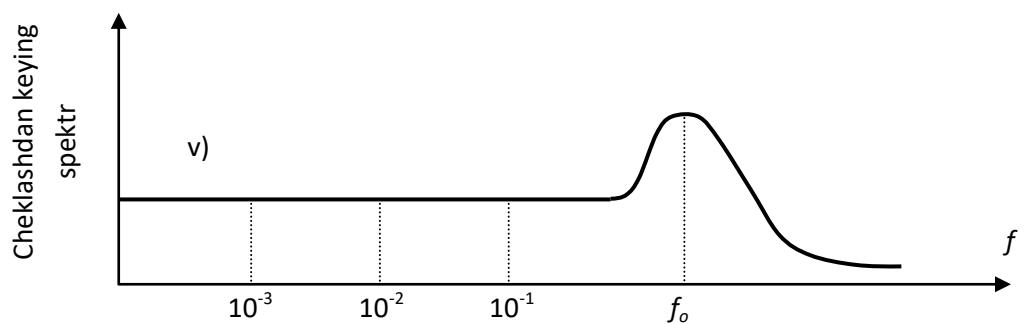
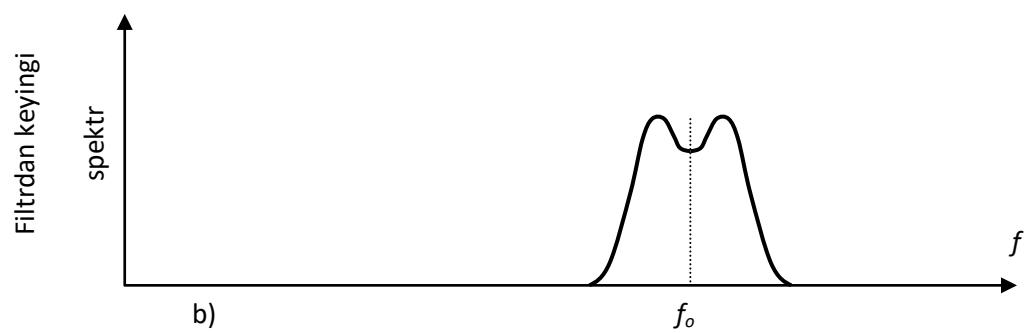
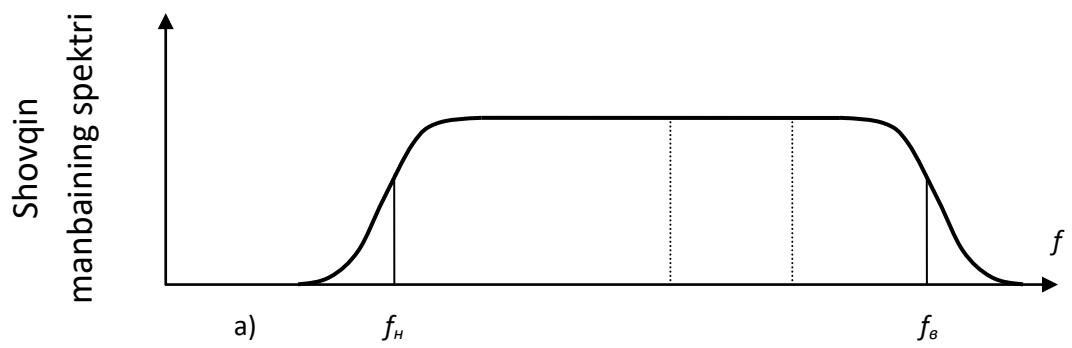
Past chastotali shovqinni generatsiyalash uchun chastota o‘zgartgichidan tashqari boshqa shovqin spektrini o‘zgartiruvchi qurilmalarini qo‘llash mumkin. Bunday qurilma bo‘lib cheklagich bo‘lishi mumkin. Shovqin juda ko‘p sonli turli chastotali va tasodifiy, fazali kichik sinusoidal tebranishlar summasi sifatida qaraladi.

Shovqin chegaralanganda cheklagich chiqishida spektr boyiydi, natijada, spektri nolinchi chastotalar sohasida va kirish chastotasi va spektriga karrali bo‘lgan sohalarda shovqinlar paydo bo‘ladi. Pastchastotali shovqin olish uchun nolinchi chastota atrofidagi spektral sohadan foydalilanildi.

Shovqin quvvatining spektral zichligi berilgan chastotalar sohasida tekis bo‘lgani uchun tepkilar quvvatining spektral zichligi chastotalarning nolinchisigacha bo‘lgan keng sohasida xuddi shunday tekis bo‘ladi. Spektrini nochiziqlilik bilan o‘zgartiruvchi shovqin generatorining sxemasi 36-rasmda, mos diagrammalar 37-rasmda keltirilgan. Oxirgi rasmdan ko‘rinib turibdiki, cheklagich chiqishidagi spektr $f/f_0 < 10^{-1}$ dan past bo‘lgan barcha chastotalarda deyarli tekis bo‘ladi. Shunga ko‘ra, agar, 0-30 Hz sohada tekis spektr olinishi zarur bo‘lsa, u holda, nochiziqli elementga soha filtridan o‘tgan va o‘zining



36-rasm. Past va infrapast chastotali shovqin generatorlari qurilmalarining spektrlari



37-rasm. Shovqin generatorining spektral diagrammalari

tarkibida 200-350 Hz diapazonda tashkil etuvchilariga ega bo‘lgan shovqin kuchlanishi beriladi.

Past chastotalar filtrining chiqishida 0-30 Hz sohada normal spektral zichlikka ega bo‘lgan shovqin kuchlanishi olinadi. Agarda ushbu holda, cheklagichga shunday kattalikdagi kuchlanish berilsaki, uning o‘rta kvadratik qiymati o‘rnatilgan chekhanish ostonasidan bir necha marta ortib ketsa, unda, tor sohali shovqin quvvati o‘zgarmaydi, ya’ni, shovqinning olingan kuchlanishi, agar, kirishdagi shovqin darajasi katta bo‘lmasa chegaralarda o‘zgarsa ham statsionar bo‘ladi.

Amaliyotda, tavsiflangan shovqin generatori kuchaytirgichlarning soni va sozlanishi bo‘yicha spektrni geterodinlashtiruvchi shovqin manbai kabi bo‘ladi. Past va infraqizil chastotalar sohasidagi normal shovqinni undan tashqari shovqin kuchlanishini boshqa taqsimot qonunlari bilan kombinatsiyalab olish mumkin. Masalan, ikkita reley shovqining yig‘indisi normal shovqinga juda yaqin bo‘ladi.

Nazorat savollari

1. O‘ta yuqori chastotali generatorlar qaysi diapazonlarda ishlaydi?
2. Maxsus shaklli signallar generatorlar qanaqa signallarni shakllantiradi?
3. Maxsus shaklli signallar generatorlari nima maqsadda qo‘llaniladi?
4. Shovqin generatorlari nima uchun kerak?
5. Shovqin spektri qanday tashkil etuvchilardan iborat?

13-ma’ruza **Signal shaklini va parametrini tekshirish**

Reja:

1. Umumiy ma'lumotlar.
2. Elektron ossilograf va uning tuzilishi.
3. Ossillograf yordamida chastotani va amplitudani o‘lchash.
4. Chastotani raqamli o‘lchash usuli.

Kalit so‘zlar: elektron ossilograf, strob-impuls, magnitograf, elektrostatik, Lissaju figuralari.

Vaqt bo‘yicha tez o‘zgaradigan elektr jarayonlarni kuzatish, o‘lchash va yozib olish uchun mo‘ljallangan asboblar ossillograflar deyiladi.

Aloqa texnikasida asosan elektron ossillograflardan (EO) keng ko‘lamda foydalaniladi.

EO da o‘lchash qurilmasi elektron nurli trubka bo‘lib, u bir va ikki nurli bo‘lishi mumkin.

EO yordamida yuqori chastota jarayonlari tadqiq qilinadi. Elektr tebranishlarining oniy qiymati ossillograf ekranida kuzatiladi va har bir vaqt momenti uchun bu qiymat ossillogrammadan aniqlanadi.

EO yordamida uzliksiz va impulsli davriy jarayonlarni, elektr tebranishlarining amplituda va davriyligini, kuchlanish va tok egrisi taktini tekshirish tebranishlar chastotasini, fazalar farqini o‘lchash, undan tashqari, turli qurilmalarning amplituda, faza, volt-amper tavsiflarini o‘rganish mumkin.

EO universal o‘lchash asbobidir.

Ba’zan, kamroq hollarda elektr jarayonlarni magnit tashuvchiga yozib olish talab etiladi va bu ishni amalga oshiruvchi asbob va qurilmalar o‘lchov magnitofonlari yoki magnitograf deyiladi.

EO - quyidagi umumiyligida bo‘lgan texnik m’lumotlar bilan tavsiflanadi.

- ekran o‘lchami;
- kanallar sezgirligi;
- tekshirilayotgan signalning maksimal kuchlanishi;
- kirish qarshiligi va kirish sig,,imi;
- tekshirilayotgan signallarning buzilishi;
- yoyma turlari;
- amplituda o‘lchash xatoligi;
- vaqt intervalini o‘lchash xatoligi.
- quyidagi asosiy talablar qo‘yiladi:
- ravshanligi va tasvir aniqligi yaxshi bo‘lishi va ossillogrammalar turg‘un bo‘lishi kerak.

O‘lhashlar texnikasida asosan EO larning 4 xil turidan foydalaniladi:

C1 – universal;

C7 - tezkor va stroboskopik;

C8 - eslab qoluvchi;

C9 - maxsus ossillograflar.

C1 – tipdagi EO dan amaliyotda keng foydalaniladi, uning ishlash diapazoni 300-500 MGs. Ko‘p funksiyali EO lar ham universal ossillograflar turiga kiradi.

C7-tipdagi EO da signal tasviri S1 kabi olinadi va maxsus kuchaytirish qurilmalari va tezkor elektron nur trubkalarning qo‘llanilishi sababli ularning chastota diapazoni 2 GGs gacha kengaygan.

Stroboskopik ossillograflarda signal tasviri diskret tashkil etuvchilarning birlashuvi asosida olinadi. Stroboskopik o‘zgarishlar natijasida ekranda davriy ravishda takrorlanuvchi signal shakli keng vaqt masshtabida ko‘rinadi. Bu turdagи elektron nur ossillograflarda 8-26 GGs mashtablar diapazonida bo‘lgan signallar kuzatiladi.

C8 turdagи eslab qoluvchi EO ning maxsus elektron nur trubkasi ekranida ma’lum vaqt intervalida yozib olingan signal qayta ko‘rinadi.

C9 turdagи EO da elektron nur trubka o‘rnida maxsus diskret matritsali ekranlardan foydalaniladi.

EO foydalanish ko‘lamiga ko‘ra quyidagilarga bo‘linadi.

1. Ko‘p funksiyali: C1-70; C1-74; C1-91;
2. Keng sohali: C1-75; C1-92; C1-97;
3. Ikki nurli: C1-55; C1-69; C1-74.

EOda tekshirilayotgan jarayon ossillograf ekranida to‘g‘ri chiziq yoki shakl ko‘rinishda chiziladi va ular ikkita kattalik orasidagi funksional bog‘lanishni ifodalaydi.

Ma’lumki, vaqtga bog‘liqlik eng ko‘p tarqalgan bog‘lanishdir. EO asosan bir xil bloklardan tashkil topgan har qanday ossillograf elektron nur trubkasidan, ikkita elektr kanalidan iborat bo‘lib, ularga nurni gorizontal va vertikal bo‘yicha og‘diruvchi kuchlanish beriladi. Vertikal bo‘yicha og‘diruvchi kanal va uning elementlari «U» bilan, gorizontal og‘diruvchi kanal esa «X» orqali belgilanadi.

Masalan, «Vxod U», «Usilitel X», «Plastina U» va h.k.

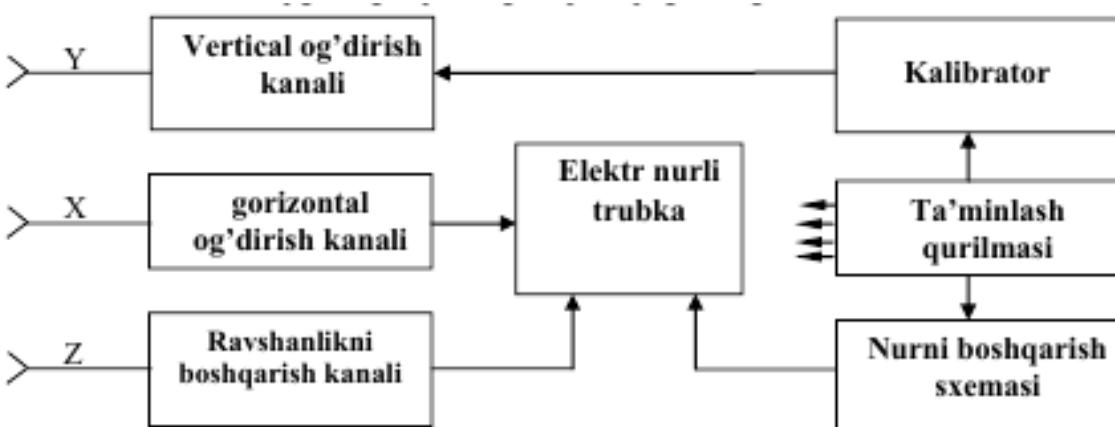
Ikki nurli ossillograflarda har xil nur uchun alohida vertikal og‘dirish kanali va bitta gorizontal og‘dirish umumiyligi kanalga ega bo‘ladi.

Quyida EO umumlashtirilgan chizmasini qaraymiz.

Elektron nur trubkasida (ENT) nur elektrostatik usulda og‘diriladi. U shishali ballon bo‘lib, yuqori vakuumli bo‘ladi, ichida elektron projektorlar, tezlashtiruvchi linzalar va ikkita o‘zaro perpendikulyar joylashgan plastinalar jufti joylashgan. Ossillografik trubka ekranida kuchlanishning tasvirini olish

quyidagicha bo‘ladi: tekshirilayotgan signal vaqtning funksiyasi bo‘lib $U = f(t)$ grafik bilan to‘g‘ri burchakli koordinatalarda aks ettiriladi.

ENTsi plastinalar jufti elektron nurni ikki o‘zaro perpendikulyar yo‘nalish bo‘yicha og‘diradi, ularni koordinata o‘qi sifatida qarash mumkin. Shunga ko‘ra, ENTsi ekranida tekshirilayotgan kuchlanishni kuzatish uchun nur gorizontal o‘q bo‘yicha vaqtga proporsional ravishda, vertikal o‘q bo‘yicha esa vaqtning har bir momenti uchun tekshirilayotgan kuchlanishga proporsional holda og‘diriladi. Ushbu maqsadni amalga oshirish uchun gorizontal og‘dirish plastinalariga arrasimon kuchlanish keltiriladi. Arrasimon kuchlanish nurni gorizontal o‘q bo‘yicha doimiy tezlik bilan chapdan o‘ngga ko‘chiradi va zudlik bilan orqaga qaytadi.



38-rasm. Elektron ossillografning umumlashtirilgan chizmasi

Nurning gorizontal o‘q bo‘yicha bosib o‘tgan masofasi vaqtga proporsional bo‘ladi.

Tekshirilayotgan signal vertikal og‘dirish plastinalariga beriladi. Nurning har bir vaqt momenti uchun bo‘lgan holati tadqiq qilinayotgan signalning shu momentdagi qiymatiga mos tushadi. Ekranda kuzatiladigan tasvir ossillogramma deyiladi.

Ossillograf ekranida tasvir olish jarayonini qarab chiqamiz. Tadqiq qilinayotgan I_s – signal kuchlanishi « U » og‘diruvchi plastinalarga uzatiladi. « X » va « U » plastinalararo o‘tuvchi fokuslangan nur Iyo va I_s – kuchlanishlar ta’sirida qo‘yilgan kuchlanish shaklini takrorlaydi.

Quyidagi rasmda sinusoidal shakldagi I_s – kuchlanish tasvirini olish ko‘rsatilgan.

Agar Ts – signal davri Tyo – yoyma davridan n marta katta bo‘lsa, ekranda tekshirilayotgan signaling n ta davri akslanadi.

Lissaju shakllari – bir vaqtning o‘zida ikkita o‘zaro perpendikulyar yo‘nalishda ikkita garmonik tebranishni amalgalash oshiruvchi nuqta ustidan chizilgan yopiq egri chiziqlardir. Ilk bor fransuz olimi J. Lissaju tomonidan o‘rganilgan. Lissaju shakllarining ko‘rinishi ikki tebranish davri (chastotasi), fazasi va amplitudasi orasidagi munosabatga bog‘liq. Eng sodda holatda, Lissaju shaklining davrlari teng bo‘lganda ellipslar yuzaga keladi, fazalar farqi 0 yoki π bo‘lganda to‘g‘ri chiziq shaklida bo‘lib, fazalar farqi $\pi/2$ va amplitudalar teng bo‘lganda doiraga aylanadi. Agar ikki tebranish davrlari mos kelmasa, fazalar farqi doim o‘zgarib turadi va natijada ellips shakli o‘zgaraveradi.

Ikki signal davrlarida farq katta bo‘lsa, Lissaju shakllari kuzatilmaydi. Biroq agar davrlar nisbati butun son bo‘lsa, ikkala davrning eng kichik karralisiga teng vaqt intervalidan so‘ng harakatdagi nuqta o‘z holatiga yana qaytadi – murakkabroq ko‘rinishdagi Lissaju shakllari yuzaga keladi.

O‘lchashlarda noma’lum f_y chastotani ma’lum f_0 chastota bilan taqqoslanadi. O‘lchanayotgan chastota ossillograf kirish yo‘liga uzatilib, namunaviy generatorning ma’lum chastotasi ma’lum chastotasi shunday rostlanadiki, ossillograf ekranida oddiy shakl paydo bo‘ladi. Misolni 39-rasmida ko‘rish mumkin. Lissaju shakllarining ko‘rinishi chastotalar m/n nisbati va taqqoslana-yotgan tebranishlar boshlang‘ich fazalariga bog‘liq.

Ikki garmonik tebranish chastotalari nisbati Lissaju shaklining vertikal bo‘yicha kesishuv nuqtalari m sonining gorizontal kesishuv nuqtalar n soniga nisbati sifatida ifodalash mumkin. Misol uchun, 40-rasmdagi ossillogrammalarda bu nisbat $f_0/f_y = m/n = 2/4 = 1/2$ tengligini ko‘rish mumkin. Bundan o‘lchanayotgan chastota $f_y = 2f_0$ ekanligi kelib chiqadi.

Bu usulning aniqligi nisbatan yuqori bo‘lib, namunaviy generatorning barqarorligi bilan aniqlanadi, lekin bu kabi shakllarni olish va kuzatish qiyin vazifadir.

Chastota doiraviy yoyma usulida o‘lchashda usulni qo‘llash uchun, o‘lchanayotgan noma’lum f_x chastota namunaviy f_0 dan bir necha marta katta bo‘lishi kerak.

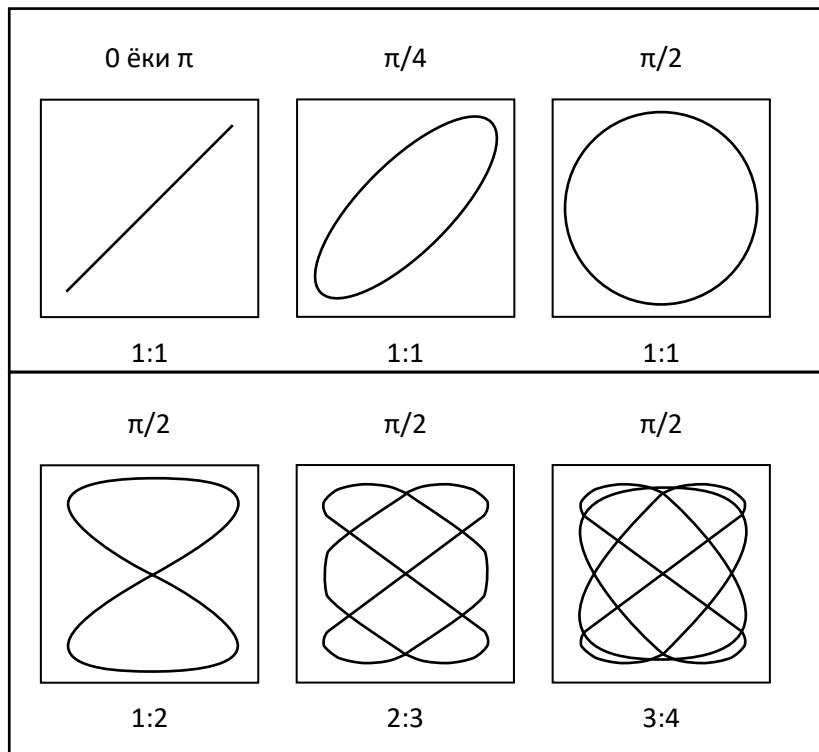
Ossillografning Y va X kirish yo‘liga f_0 namunaviy chastotaning garmonik signallari faza bo‘yicha 90° ga siljutilgan holda kirib keladi.

Ossillografning nur ravshanligi modulyatsiyasining Z kirish yo‘liga o‘lchanadigan f_x chastotali garmonik signal uzatilsa va muayyan chegaralarda f_0 namunaviy chastota rostlab turilsa, ravshanlik bo‘yicha modullangan deyarli harakatsiz doiraviy yoyilma hosil qilish mumkin (41-rasm).

Agar T doiraviy yoyilmadagi ravshan yoyslar (yoki yoyslar orasidagi qorong‘i oraliqlar) soni bo‘lsa, unda chastota $f_x = N f_0$.

Ossillografik metodlarda aniqlik yuqori emas (o‘lchashlar nisbiy xatoligi 0,1-0,5). O‘lchanadigan chastotalar diapazonining yuqori chegarasi ossillograf parametrlariga bog‘liq bo‘lib, odatda, 500 MGsdan oshmaydi.

Raqamlı chastotomerning ishlash tamoyili chastotaning ta’rifidan kelib chiqadi, ya’ni vaqt oralig‘ida impulslar sonini sanashdan iborat. Bu asboblar ishlatishga qulay, keng diapazondagi chastotalarni o‘lchaydi (bir necha Gersdan yuzlab megagersgacha) va yuqori aniqlikdagi natijalar oladi (nisbiy xatoligi 10^{-6} - 10^{-9}).



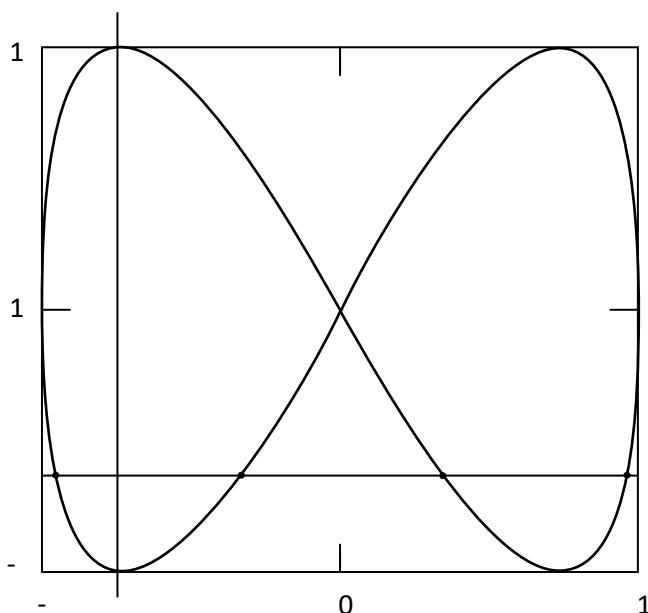
39 - rasm. Lissaju ayrim shakllarining ko‘rinishlari

Raqamlı chastotomerlar ko‘p funksiyali o‘lchash asboblari bo‘lganligi sababli, ularning ishlash tartibiga qarab, faqatgina chastota yoki ikki chastota nisbatini emas, balki vaqt intervallarini (davriy

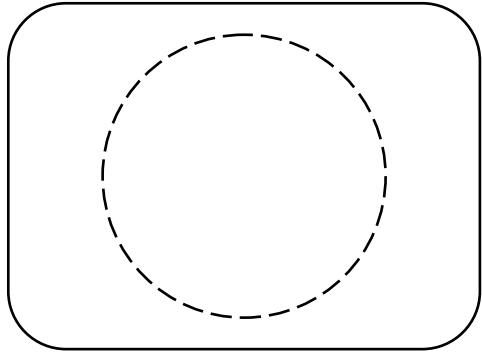
signallar ketma-ketlik davri va ikki impulsning vaqtdagi holatida belgilangan interval) ham o'lhash mumkin.

Garmonik signal chastotasini raqamli usulda o'lhash prinsipi 42-rasmida keltirilgan. Kirish qurilmasi KQ kelgan signalni kerakli qiymatga kuchaytiradi yoki susaytiradi (42, a-rasm). KQdan chiqqan garmonik u_1 signal (42, b-rasm) impuls shakllantirgich ISHga keladi. ISH uni birqutbli qisqa impulslar u_1 ketma-ketligiga aylantiradi, ketma-ketlik davri $T_x = 1/f_x$ bo'lib, sanoqli deb ataladi. Bu impulsarning oldingi frontlari u_1 signalning vaqt o'qida nolinch qiymatdan o'tish momentlariga deyarli mos tushadi. Impuls shakllantirgich kuchaytirgich-cheklagich va komparator (Shmitt triggeri) dan iborat.

u_2 sanoq impulsleri VS vaqt selektorining kirish yo'llaridan biriga kirib keladi. Uning ikkinchi kirish yo'liga SHBQ shakllantirish va boshqarish qurilmasidan keladigan to'g'ri burchak shaklidagi va kalibrangan $T_0 > T_x$ davomiylikdagi u_3 strob-impuls kiradi. T_0 vaqt intervali sanoq vaqt deb ataladi. Vaqt selektori u_3 strob-impulsi bilan ochiladi va butun muddati davomida HS hisoblagichning kirish yo'liga bir nechta u_2 impulslar guruhi (paket) ni o'tkazadi. Natijada, vaqt selektoridan hisoblagichga N_x ta u_4 impulsarning paketi kelib tushadi. T_0 strob-impulsning vaqt darvozalariga keladigan birinchi u_2 sanoq impulsi ularning frontiga nisbatan Δt_n vaqtga kechikadi, darvozalar kesimi va ungacha paydo bo'lgan oxirgi sanoq impulsini Δt_k intervali ajratib turadi.



40 - rasm. Ikkita signal chastotalarining nisbatini aniqlash



41- rasm. Ravshanlik bo‘yicha modulyatsiyalanuvchi doiraviy yoyma

42, b-rasmdan kelib chiqadiki,

$$T_0 = N_x T_x - \Delta t_n + \Delta t_k = N_x T_x - \Delta t_d , \quad (56)$$

bunda, Δt_n va $\Delta t_k - T_0$ intervali boshi va oxirining tasodifiy metodik diskretlash absolyut xatoliklaridir. Ular strob-impulsning u_2 sanoq impulslariga nisbatan tasodifiy joylashuvidan kelib chiqadi, chunki strob-impuls va sanoq impulslari sinxronlanmagan; $\Delta t_d = \Delta t_n - \Delta t_k$ – diskretlashning umumiy absolyut xatoligi.

(56) formuladan bilish mumkinki, paketdagi impulslar soni $N_x = T_0 / T_x = T_0 f_x$ va natijada o‘lchanayotgan chastota hisoblagichga kelayotgan sanoq impulslar soniga proporsionaldir

$$f_x = N_x / T_0 . \quad (57)$$

Strob-impulsnii shakllantirish uchun SHBQga sxemadan T_0 davrli qisqa impulslar keladi. Sxema tarkibiga namunaviy chastotaning kvarsli generatori va impulslar ketma-ketligining DCHB dekadli chastota bo‘lgichi kiradi (42-rasmida ko‘rsatilmagan).

DCHB chiqishidagi impulslar davri va strob-impuls muddati teng: $T_0 = K_d / f_{kv}$. Shu sababli (57) formulani quyidagicha yozish qulayroq:

$$f_x = N_x f_{kv} / K_d . \quad (58)$$

Diskretli tarzda f_{kv}/K_d nisbatini o‘zgartirish uchun K_d ni variatsiyalash, ya’ni DChB dekadalarini sonini o‘zgartirish mumkin.

Hisoblagich N_x impulslar sonini sanaydi va tegishli kodni RSQ raqamli sanoq qurilmasiga beradi. f_{kv}/K_d nisbati 10^n GS ga teng qilib

olinadi, bu yerda, n – butun son. Bunda RSQ o‘lchanayotgan f_x chastotaga mos keluvchi N_x sonni tanlangan birlikda ko‘rsatadi. Masalan: K_d ni o‘zgartirish hisobiga $n=6$ koeffitsiyent tanlansa, RSQda ko‘rinadigan N_x soni megagersda ifodalangan f_x chastotasiga mos keladi. O‘lchash boshlanishidan oldin SHBQ hisoblash ko‘rsatkichlarini nol qilib qo‘yadi.

O‘lchash xatoligining sistematik tashkil etuvchisi hosil bo‘lishiga asosiy sabab kvarsli generator f_{kv} chastotasining uzoq muddat nostabil bo‘lishidir. Uni kamaytirish uchun kvars termostatlanadi yoki kvarsli generatorda termokompensatsiyali elementlar qo‘llanadi. Bunda chastotaning nisbiy o‘zgarishi (nisbiy xatolik) sutkada $\delta_{kv} = 5 \cdot 10^{-9}$ dan oshmaydi. f_{kv} chastotaning nominal qiymati noto‘g‘ri qo‘yilganidan kelib chiqadigan xatolikni kamaytirish uchun chastota etalon qiymatlarining radiodan uzatiladigan signallariga qarab kvarsli generator kalibrланади.

Kvarsli generator kalibrovkasining nisbiy xatoligi $(1-5) \cdot 10^{-10}$ dan oshmaydi. Ko‘pincha chastotani kerakli barqarorlikka keltirish uchun kvarsli generator sxemasiga chastotani fazali avtoto‘g‘rilash (ChFAT) sistemasi kiritiladi.

O‘lchash xatoligining tasodifiy tashkil etuvchisi diskretlash Δt_d xatoligi bilan aniqlanadi. Strob-impuls va sanoq impulslari o‘zaro sinxronlanmaydi. Shu sababli, 42,b-rasmida strob-impuls boshi va oxirining ikki qo‘shni sanoq impulslari orasidagi joylashuvini aniqlovchi Δt_n va Δt_k xatoliklar bir xil ehtimolli vaqtida noldan T_x -gacha qiymat qabul qilishi mumkin. Shuning uchun Δt_n va Δt_k xatoliklar tasodifiy bo‘lib, qonuniyat bo‘yicha tekis taqsimlangan. Bu xatoliklar mustaqil bo‘lganligi uchun, diskretlash umumiy Δt_d xatoligi $\pm T_0$ chegaraviy qiymatlar bilan uchburchaklik qonuniga ko‘ra taqsimlangan.

Hisoblash vaqt间隔ining boshi va oxirini diskretlashning maksimal $\Delta t_d = \pm T_0$ xatoligini sanoq impulslari N_x sonini ± 1 impulsiga ekvivalent tasodifiy o‘zgartirish orqali hisobga olish qulayroq.

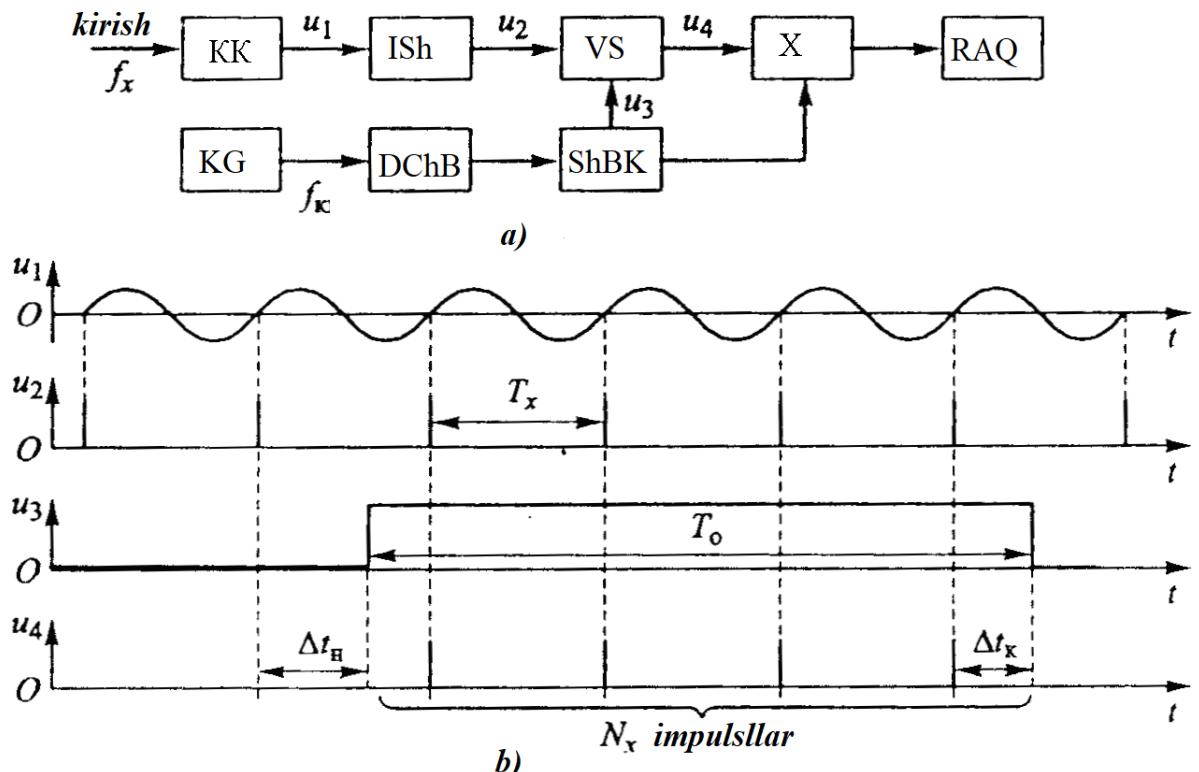
Raqamli chastotomerning chastota o‘lchash yig‘indi nisbiy xatoligi foizlarda normalanadi va ushbu formula bilan aniqlanadi:

$$\delta_{fx} = \pm 100 \left(\delta_{kv} + \frac{1}{T_0 f_x} \right). \quad (59)$$

Bu formulaga ko‘ra, o‘lchanayotgan chastota kamaygan sari xatolik oshadi. Chastota juda kam bo‘lsa, hatto hisoblash maksimal T_0 vaqtida ham xatolik yo‘l qo‘yiladigan qiymatdan oshib ketishi mumkin. Maksimal vaqt raqamli chastotomerlarda 1 yoki 10 sekunddan oshmaydi. Bunday holda oldin T_0 davrni o‘lchab, keyin chastotani $f_x = 1/T_x$ formulasi bilan hisoblab chiqarish maqsadga muvofiq.

Raqamli chastotomerlar o‘lchaydigan chastotalar diapazoni pastdan diskretlash xatoligi, yuqoridan hisoblagichlar va chastota bo‘lgichlarning ishlash tizimi bilan chegaralangan. Yuqori chegara 500 MGsgacha boradi va uni past chastotalar sohasiga geterodin o‘zgartirish usuli orqali kengaytiriladi.

Zamonaviy raqamli chastotomerlarda chastotalar kvarsli sintezatori keng qo‘llanadi, ular chastotalar diskretli to‘ridan iborat signallar yaratadi. Dasturiy boshqariladigan chastota sintezatorlari va mikroprosessorga ega raqamli chastotomerlar yuqori aniqligi, o‘lchaydigan chastotalar diapazoni kengligi, ishonchliligi va avtomatlashgan o‘lchash tizimlariga qo‘sish qulayligi tufayli istiqbolli o‘lchash asboblari bo‘lib hisoblanadi.



42-rasm. Raqamli chastotomer:
a – tuzilmaviy sxemasi; b – vaqt diagrammalari.

Elektron-hisobli chastotomer davriy tebranishlarning chastotasini va takrorlanuvchi signallarning xarakterli oniy qiymatlari orasidagi intervallarni o‘lchaydi. Ular ikkita taqqoslanuvchi chastotalar nisbatini o‘lchashi impulslar hisoblagichi rolini bajarishi, chastota bo‘lgich va barqaror chastotali kuchlanish manbai sifatida qo‘llanilishi mumkin. Elektron-hisobli chastotomerlar qo‘srimcha qurilmalar bilan ishlatilganda ularning imkoniyatlari ortadi. Keng sohali kuchaytirgichlar bilan ishlatilganda asbobning sezgirligi ortadi. Kuchlanishni chastotaga o‘zgartkichlar esa elektron-hisobli chastotomerni raqamli voltmetrga, chastota o‘zgartkichlar esa uning chastota diapazonini kengaytiradi. Elektron-hisobli chastotomerlarning universalligi va o‘lchashning yuqori aniqligi bu o‘lchagichlarning istiqbolli ekanligini ko‘rsatadi.

Elektron-hisobli chastotomerning ish tamoyili vaqt intervalidagi impulslar sonini sanashga asoslangan. Chastotasi o‘lchanishi kerak bo‘lgan f_x o‘zgaruvchan kuchlanish chastotasi f_x teng bo‘lgan qisqa impulslar ketma-ketligiga aylantiriladi.

Agar T_x vaqt intervalidagi N impulslar soni hisoblansa, unda chastota

$$f_x = N / T_x . \quad (60)$$

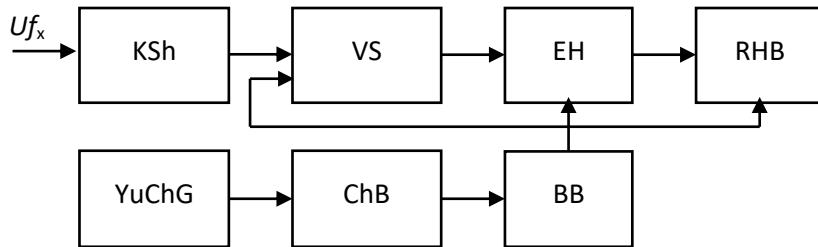
Elektron-hisobli chastotomerning struktura chizmasi 43-rasmda keltirilgan.

f_x chastotali signal kuchaytirgich-shakllantirgichga kiradi va chastotasi o‘lchanayotgan sinussimon kuchlanish bir qutbli impulslar ketma-ketligiga aylantiriladi. Bu impulslar ketma-ketligining chastotasi impulslar vaqt selektorining 1-kirishiga uzatiladi. Selektorning 2-kirishiga qat’iy aniq davomiylikdagi T_x impulsi kiradi. Bu impulsning davomiyligi bo‘lish koeffitsiyenti 10^n chastota bo‘lgichli yuqori chastota generatoridan beriladi.

Kvars stabilizatsiyali generatoring chastotasi T_{kv} 1 yoki 0,3 mks ga teng. Hisob vaqtining bunday davomiyligida f_{kv} teng yoki kichik bo‘lgan chastotani o‘lchash mumkin emas. Shunga ko‘ra, kvars generatoridan keyin chastotani dekadalash bo‘lgichlari ulanadi. Ularning chiqishida 10^n ($n = 1, 2, 3, \dots 7$) marta generator chastotasidan past bo‘lgan chastotalar hosil qilinadi, ya’ni 100, 10 va 1 kHz, 100, 10, 1 va 0,1 Hz. Shunga ko‘ra, hisob vaqtini aniqlovchi impulsning davomiyligini 10^{-5} dan 10 s pog‘onada o‘rnatish mumkin. Bunda o‘lchanayotgan chastota ifodadan aniqlanadi:

$$f_x = N \cdot 10^{-n} \cdot f_{kv}. \quad (61)$$

Davomiyligi $T_x = 10^n / f_{kv}$ (61) bo‘lgan impuls boshqarish blokida shakllantiriladi.



43-rasm. Elektron-hisobli chastotomerning struktura chizmasi:

- 1 – kuchaytirgich shakllantirgich (KSh);
- 2 – vaqt selektori (VS);
- 3 – elektron hisoblagich (EH);
- 4 – raqamli hisoblash qurilmasi (RHQ);
- 5 – yuqori chastota generatori (YuChG);
- 6 – chastota bo‘lgich (ChB);
- 7 – boshqarish bloki (BB).

O‘lchanayotgan chastotali impulslar elektron hisoblagichga selektorning 2-kirishiga T_{his} davomiylikli impuls qo‘yilgandagina o‘tadi. Hisoblagich chiqishidan N impulslar soni to‘g‘risidagi axborot, ikkilik kod ko‘rinishida deshifrator orqali raqamli hisob qurilmasi (tablo)ga uzatiladi va o‘lchash natijalari chastotaning o‘lchov birliklarida raqamli ko‘rinishda qayd qilinadi. O‘lchashlar boshqarish bloki o‘rnatgan takrorlanuvchi sikllar bilan amalga oshiriladi.

Bir vaqtning o‘zida boshqaruvchi qurilma vaqt selektoriga ta’sir ko‘rsatib, raqamli indikator ko‘rsatishlarini avtomatik holda tashlab yuborish uchun hamda deshifrator va chastota bo‘lgichni boshlang‘ich holatga keltirish uchun impulslar uzatiladi.

Operator raqamli tablo bo‘yicha ko‘rsatishlar hisobini amalga oshira olishi uchun boshqaruvchi qurilmada vaqt selektorini ayrim vaqt intervaliga blokirovkalash orqali ushbu vaqt intervalida tablo ko‘rsatishlarning saqlanishi nazarda tutilgan. Bu vaqt oralig‘i indikatsiya vaqtini deyiladi va operator tomonidan bir necha sekund chegarasida rostlanishi mumkin.

Chastota o‘lchagichda o‘lchashning avtomatik va qo‘l rejimi mavjud. Avtomatik rejimda har safar impulslar sanog‘i o‘rnatilgan

vaqt indikatsiyasi tugashi bilan takrorlanadi. Qo‘l bilan boshqarish rejimida tugmaga bosilganda hisob bir marta bajariladi va bunda indikatsiya vaqt cheklanmaydi. Elektron-hisobli chastota o‘lchagichning nisbiy xatoligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\delta = \delta_0 + \delta_{\text{nob}} + 1 / f_x T_{\text{his}}, \quad (62)$$

bu yerda, δ_0 – kvars generatori chastota o‘rnatalishining nisbiy xatoligi; δ_{nob} – kvars generatorining nobarqarorligi yuzaga keltirgan nisbiy xatolik;

$1 / f_x T_{\text{his}}$ – bu T_x – davr va T_{his} – hisob vaqtining nobarqarorligidan paydo bo‘lgan nisbiy xatolik.

Xatolikning bu oxirgi tashkil etuvchisi shunday baholanadiki, T_x davr va T_{his} – hisob vaqtidan impulslar sanog‘i ± 1 impuls aniqligi bilan amalga oshirilishi mumkin. Lekin unda $1/N = 1/f_x T_{\text{his}}$.

Hozirgi zamon elektron-hisobli chastota o‘lchagichlarida δ_0 va δ_{nob} taxminan $1 \cdot 10^{-8}$ va undan kamroq va texnik o‘lchashlarda hisobga olinmasligi mumkin. Xatolikning tashkil etuvchilari $1/f_x T_{\text{his}}$ o‘lchanayotgan chastotaga va hisob vaqtiga bog‘liq. 3-jadvalda bu tashkil etuvchi qiymatining turli chastotalar uchun vaqtga bog‘liqligi keltirilgan.

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, elektron-hisobli chastotomerlarning past chastotalarni o‘lchash uchun qo‘llanilishi maqsadga muvofiq emas. Chunki o‘lchash xatoliklari juda yuqori. Past chastotalarni o‘lchash xatoligi me’yor darajasida bo‘lishligi uchun davnini o‘lchashga o‘tish zarur.

4-jadval

O‘lchash vaqt T_{his} s	Xatolik $1 / f_x T_{\text{his}}$		
	0,1 Hz	100 Hz	100 kHz
10^{-3}	10^3	1	10^{-3}
10^{-1}	10^3	10^{-1}	10^{-4}
1	10	10^{-3}	10^{-3}

Nazorat savollari

1. Elektron ossillograf signalning qaysi parametrlarini o‘lchashda ishlataladi?
2. Raqamli chastotomerning ishi va o‘lchash aniqligi qanday?

3. Elektron hisobli chastotomerning ishini tavsiflang.
4. Chastotani o'lhash usullarini sanab bering.
5. Chastotani o'lhashning ossillografik usullari va uslubiy xatoliklar hisobini keltiring.

14-ma'ruza

Faza siljishini o'lhash

Reja:

1. Fazametrlar va ularning turlari.
2. Bevosita ko'rsatuvchi fazametrlar.
3. Ossillograf yordamida faza siljishi burchagini o'lhash.
4. Raqamli fazametrlar.

Kalit so'zlar: trakt, faza, fazaviy siljish, diskret, vaqt selektori.

Aloqa, liniya va traktlarning elementlari va apparatura bog'lamalarining fazaviy parametrlari muhim ahamiyatga ega, chunki signallarni aniq takrorlash uchun barcha uzatilayotgan chastotalar teng vaqt oralig'ida tarqatilishi zarur. Bu ayniqsa, diskret ma'lumot va televizion signallarni uzatishda, bundan tashqari, turidan qat'i nazar barcha signallarni uzoq masofaga uzatishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Sinussimon signalning zanjir bo'ylab tarqalish vaqtini t_{tar} ga teng bo'lsa, bu vaqt ichida faza signali o'zgaradigan φ_a absolyut faza burchagi $\varphi_a = \omega t_{tar}$ ga teng. *Nisbiy fazaviy siljish* deb $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ ga teng bo'lgan kattalikka aytildi, bu yerda φ_2 – sinussimon signalning o'lchanayotgan sistema chiqishidagi fazasidir. φ_1 – sistema kirishidagi faza (bu signal odatda tayanch signali deb ataladi va $\varphi_1=0$ deb olinadi).

Ko'p chastotali signallarning fazaviy buzilishlari odatda kechikishning absolyut guruhiy vaqtiga chastotaviy bog'liqdir. Bu vaqt $\omega: t_{a.gr} = d\varphi/d\omega = t_{tar} + \omega(dt_{tar}/d\omega)$ doiraviy chastota bo'ylab φ fazaviy siljishning hosilasi orqali aniqlanadi. Bundan kelib chiqadiki, kechikishning absolyut guruhiy vaqtini t_{tar} bilan ma'lum kattalikning yig'indisiga teng. Bu kattalik fazaning chastota bilan kechikishi o'zgarishini hisobga oladi. Agar t_{tar} chastotaga bog'liq bo'lmasa, unda $\tau_{a.gr} = t_{tar}$. Kechikishning guruhiy vaqtini o'lhash amaliyotida chastota

va fazaning cheksiz orttirmalari nisbatan kichik yakuniy orttirmalarga almashinadi: $t_{gr} = \Delta\varphi / \Delta\omega = (\varphi'' - \varphi') / (\omega'' - \omega')$. (bu yerda φ'' va φ' - ω'' va ω' chastotalardagi faza siljishlari). t_{gr} kattaligi kechikishning nisbiy guruhiy vaqt deb ataladi. U haqiqiy (absolyut) $t_{a.gr}$ kattalikdan $2 k\pi / \omega$ kattalikka farq qilishi mumkin. t_{gr} ning chastota o‘zgarishi bilan beqarorligi (faza siljishi chastotaviy xarakteristikasining chiziqlilikdan og‘ishi)ni t_{gr} xarakteristikasining buzilishi yoki fazaviy buzilish deb ataladi.

To‘rtqutblilar, aloqa qurilmalarining bog‘lama va elementlari, elektron sxemalar va boshqalarni o‘rganishda odatda fazaviy siljishlar va ularning chastota xarakteristikalari o‘lchanadi. Kuchlanish va tok orasidagi fazaviy siljishni o‘lhash orqali kuch zanjirlaridagi quvvat koeffitsiyentini baholash mumkin. Ishlab turgan magistrallarda va aloqa qurilmalarini sinashda odatda kechikishning guruhiy vaqt va qurilmaning chastotaviy xarakteristikalari o‘lchanadi. Tonal chastotali kanallarda t_{gr} ning 1000 Gs chastotaga nisbatan notejislik qiymati normalanadi, keng polosali kanallarda esa kanalning o‘rtacha chastotasiga nisbatan normalanadi. Shu tarzda, aloqa qurilmalarida qaysidir ω chastotada signalning ω_0 tayanch chastotaga nisbatan kechikishi o‘lchanadi. Shu sababli tarqalishning nisbiy vaqt bo‘lgan t_{gr} ni haqli ravishda kechikishning guruhiy vaqt deb ataladi.

Fazaviy siljishni o‘lhashning quyidagi usullari mavjud: ossillografik usul, yig‘indi va ayirmali kuchlanishlarni o‘lhash usuli, fazaviy siljishni impulslar oralig‘idagi vaqt intervaliga almashtirish usuli, taqqoslash va kompensatsiya usullari, chastotani almashtirish usuli va kirish qarshiliklarini o‘lhashga asoslangan usullar mavjud.

Amaliyotda asosiy chastota bo‘ylab ikki davriy impulsli kuchlanish orasidagi “faza siljishi” tushunchasiga duch kelish mumkin. Bu farq o‘rganilayotgan kuchlanishlar impulsleri orasidagi nisbiy vaqtinchalik siljish bilan aniqlanadi: $\varphi = 360^\circ \Delta t / T$ (T – impulsli kuchlanish davri).

Kechikishning guruhiy vaqtini quyidagi usullar bilan o‘lchanadi: “nuqtalar bo‘ylab”, ossillografik, guruhiy signallar-ni uzatish orqali va panoramali usullar (oldingi usulning bir turi) bilan. Fazaviy siljishni o‘lhashning barcha usullari yordamida kechikishning nisbiy vaqtini ham bilvosita aniqlash mumkin.

Diskret (raqamli) hisob usulini amalga oshiradigan raqamli fazametrning tuzilmaviy sxemasi, izlanayotgan $\Delta\varphi$ -faza farqini Δt -vaqt intervaliga o‘zgartirgich ($\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$), VS – vaqt sektori, sanoq

impulslarining shakllantirgichi (f/nf), H – hisoblagich va RSQ – raqamli sanoq qurilmasidan tashkil topgan (15.1 a-rasm). Vaqt selektori kalitli logik sxema ko‘rinishida bajarilgan. Sanoq impulslarining shakllantirgichi esa kirish signaling chastotasini impulsli ko‘paytirgichi bazasida va chiqish impulslarini shakllantirish sxemasida qurilgan. Raqamli fazametr quyidagi tartibda ishlaydi. O‘zgartkich $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ uning kirishiga uzatiladigan fazalar farqi $\Delta\varphi$ bo‘lgan u_1 va u_2 sinussimon signallardan to‘g‘ri burchakli impulslarni u_3 (15.1b-rasm) shakllantiradi, bu impulslarning davomiyligi Δt va takrorlanish davri T , u_1 , u_2 signallar davri hamda vaqt bo‘yicha siljishiga mos holda teng bo‘ladi. u_3 -impulslar hamda sanoq impulslari shakllantirgichi ishlab beruvchi takrorlanish davri T_0 ga teng bo‘lgan u_4 sanoq impulslari vaqt selektori kirishlariga beriladi.

Vaqt selektori u_3 impulslarning Δt davomiyligiga teng bo‘lgan vaqtga ochiladi va ushbu interval davomida u_4 impulslarni hisoblagich kirishiga o‘tkazadi. Selektorning chiqishida T davr bilan takrorlanadigan u_5 impulslar paketi shakllanadi.

O‘lchashlar u_1 va u_2 signallar kelishining T bitta davri davomida bajariladi (bunday rejimni ta’minlovchi boshqarish sxemasi 5.2a-rasmda soddalashtirish uchun ko‘rsatilmagan). Bunda, hisoblagichga selektor chiqishidan bitta paketda saqlanuvchi impulslarning quyidagi soni kirib keladi:

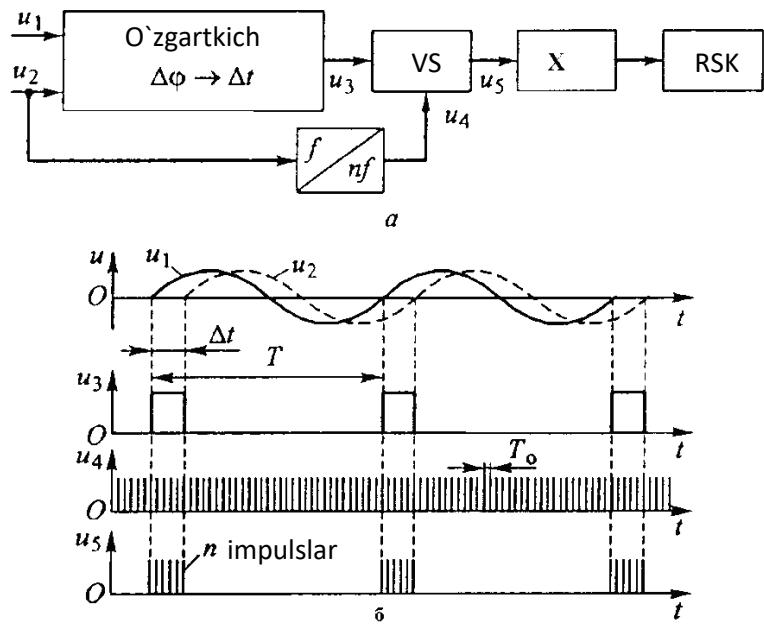
$$n = \Delta t / T_0 . \quad (63)$$

Raqamli fazametrarda uning qismlarini sxemaviy amalga oshirish uchun shakllantirgich sanoq impulslarining ketma-ketlik davri quyidagi ko‘rinishda beriladi:

$$T_c = T / (36 \cdot 10^m), \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

(63) ifodaga Δt uchun munosabatni 64 ifodadan qo‘yamiz va $T_0 = T(36 \cdot 10^m)$ ekanligini hisobga olib, u_1 va u_2 signallarning o‘lchanayotgan fazalar farqi uchun quyidagi ifodaga erishamiz:

$$\Delta\varphi = \frac{n}{10^{m-1}} . \quad (64)$$



44-rasm. Fazalar siljishini raqamli o‘lchash usuli

(64) ifodadan $\Delta\phi$ – fazalar siljishi, hisoblagichga kelgan n-sanoq impulslari soniga proporsional ekanligi kelib chiqadi. Fazalar siljishi $\Delta\phi$ ga proporsional bo‘lgan kodli signal hisoblagichdan ko‘rsatishi graduslarda berilgan raqamli sanoq qurilmasi (RSQ) ga uzatiladi, bunda, gradusning o‘nli ulushlari ham hisobga olinadi ($m=2$ va b.q. bo‘lganda).

Ushbu fazametrning xatoligi apparaturaning diskretlik xatoliklari bilan aniqlanadi. Diskretlik xatoligi vaqt intervali Δt ni sanoq impulslarining bitta davrigacha aniqlik bilan o‘lchanishiga bog‘liq. Apparaturaviy xatolik davomiylikni Δt dan chetlanishi, $\Delta\phi \rightarrow \Delta t$ va boshqalar orqali aniqlanadi. Xatoliklarni kamaytirish uchun fazalar siljishining o‘rta qiymatini o‘lchovchi raqamli fazametrlardan foydalaniladi, bunda, o‘lchash natijasi bo‘lib, tahlil qilinayotgan garmonik tebranishning T ko‘p sonli tebranishlaridagi o‘lchanayotgan fazalar farqining o‘rta qiymati hisoblanadi. Bunday raqamli fazametrning tushuntiruvchi epyuralarli tuzilmaviy sxemasi 45-rasmda ko‘rsatilgan.

Bu sxema 45, a-rasmdagi sxemadan ikkinchi vaqt selektori VS-2, impulslar generatori IG va impulslar shakllantirgichi ISh mavjudligi bilan farqlanadi. Fazametrning ish tamoyilini undagi funksional tugallangan qurilmalarni ajratib tahlillash qulayroqdir. Ular qatoriga Δt vaqt intervaliga ikkita u_1 va u_2 sinussimon signallarning

izlanayotgan $\Delta\varphi$ fazalar farqining o‘zgartkichi $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$, impulsli signalni shakllantiruvchi u_3 (45, b-rasm), hamda Δt intervalni mos sonli (paket) n-impulslariga $\Delta t \rightarrow n$ o‘zgartkichni kiritish mumkin. O‘zgartkich $\Delta t \rightarrow n$, u_5 impulslar paketini shakllantirib, IG impulslar generatori va VS1 vaqt selektoridan tashkil topgan. Bitta paketdagi n impulslarning nominal soni (64)-ifoda bilan aniqlanadi. O‘lchash natijalarini o‘rtachalash uchun u_5 impulslar paketi $T_k \gg T$ ($T - u_1$ va u_2 tadqiq qilinayotgan signallarning takrorlanish davri) kalibrlangan vaqt bo‘lagida shunday m ta paketlarni beradigan qurilmaga uzatiladi.

Qurilma tarkibiga davomiyligi T_k bo‘lgan ISh impulslar shakllantirgichi va V2 vaqt selektori kiradi. ISh sxemasi bo‘lish koeffisienti K_b bo‘lgan chastota bo‘lgich bazasida qurilgan. Uning kirishiga IG impulslar generatoridan takrorlanish davri T_0 bo‘lgan u_4 kuchlanish impulsleri uzatiladi. (45, b-rasm). Bunda ISh chiqishida vaqt selektori VS2ni ochuvchi davomiyligi $T_k = K_b S$ bo‘lgan g_6 impulsni shakllantiradi. Buning natijasida VS2 chiqishiga soni $m = T_k / T = K_b \cdot T_0 / T$ (65) bo‘lgan u_5 impulslar paketining qatori o‘tadi. VS2 vaqt selektoridan signal (15.2b-rasm) u_7 signal RSQ bilan bog‘liq bo‘lgan H hisoblagichga keladi. H hisoblagichga (63), (65) ifodalar va asosiy ifoda $\Delta\varphi = \frac{360^\circ \Delta t}{T}$ hisobga olingan holda kirib kelgan impulsler umumiy soni T :

$$N = nm = \frac{\Delta t}{T_0} \frac{K_b T_c}{T} = K_b \frac{\Delta t}{T} = K_b \frac{\Delta\varphi}{360^\circ}. \quad (65)$$

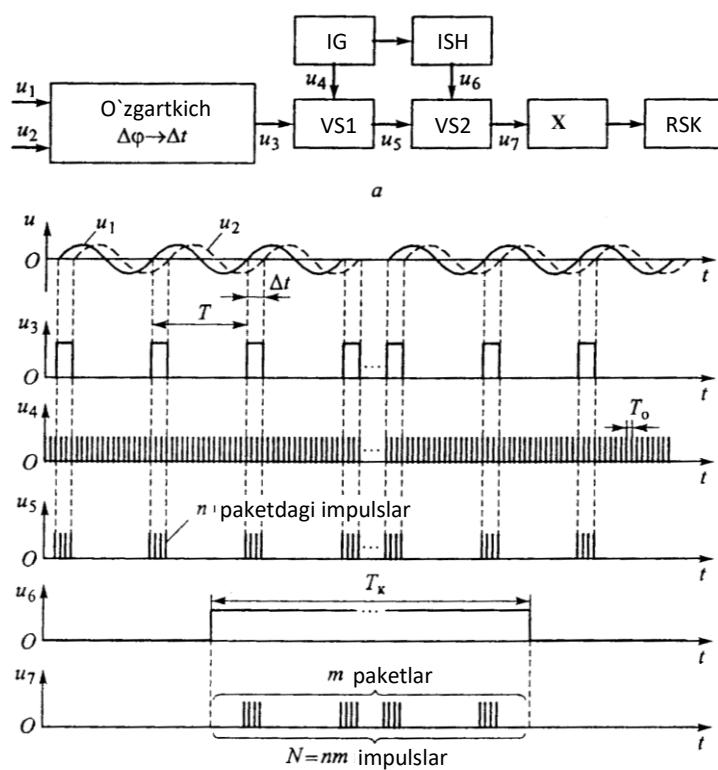
(65) ifodadan u_1 va u_2 garmonik kuchlanishlar orasidagi o‘lchanayotgan fazalar siljishini topamiz:

$$\Delta\varphi = N \frac{360^\circ}{K_b} = \frac{N}{k}. \quad (66)$$

(66) ifodada k koeffitsient ushbu asbob uchun doimiy hisoblanadi; $k=10^a$, bu yerda a – butun son.

Bunda, RSQ shkalasida fazalar siljishi gradusda ifodalanadi. Agar a qanchalik katta bo‘lsa, fazametrning k koeffitsient bilan aniqlanuvchi o‘tkazuvchanlik qobiliyati shuncha yuqori bo‘ladi. Fazametrda (45, a-rasm) IG impulsleri u_1 va u_2 tadqiq qilinayotgan impulsler o‘zaro sinxronlashishga ega emas. Shunga ko‘ra, bitta paketdagi impulsarning nominal soni ± 1 impulsga o‘zgarishi

(diskretlik xatoligi) mumkin. Lekin, T_k o'lchash vaqtida natijaviy xatolik kamayadi, chunki, hisoblagichga m paketlardan impulslar kirib kelib, ularda n impulsalar soni-ning bitta impulsiga ko'payishi yoki kamayishi teng ehtimollidir.



45-rasm. O'rta qiymat fazametri bilan faza siljishini o'lchash:
a – sxema; b – sxemalarga epyurlar

Fazametr ko'rsatishlarining xatoliklariga yana o'zgartkichning ($\Delta\phi \rightarrow \Delta t$) u_1 va u_2 signallarning nolinchi sathdan o'tish momentlarini noaniq fiksatsiyalanishi ham ta'sir qiladi. Ammo, ushbu asboblarining xatoliklari, xuddi diskretlanish xatoligi kabi tadqiq qilinayotgan signallari davridan sezilarli katta bo'lgan T_k vaqt intervalidagi o'lchash natijalarini o'rtachalashda kamayadi.

Fazametrlarning funksional imkoniyatlarini va ularning ishonchliligining oshirilishi, ularning o'lchash o'zgarkichlari bilan birga ishlaydigan mikroprotsessor asosida qurilishini ta'minlaydi. Bunday fazametrlar ixtiyoriy tanlangan davrda ikkita davriy signal orasidagi fazalar siljishini o'lchash, o'xshash siljishlarning fluktuatsiyasini kuzatish va ularning statistik xarakteristikalarini matematik kutilma, dispersiya, o'rtakvadratik chetlanishni hamda yuqorida qarab chiqilgan fazametrlar kabi fazalar siljishining o'rta

qiymatini o'lhash imkonini beradi. Mikroprosessorli fazametrning tuzilmaviy sxemasi 45, a-rasmda keltirilgan. Sinussimon u_1 va u_2 signallarning, ularning T bitta davridagi fazalar farqini o'lhash tamoyilini 45, b-rasmda ko'rsatilgan vaqt diagrammalari orqali tushunib olish mumkin. Mikroprotssessorli raqamli fazametrning IO' impulsli o'zgartgich sxemasida u_1 va u_2 signallar mos holda u_1 va u_2 qisqa impulslargacha o'zgartiriladi. Sh1 shakllantirgich ushbu impulslearning birinchi jufti yordamida davomiyligi Δt bo'lgan u_1 va u_2 signallarga vaqt bo'yicha siljishiga teng bo'lgan u_3 impuls ishlab beradi. Ushbu u_3 impuls bilan VS1 vaqt selektori ochiladi va u Δt vaqt intervali davomida MPS mikroprotssessorli sistema ishlab chiqadigan T_0 davri bilan keluvchi sanoq impulsalarini H1 hisoblagich kirishiga o'tkazib yuboradi. H1 hisoblagichga kirib kelayotgan sanoq impulslarining pachkasi 45-rasmda u_4 orqali belgilangan. Paketdagi impulsler soni (63) formula orqali aniqlanadi va bunga teng:

$$n = \Delta t / T_0 .$$

Sh₂ shakllantirgich u_5 impulsni ishlab chiqadi, uning davomiyligi u_1 va u_2 tadqiq qilinayotgan signallarning davriga teng.

Ushbu u_5 impuls ma'lum vaqtga VS2 vaqt selektorini ochadi va ushbu selektor MPSdan H2 hisoblagichga u_6 impulslar paketini o'tkazib yuboradi. Paketdagi impulsler davri T_0 ga teng bo'lib, ular soni

$$N = T / T_0 ; \quad (67)$$

Tanlangan davr uchun izlanayotgan fazaviy siljish $\Delta\phi$ ning qiymatini baholash uchun (63) va (67) ifodalar bilan hisoblanuvchi va

$$n / N = \Delta t / T$$

teng bo'lgan kattaliklar nisbatini topish talab etiladi. Keyin esa, fazalar siljishini hisoblashning asosiy ifodasini e'tiborga olib, bu qiymatni 360° ga ko'paytirib qo'yish kerak.

$$\Delta\phi = 360^\circ n/N . \quad (68)$$

Fazalar siljishini (68) ifoda bo‘yicha hisoblashni MPS bajaradi, unga H1 va H3 hisoblagichlar ishlab beradigan n va N sonlardan olingan kodlar uzatilgan bo‘ladi. MPSning mos dasturiga binoan RSQ raqamli sanoq qurilmasida ixtiyoriy T davr uchun fazalar siljishi $\Delta\varphi$ ning qiymati belgilanadi. Turli davrlardagi siljishlarni taqqoslash hisobiga turli davrlarda $\Delta\varphi$ ning fluktuatsiyasini kuzatish va ularning statistik parametr-larini baholash imkoniyati paydo bo‘ladi.

Fazametrning ikkita sinussimon signallar orasidagi $\Delta\varphi$ farqning o‘rtaligi qiymatini baholash rejimida (berilgan r sonli T davrlar uchun) H1 va H2 hisoblagichlarda ularning kirishiga r-davrlar davomida kirib kelgan impulslar sonidan kodlarning g‘ujlanib qolishi ro‘y beradi, ya’ni, mos holda nr va Nr sonlarning kodi, keyinchalik ular avtomatik holda MPSga uzatiladi.

Faza siljishlarini o‘lchash ikki yoki bir nurli ossillograflarda amalga oshiriladi. Birinchi holatda o‘rganilayotgan $I_1(t)$ va $I_2(t)$ kuchlanishlar vertikal U₁va U₂ og‘dirish kanallariga beriladi. Yoyuvchi generator gorizontal X og‘dirish kanaliga ulanadi (45, a-rasm). Bu holatda ekranda hosil bo‘ladigan tasvir 45, b-rasmda ko‘rsatilgan.

L va 1 uzunliklar o‘lchanib, kuchlanishlar orasidagi faza siljishi quyidagi ifoda bo‘yicha hisoblanadi:

$$\varphi = \frac{360^0 \cdot \ell}{L} \quad (69)$$

Ikkinchi holda o‘lchanayotgan $I_1(t)$ va $I_2(t)$ kuchlanishlar ossillografning U va X kanallariga beriladi. Ossillografning yoyuvchi generatori o‘chiriladi (46-rasm). X₀ va X_m yoki X₀ va U_m oraliqlari o‘lchanadi va kuchlanishlar orasidagi faza siljishi quyidagi ifoda bo‘yicha hisoblanadi:

$$\varphi = \pm \text{arcSin} \frac{X_0}{X_m} \quad (70)$$

Bu usul faza siljishini 0 dan 180^0 gacha bo‘lgan oraliqda o‘lchash imkonini beradi. Bu usulning xatoligini kamaytirish elektron nurni markazlashtirish va fokuslash orqali amalga oshiriladi hamda X₀ va X_m uzunliklarni o‘lchashdagi xatolik orqali belgilanadi. O‘lchash xatoligi bir xil emas. Kichik faza siljishi o‘lchanganda, xatolik $2-3^0$ ni

tashkil qiladi. Xatolik faza siljishi 90° ga yaqinlashganida eng katta bo'lib, $10-15^\circ$ ni tashkil qiladi. Bu holda ekranda doiraga yaqin tasvir hosil bo'ladi ($U_0=U_m$ va $X_0=X_m$).

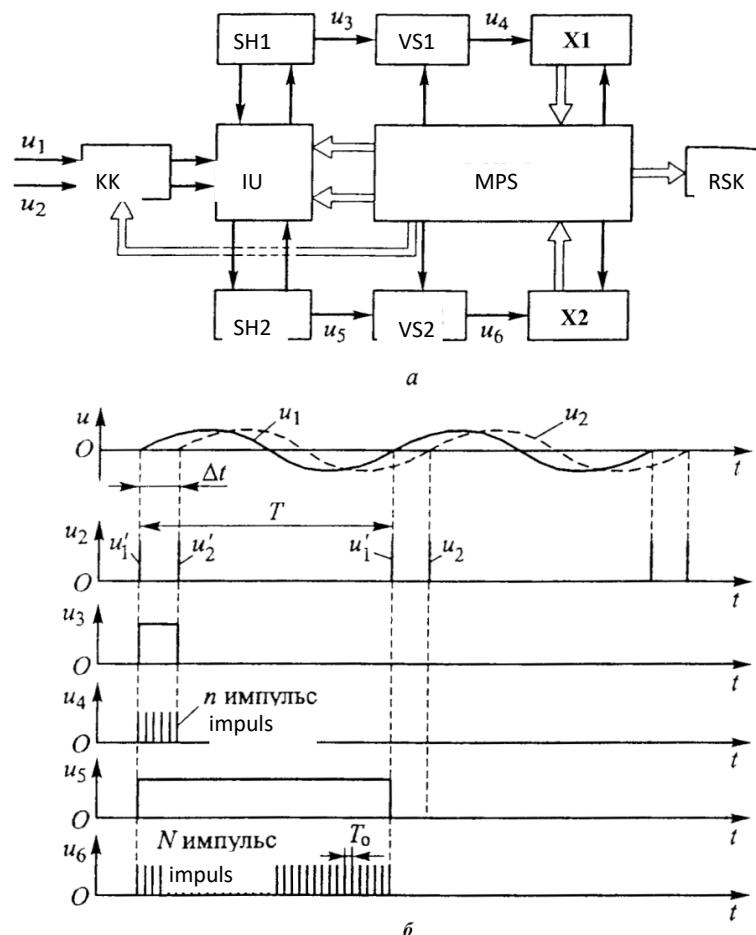
Diod VD1ga berilgan kuchlanishni topamiz:

$$U_1 + U_2 = U_m [\sin \omega t + \sin(\omega t + \varphi)] = 2U_m \cos\left(-\frac{\varphi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (71)$$

Diod VD2ga berilgan kuchlanishni topamiz:

$$U_1 - U_2 = U_m [\sin \omega t - \sin(\omega t + \varphi)] = 2U_m \sin\left(-\frac{\varphi}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (72)$$

Qarshiliklar va sig'imlar R_1 va S_1 , R_2 va S_2 larning ko'paytmalari o'zaro teng va tebranish davridan katta, ya'ni $R_1C_1kR_2C_2 \gg T$ bo'lishi zarur.



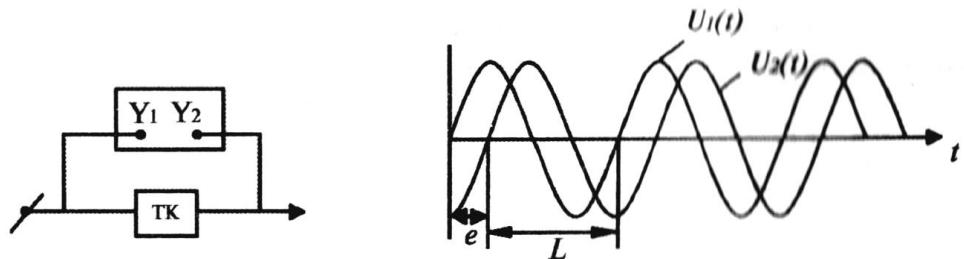
46-rasm. Mikroprotsessori raqamli fazametr:
a – tuzilmaviy sxemasi;
b – vaqt diagrammalari

Kondensator qoplamlari orasidagi kuchlanishni topamiz:

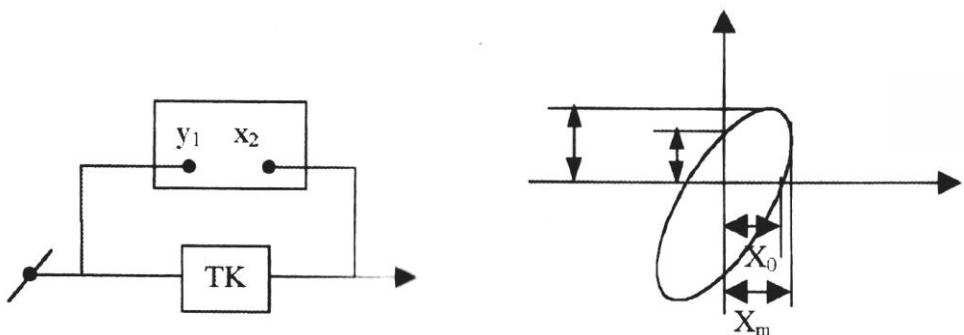
$$\begin{aligned} U_{C_1} &= 2U_m |\cos(-\varphi/2)| \\ U_{C_2} &= 2U_m |\sin(-\varphi/2)| \end{aligned} \quad (73)$$

Millivoltmetrdagi kuchlanishni topamiz:

$$U_{mv} = 2Um(|\cos\varphi/2| - |\sin\varphi/2|) \quad (74)$$

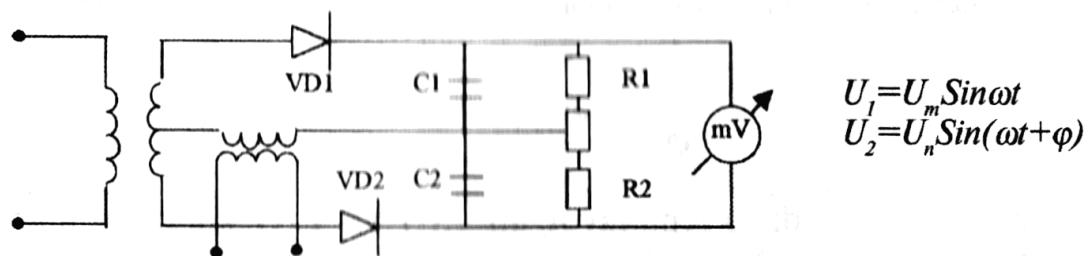


47-rasm. To‘rt qutblining faza siljishini ossillograf yordamida o‘lchash usuli



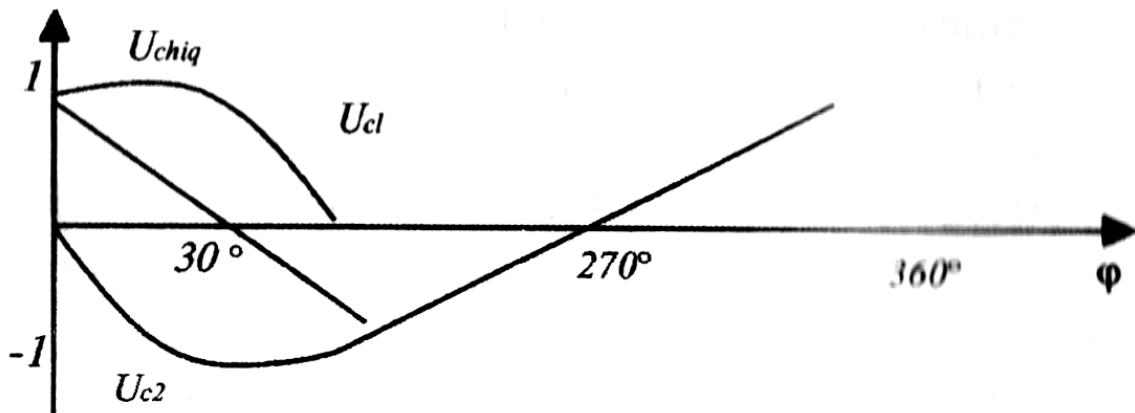
48-rasm. To‘rt qutblining faza siljishini ossillograf yordamida o‘lchashning ikkinchi usuli

Faza detektorining sxemasi 49-rasmda keltirilgan.



49-rasm. Faza detektorining sxemasi

Faza detektorining statik xarakteristikasi 50-rasmda ko‘rsatilgan.



50-rasm. Faza detektorining statik tavsifi

Faza detektorining ishlash prinsipi T-simon sxemada (R_1 , R_2 , R_3) ikki garmonik $I_1(t)$ va $I_2(t)$ kuchlanishlarini qo‘shish va ayirishga asoslangan. Bu kuchlanishlarning yig‘indisi I_1+I_2 va farqi I_1-I_2 amplituda bo‘yicha detektorlash bilan ajratib olinadi. Bu detektoring magnitoelektrik asbobda o‘lchanadigan chiqish kuchlanishi amalda bir tekis bo‘lib, kirish signallarining amplitudasi o‘zgarmas holatida faza siljishiga bog‘liq. Statik tavsifi 0° bilan 180° orasidagi diapazonda bir qiymatli bo‘ladi va shu diapazonda faza siljishini o‘lchashda ishlatiladi.

Nazorat savollari

1. Faza tushunchasiga ta’rif bering?
2. Fazalar orasidagi farq deganda nimani tushunasiz?
3. Fazalar siljishini o‘lchashning ossilografik usuli qanday amalga oshiriladi?
4. Fazalar farqini faza detektori yordamida o‘lchash usulini tushuntirib bering?
5. Fazalar siljishini o‘lchovchi vositalarining tasnifini keltiring?
6. Raqamli fazametrlarning qo‘llanilishi.
7. Mikroprotsessorli fazametrlar qanday ish tamoyiliga ega?

15-ma’ruza.

Radiosignal spektrini analiz qilish

Reja:

1. Umumiy ma’lumotlar.
2. Signalning asosiy shakllari va parametrlari.

Kalit so‘zlar: spektr, spektral diagramma, bazis, Furye qatorи, meandr.

Umuman olganda barcha elektr tebranishlarining asosiy parametrlari tasodifiy qonun bo‘yicha o‘zgaradi. Shuning uchun ularni biror aniq funksiya orqali ifodalash mumkin emas. Lekin ko‘p tebranishlar parametrining tasodifiy o‘zgarishi shunday kichik bo‘ladiki, ularni hisobga olmaslik mumkin. Bunday tebranishlar vaqt bo‘yicha aniq funksiya orqali ifodalanadi va aniqlangan signal hisoblanadi. Ammo ularning matematik ifodasi juda murakkab bo‘lishi mumkin. Shuning uchun aniqlangan signallarni o‘rganishda ifodalovchi funksiyaning ma’lum darajadagi aniqlik bilan tekshirilayotgan tebranishni aks ettiradigan sodda ifodasini topish talab qilinadi. Boshqacha qilib aytganda, tebranishi $u(t)$ funksiya orqali ifodalansa, biror vaqt oralig‘ida unga yaqin bo‘lgan taqrifiy $f(t)$ funksiyani tanlash lozim. Bunda $u(t)$ va $f(t)$ funksiyalarning bir-biriga qanchalik yaqin bo‘lishi uni baholash usuli bilan belgilanadi.

Ko‘pincha $u(t)$ funksiyani chiziqli ko‘phadlar yig‘indisi deb qaraladi:

$$y(t) = C_0\varphi_0(t) + C_1\varphi_1(t) + C_2\varphi_2(t) + \dots + C_n\varphi_n(t) = \sum_{i=0}^n C_i\varphi_i(t) \quad (91)$$

Bunda $\alpha_i(t)$ funksiyalar majmuasi bazis (asos) sistema deb ataladi. Agar funksiyaning bazis sistemasi ma’lum bo‘lsa, $u(t)$ tebranish S_i koeffitsiyentlar orqali to‘liq xarakterlanadi. U $u(t)$ tebranishning spektri deb ataladi. S_i koeffitsiyentlarni aniqlash $\alpha_i(t)$ funksiya qanday tanlanganligiga bog‘liq. Agar u ixtiyoriy bo‘lsa, S_i ni hisoblash juda qiyin bo‘ladi. Shuning uchun ko‘pincha $\alpha_i(t)$ bazis funksiya sifatida ortonormal funksiya olinadi. Uning (a,b) oraliqdagi ortonormallik sharti quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$\int_a^b \psi_i(t) \cdot \psi_k(t) dt = \begin{cases} 0 & \text{agar } i \neq k \text{ bo'lsa,} \\ 1 & \text{agar } i = k \text{ bo'lsa} \end{cases}, \quad (92)$$

$$C_i = \int_a^b y(t) \cdot \varphi_i(t) dt \quad (93)$$

bo'lib, $y(t)$ aniqlangan tebranish

$$y(t) = \sum_{i=0}^n C_i \cdot \varphi_i(t) \quad (94)$$

qator orqali ifodalanadi. Bu qator umumlashgan Furye qatori deb ataladi.

(92) yordamida o'r ganilayotgan signal funksiyasini tashkil etuvchilarga ajratish eng qulay usul bo'lib hisoblanadi. Lekin ortonormal $\psi_i(t)$ bazis funksiyalarining cheksiz ko'p bo'lishi hisoblash ishini qiyinlashtiradi. Shuning uchun amalda masala shartining qo'yilishiga qarab bazis funksiya sistemasini tanlashda (93) qatorning eng kam sondagi hadlarini olishga harakat qilinadi. Bazis funksiyani tanlash usullari juda ko'p. Shulardan eng ko'p tarqalgani signalni garmonik tebranishlar yig'indisi deb qarashdir.

Agar aniqlangan signal davriy bo'lsa, uning funksiyasi garmonik tebranishlar yig'indisi ko'rinishida (Furye qatori) quyidagicha ifodalanadi:

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_0 t \quad (94)$$

bunda, $n = 1, 2, 3, \dots$ - natural sonlar, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ - asosiy chastota, T – tebranish davri, a_0 , a_n va b_n – Furye koeffitsiyentlari.

Furye koeffitsiyentlari qatordagi garmonik tashkil etuvchilarning amplitudasini ifodalaydi va quyidagicha aniqlanadi.

$$\begin{cases} \frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) dt \\ a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) \cos n\omega_0 t dt \\ b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) \sin n\omega_0 t dt \end{cases} \quad (95)$$

Ko‘pincha Furye qatorini fazalari jihatdan farq qiladigan bir xil funksiyalar yig‘indisi deb qarash qulay bo‘ladi:

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cdot \sin(n\omega_0 t + \varphi_n), \quad (96)$$

bunda

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \quad a_n = C_n \sin \varphi_n$$

$$\varphi_n l = \operatorname{arctg} \frac{b_n}{a_n}; \quad b_n = C_n \cos \varphi_n \quad (97)$$

Kompleks sohada (96) ifoda quyidagicha ifodalanadi:

$$y(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \cdot e^{jn\omega_0 t} \quad (98)$$

bunda

$$C_n = a_n - jb_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) \cdot e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (99)$$

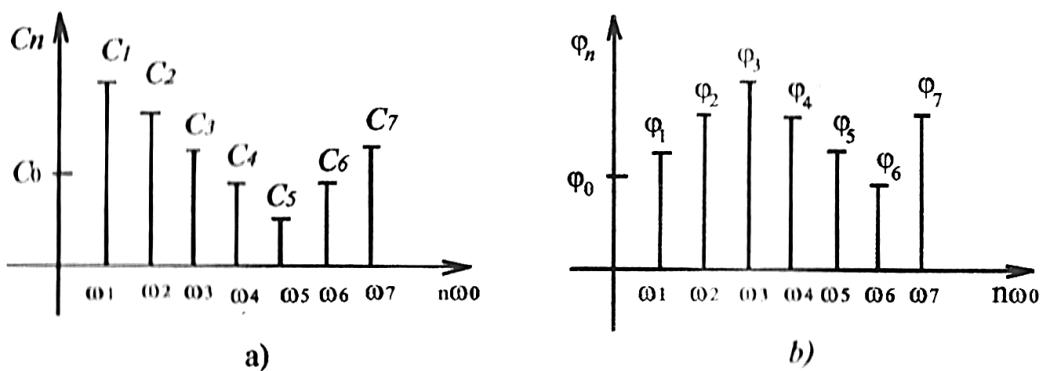
Bundagi manfiy chastotalar ifodani kompleks deb qaralishiga aloqador bo‘lib, u fizik ma’noga ega emas. Demak, $u(t)$ davriy funksiya $n\omega_0$ chastotali garmonik tashkil etuvchilar yig‘indisiga teng. Uning har bir tashkil etuvchisi signal garmonikasi deyiladi. $n=1$ ga to`g‘ri keluvchi garmonika asosiy yoki bиринчи гармоника, qolganlari yuqori garmonikalar deb yuritiladi. Qatorning o‘zi esa, signal spektri bo‘ladi. a_0 o‘zgarmas tashkil etuvchi $u(t)$ funksiyaning bir davr ichidagi o‘rtacha qiymatini ifodalaydigan kattalikdir.

Signal spektridagi garmonikalarning amplitudasi va boshlang‘ich fazasi tartib nomeri n ga bog‘liq miqdorlar bo‘lgani uchun u ikki xil spektrga ajratiladi.

1. Amplituda-chastotaviy spektr — $S_n = S_n(n\omega_0)$,
2. Faza-chastotaviy spektr $\alpha_n = \alpha_n(n\omega_0)$.

Ular spektral diagrammalarda ifodalanadi. Buning uchun abssissalar o‘qiga tashkil etuvchilar tartib raqami n yoki chastotasi $n\omega_0$ ordinatalar o‘qiga esa, ularning amplitudasi yoki boshlang‘ich fazasiga mos qilib tanlangan to‘g‘ri chiziq kesmalari vertikal holda

joylashtiriladi (55-rasm).



55-rasm. Murakkab signalning amplituda-chastotaviy (a) va faza-chastotaviy (b) spektral diagrammasi.

55-rasmdagi spektral diagrammalar shuni ko'rsatadiki, davriy funksiya orqali ifodalanuvchi signalning spektri chiziqli, ya'ni diskret bo'lib, bir-biridan ω_0 miqdorga surilgan bo'ladi. Shuni aytish kerakki, qatordagi ayrim tashkil etuvchilarning amplitudasi nolga teng bo'lib, diagrammada chiziqcha bo'lmasligi mumkin. Lekin bu bilan spektrning chiziqliligi o'zgarmaydi.

Agar signal davriy bo'lmasa, uning spektri Furye integrali orqali ifodalanadi. Matematika kursidan ma'lumki, Furye integralini hosil qilishda davriy bo'lmanagan funksiya davri cheksizga teng davriy funksiya deb qaraladi, ya'ni Furye koeffitsiyentlari ifodasini qatorga qo'yib, $T \rightarrow \infty$ hol uchun limit olinadi. Agar u Furye qatorining kompleks ifodasi uchun bajarilsa, quyidagi ifoda hosil bo'ladi.

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) \cdot e^{j\omega t} \cdot d\omega \quad (100)$$

Bu Furyening teskari almashtirishi deb ataladi. Undagi

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (101)$$

esa, Furyening to'g'ri almashtirishi bo'ladi.

$\dot{S}(\omega)$ spektral funksiya yoki amplitudalarning spektral zichligi deb ataladi. U birlik chastota oralig'iga ($\Delta\omega$) to'g'ri keladigan signal spektrini ifodalaydi va spektral diagrammada spektr chiziqlarining

uchlarini qoplovchi chiziq deb qaraladi.

Davriy signalning tebranish davri ortishi bilan spektr chiziqlari zichlashib, amplitudalari kichraya boshlaydi. Bunda spektrning zichlashishi boshlang‘ich spektr chiziqlari orasida yangi tashkil etuvchilarning hosil bo‘lishi bilan bog‘liq bo‘lgani uchun amplitudalarining kichrayishi ularning qoplovchi chizig‘ini o‘zgarishsiz qolishini ta’minlaydi. Masalan, tebranish davri to‘rt marta ortsa, spektral chiziqlar soni ham to‘rt marta ko‘payib, amplitudalari to‘rt marta kichrayadi. Lekin ularning qoplovchi chizig‘i boshlang‘ich holatini saqlaydi (56-rasm). Shunga ko‘ra davriy bo‘limgan signal davri cheksizga teng davriy tebranish deb qaralgani uchun Furye integralini amplitudalari cheksiz kichik bo‘lgan cheksiz sondagi garmonik tebranishlar yig‘indisi deb qarash kerak. Uning spektr chiziqlari bir-biridan ajralmagan bo‘ladi.

Demak, davriy bo‘limgan signal spektri yaxlit bo‘ladi.

Spektral diagrammalar yordamida signal spektrining kengligini baholash mumkin. Ammo bu maqsadda Furye qatoridan bevosita foydalanish mumkin emas, chunki u cheksizdir. Uning yordamida signalning qisqartirlgan spektrini aniqlash mumkin. Buning uchun qatordagi amplitudalari kichik bo‘lgan hadlar, ya’ni ko‘rilayotgan holda ta’siri kichik bo‘lgan tashkil etuvchilar hisobga olinmaydi. Shunga ko‘ra signal spektri kengligi deganda qisqartirilgan qator joylashadigan chastotalar shkalasi qabul qilinadi. Uning quyi va yuqori chastotalar oralig‘i $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ signal spektrining kengligi deyiladi.

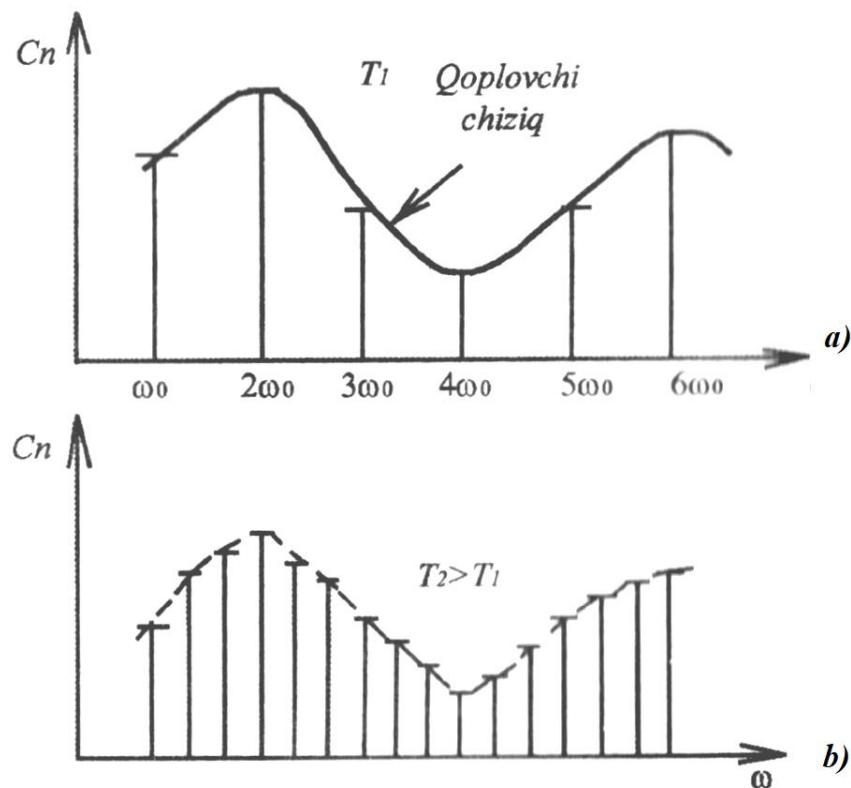
Davri T va amplitudasi Ye ga teng bo‘lgan to‘g‘ri burchakli impulslar ketma-ketligining spektrini aniqlaylik. Oson bo‘lishi uchun ordinatalar o‘qini shunday o‘tkazaylikki, ko‘rayotgan signalimiz funksiyasi $U(t)$ juft funksiya bo‘lsin (57-rasm). (95) va (95,a) ifodalardan Furye koeffitsiyentlarini aniqlab (94) ifodaga qo‘yamiz. So‘ngra soddalashtirib ko‘rayotgan signalimizning Furye qatorini hosil qilamiz:

$$U(t) = E \frac{t_u}{2} + \frac{2E}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi t_u}{T}}{n} \cos n\omega_0 t \quad (102)$$

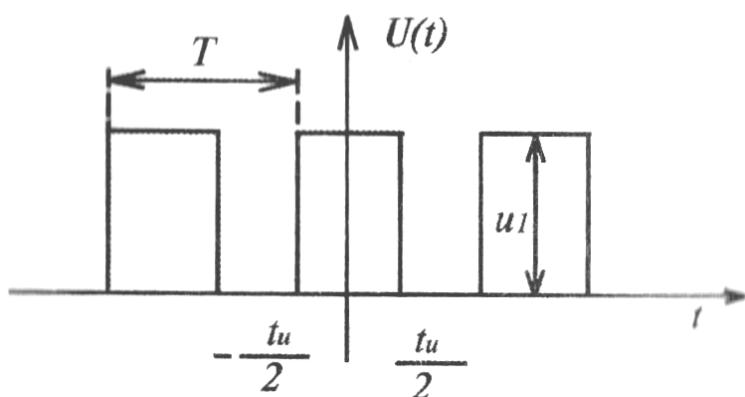
Unda t_u — impulsning davom etish vaqtisi.

Demak, ko‘rayotgan murakkab signal cheksiz sondagi garmonik tashkil etuvchilarga ega bo‘lib, uning spektri cheksiz. Bunda har bir n

— tashkil etuvchining amplitudasi $\sin \frac{n\pi t_u}{T}$ kattalikka bog‘liq ravishda o‘zgaradi. Tartib raqamining ortishi bilan ularning amplitudasi kichrayib boradi, chunki sinusning o‘sishi argumentining o‘sishidan sust bo‘ladi.



56-rasm. Spektr zichligining ortishi



57-rasm. To‘g‘ri burchakli davriy impulslar ketma-ketligi

Tashkil etuvchilarning fazalari $\sin \frac{n\pi t_u}{T}$ funksiyaning argumentiga bog‘liq. $n \frac{t_u}{T} = 1$ bo‘lganda, u nolga aylanadi.

Shuning uchun spektrdagi n $\omega_0=\omega=\frac{2\pi}{T}$ chastotali garmonika nolga teng bo‘ladi. Bundan tashqari $1 \leq \frac{n\frac{t_u}{T}}{2} \leq 2$ tengsizlikni qanoatlantiruvchi n ning qiymatlarida $\sin \frac{n\pi t_u}{T}$ kattalik manfiy qiymatli bo‘ladi. Ana shu qiymatlardagi tashkil etuvchilarning fazalari ham manfiy bo‘ladi. Ularning amplitudalari avval o‘sadi, so‘ngra kichrayib, $n = 2\frac{T}{t_u}$ qiymatda nolga aylanadi. Shundan keyin jarayon takrorlanadi.

Demak, tashkil etuvchilarning amplitudasi nolga teng nuqtalaridan o‘tishda spektrdagi tashkil etuvchilarning fazalari sakrash bilan π miqdorga o‘zgaradi. Ikki nol amplitudali tashkil etuvchi orasidagi tashkil etuvchilarning boshlang‘ich fazalari o‘zgarmas bo‘lib, son jihatdan nolga tengdir ($\alpha=0$). Ko‘rayotgan signalimizning spektral diagrammalari 58-rasmda ko‘rsatilgan. Unda ikki nol amplitudali garmonik tashkil etuvchi orasida yotadigan tashkil etuvchilarning soni impulsning to‘ldirish koeffitsiyenti ($\gamma = \frac{t_u}{T}$) deb ataladigan kattalikka bog‘liq. Uning eng kichik qiymati birga teng bo‘lib, to‘ldirish koeffitsiyentining $\gamma = 0,5$ qiymatiga to‘g‘ri keladi.

Impulsning takrorlanish chastotasi o‘zgarmas bo‘lganda to‘ldirish koeffitsiyentining kichrayishi bilan spektrning nol amplitudali tashkil etuvchilarining n ω_0 miqdori o‘sib boradi. Bunda spektrdagi boshlang‘ich tashkil etuvchilar amplitudasining n ning ortishi bilan kichrayishi susayadi va ular tenglasha boshlaydi.

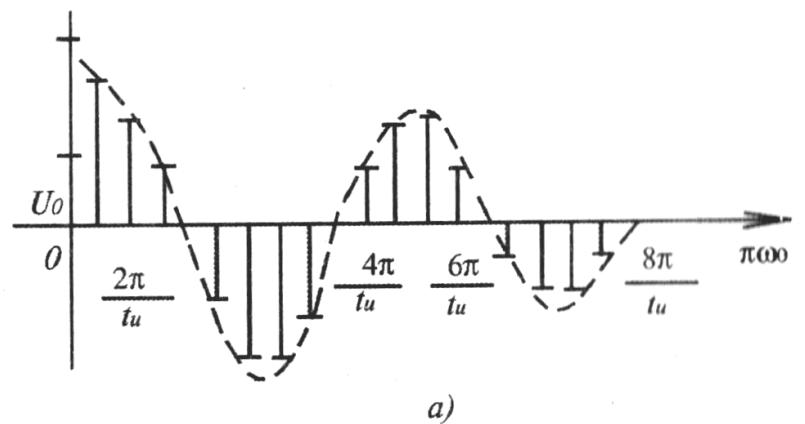
Chunki to‘ldirish koeffitsiyenti kichrayganda

$$\frac{\sin \frac{n\omega_0 t_u}{2}}{n} \approx \frac{\omega_0 t_u}{2}$$

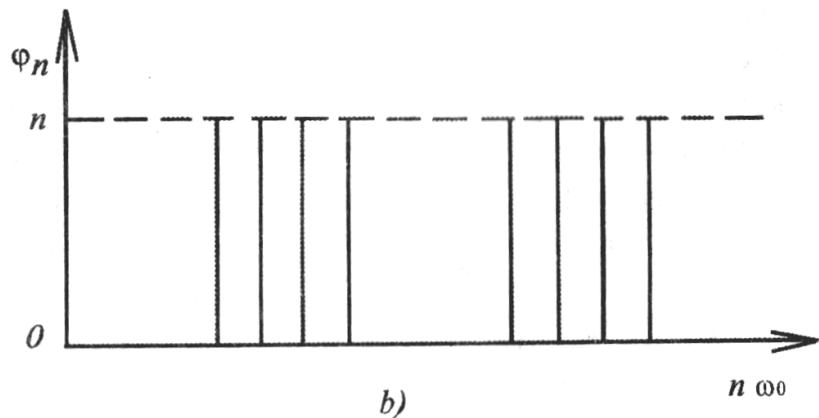
deb olish mumkin. Spektrlarning bu xususiyatidan radiolokatsiyada keng foydalilanildi.

Kuchlanish parametrlari quyidagilardir:

1. Oniy qiymat.
2. O‘rta qiymat.
3. O‘rta to‘g‘rilangan qiymat.
4. O‘rta kvadratik qiymat.
5. Amplituda qiymati.

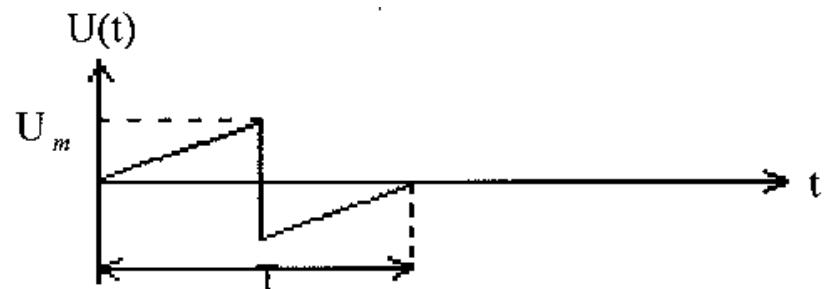


a)

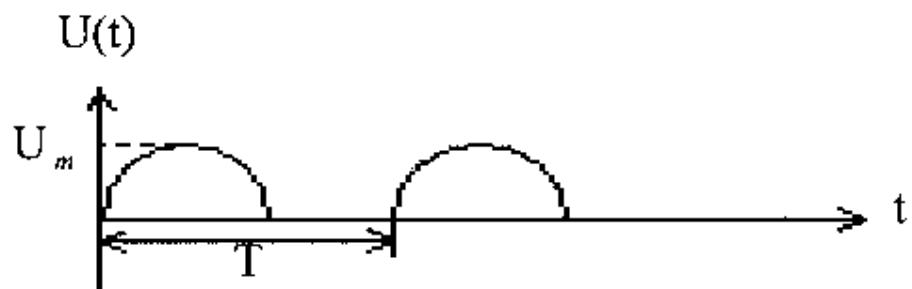


b)

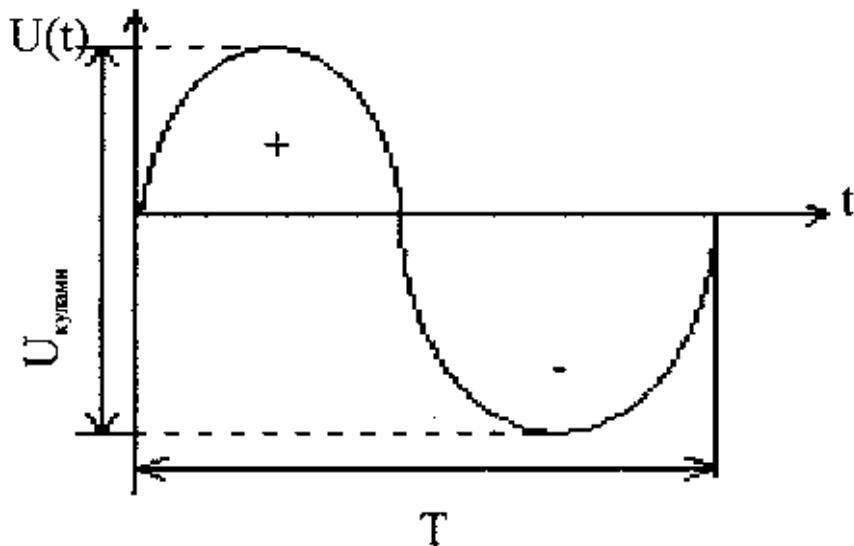
Arrasimon shakli



Impuls shakli



58-rasm. To‘g‘ri burchakli davriy impulslar ketma-ketligining amplituda-chastotaviy (a) va faza-chastotaviy (b) spektral diagrammalari



59-rasm. Kuchlanish ko‘lami

Kuchlanish parametrlariga doir ta’rif va tushunchalarni keltirish mumkin:

1. Kuchlanishning oniy qiymati – bu qaralayotgan vaqt momentidagi qiymat bo‘lib, elektron va raqamli ossillograflar yordamida o‘lchanadi.

$$U_t = U_m \sin \omega t \quad (109)$$

2. Kuchlanishning o‘rta qiymati – bu davr davomidagi oniy qiymatlarning o‘rta arifmetigidir.

$$U_{o.r} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$$

3. Kuchlanishning o‘rta to‘g‘rilangan qiymati bu davr davomidagi absolyut oniy qiymatlarning o‘rta arifmetigiga teng bo‘lgan qiymatdir. Bu qiymat chiziqli voltmetr bilan o‘lchanadi.

$$U_{o.r.t} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt \quad (110)$$

4. Kuchlanishning o‘rta kvadratik (eski adabiyotlarda ta’sir etuvchi yoki effektiv qiymat deb talqin qilingan) qiymati bu o‘rta qiymatning davr davomidagi kvadratidan olingan musbat kvadrat ildizdir.

$$U_{o'r.kv} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (111)$$

bu qiymat kvadratli voltmetr asosida o‘lchanadi.

Signalning asosiy shakllariga doir ma’lumotlar 5-jadvalda keltirilgan.

5-jadval
Signalning asosiy shakllari, parametrlari va koeffitsiyentlari

Signal shakli	$U_{o'r}$	$U_{o'rt}$	$U_{o'r.kv}$	K_a	K_{sh}	$K_{o'rt}$
Sinusoidal	0	$0,637 U_m$	$0,707 U_m$	1,41	1,11	1,57
Impulslar ketma-ketligi	$\frac{U_m}{Q}$	$\frac{U_m}{Q}$	$\frac{U_m}{\sqrt{Q}}$	\sqrt{Q}	\sqrt{Q}	Q
Meandr	0	U_m	U_m	1	1	1
Uchburchak	$0,5 U_m$	$0,5 U_m$	$0,578 U_m$	1,73	1,16	2
Arrasimon	$0,5 U_m$	$0,5 U_m$	$0,578 U_m$	1,73	1,16	2
Impulsli	$0,318 U_m$	$0,318 U_m$	$0,5 U_m$	2	1,57	3,14

5. Kuchlanishning amplituda (tik) qiymati – bu barcha oniy qiymatlar, ya’ni tebranishlarning “+” yoki “-” yarim davrlari ichidagi maksimalidir. U kuchlanish ko‘lami deb yuritiladi.

Yuqorida keltirilgan parametrlar bir-biri bilan o‘zaro uchta koeffitsiyent bilan bog‘langan:

1. Amplituda (K_a) koeffitsiyenti;
2. Shakl (K_{sh}) koeffitsiyenti;
3. O‘rtachalash ($K_{o'r}$) koeffitsiyenti;

Masalan: sinussimon signal shakli uchun bu koeffitsiyentlar:

$$K_a = 1.41$$

$$K_{sh} = 1.11$$

$$K_{o'r} = 1.57$$

Nazorat savollari

1. Elektr signali nima?
2. Elektr signali turlarini aytib bering?
3. Signal spektri nima?
4. Spektral diagrammalar nima?
5. Analog va diskret signallarni aytib bering
6. Signalning asosiy parametrlarini sanab bering
7. Signalning asosiy shakllari haqida nimani bilasiz?

16-ma’ruza Radiosignal nochiziqli buzilishlarini o‘lhash

Reja:

1. Nochiziqli buzilishlarni baholash.
2. Signal shakli buzilishlarini o‘lhash usullari.

Kalit so‘zlar: signal, nochiziqli buzilish, generator, kvazispektral, kvazigarmonik.

Bugungi kunda nochiziqli buzilishlarni o‘lhash usullarini va o‘lhash – nazorat qilish vositalarining metrologik xarakteristikalarini aniqlash maqsadida tajriba tadqiqotlari o‘tkazish, telekommunikatsiya uzatish tizimini metrologik ta’minlash asosida sifatli aloqani amalga oshirish dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Uzatuvchi, kuchaytiruvchi va boshqa aloqa qurilmalarida nochiziqli buzilishlar kam miqdorda bo‘lsa ham ularni nochiziqli sistemalar tabaqasiga kiritish mumkin. Kuchaytirgichlar va sinussimon tebranishli generatorlarga qo‘yiladigan talablarning ortib borishi nochiziqli buzilishlarni o‘lhash zaruratini oshirmoqda. Kuchaytirgichning aktiv elementlari ko‘proq nochiziqli xossalarga ega bo‘lsa, ferromagnit o‘zakli elementlar kamroq, kondensator va rezistorlar esa juda ham kam bunday xossalarga ega bo‘ladi, chizma elementlarining nochiziqligi kuchaytirgich chiqish kuchlanishining kirish kuchlanishiga bog‘liqligi ham nochiziqli buzilish bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Buning natijasida kuchaytirgich chiqishida kirish signalida bo‘lmagan spektral tashkil etuvchilar paydo bo‘ladi.

Sinussimon tebranishlar generatorlari, kuchaytirgichlar va to‘rtqutblilarga qo‘yilayotgan talablarning ortib borishi nochiziqli buzilishlarni o‘lhash va baholashni zaruriy shart qilib qo‘ymoqda.

Turli radiotexnik qurilmalar tarkibiga kiruvchi nochiziqli xarakteristikaga ega bo‘lgan elementlar signal shaklining buzilishlarini yuzaga keltiradi. Bunday buzilishlar nochiziqli buzilishlar deyiladi. Buzilgan signal spektrida yangi garmonik tashkil etuvchilarning paydo bo‘lishi nochiziqli buzilishlar uchun xosdir. Spektr parametrlarini tahlil qilish yo‘li bilan namoyon bo‘lgan buzilishlar darajasini baholash mumkin. Signalning murakkab shaklida esa bunday buzilishlarni baholash qiyinroq bo‘ladi.

Agar o‘z spektrida $\omega = 2\pi f$ chastotada yagona tashkil etuvchisi mavjud bo‘lgan oddiy garmonik tebranishlar deb qaralsa, u holda nochiziqli buzilishlarni baholash masalasi ancha osonlashadi. Bunday signalning nochiziqli buzilishi natijasida chastotaga $2\omega, 3\omega, 4\omega, \dots$ karrali bo‘lgan garmonik tashkil etuvchilar qatori paydo bo‘ladi. Bu garmonikalarni tegishlicha hisobga olish yo‘li bilan garmonik tebranish manbalarida (generatorlarda) shakllangan signallarni tavsiflash hamda boshqa hollarda esa nochiziqli buzilishlar ro‘y beradigan (masalan: kuchaytirgichlar) zanjir va qurilmalarning xossalarni baholash mumkin.

Ba’zi davriy kuchlanishlarning sinussimon kuchlanish shaklidan farqlanishi (foizlarda) garmonika koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi.

$$K_{\varepsilon} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \quad (112)$$

Bu koeffitsiyent buzilgan signalning ikkinchi garmonikasidan boshlab barcha yuqori garmonikalar ta’sir etuvchi kuchlanishlar yig‘indisining birinchi garmonika ta’sir etuvchi kuchlanishi nisbatiga teng.

Garmonika koeffitsiyentini aniqlash, signalning alohida garmonik tashkil etuvchilarini ajratish va o‘lhash zarurati bilan bog‘liqdir. Bu maqsadda spektr analizatori yoki selektiv (tanlovchi) voltmetrlardan foydalanish mumkin. O‘lhashning talab qilingan aniqligini ta’minalash uchun o‘lchov generatorini qo‘llash kerak. Generator shakllantiradigan tebranishlarning nochiziqlilik koeffitsiyenti 5% dan ortmasligi kerak. Bu koeffitsiyent me’yorga mos kelmagan holda

generator chiqishiga asosiy chastota garmonikalarini yo‘qotuvchi filtrlar ulanadi.

Garmonik signalning nochiziqli buzilishlarini baholash maxsus asboblarda, ya’ni nochiziqli buzilishlar o‘lchagichi bilan amalgamoshiriladi.

Bu o‘lchagichlarda buzilgan signalning asosiy garmonikasini (birinchi garmonika) yo‘qotish usuli keng qo‘llaniladi. O‘lchanayotgan kattalik garmonika koeffitsiyenti emas, balki unga mazmunan yaqin bo‘lgan nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti (foizlarda) hisoblanadi.

$$K_{n\delta} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}, \quad (113)$$

bu koeffitsiyent, ikkinchi garmonikadan boshlab, barcha yuqori garmonikalar ta’sir etuvchi kuchlanishlar yigo‘indisining signalni jami tashkil etuvchi kuchlanishlarning, (birinchi garmonikani ham hisobga olib) nisbatiga teng. Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o‘lchash ancha oddiyroq, chunki bunda alohida tashkil etuvchilarni, xususan, signalning birinchi garmonikasini ajratish zarurati yo‘q.

(113) - ifodadagi munosabatni olish uchun birinchi garmonikani yo‘qotish yetarlidir. Garmonikalar va nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida bog‘langan.

$$K_g = \frac{K_{nb}}{\sqrt{1 - K_{nb}^2}} \quad (114)$$

Kichik nochiziqli buzilishlarda (10-15%) bu koeffitsiyentlar bir-biridan kam farqlanadi, bunday hollarda $K=K_{n.b}$ o‘rinli bo‘ladi.

Telekommunikatsiya uzatish tizimlarining chiziqli va guruhiy traktlaridagi nochiziqlilikni baholash uchun ikkinchi, uchinchi va h.k. garmonikalar bo‘yicha "nochiziqlilikning so‘nishi" tushunchasidan foydalaniladi.

$$a_2 = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = 10 \lg \frac{p_1}{p_2} \quad (115)$$

$$a_3 = 20 \lg \frac{U_1}{U_3} = 10 \lg \frac{p_1}{p_3} \quad (116)$$

bu yerda: U_1 - U_2 - to‘rtqutbling chiqishidagi mos kuchlanishlarning amplitudasi.

Nochiziqli buzilishlarni o‘lhash usullari apparaturaviy yechimiga, usuliy va metrologik xarakteristikalariga ko‘ra ajratiladi. Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o‘lhash usullari axborotni ifodalash va ishlov berish uslubiga qarab ikkita katta guruhga (60-rasm) bo‘linadi: analog va raqamli.

Analog asboblarda o‘lchanayotgan signal hisoblash qurilmasidan axborot olinguncha qadar ishlovdan o‘tadi (kuchaytiriladi, o‘zgartiriladi, solishtiriladi va h.k.) oraliq operatsiyalar analog shaklida amalga oshiriladi, shunga ko‘ra signal mumkin bo‘lgan barcha buzilishlar ta’siriga berilishi mumkin (shovqin va fon, AChX ning notekisligi sababli spektral tarkibning o‘zgarishi, kuchaytirish koeffitsiyentining dreyfi va b.k). Bu o‘lchagichlarning umumiy xatoliklariga ta’sir ko‘rsatadi.

Ba’zi hollarda nochiziqli buzilishlarni baholash o‘zaro modulyatsiya usulida, ya’ni nochiziqli buzilishlarning kombinatsion tashkil etuvchilari bo‘yicha amalga oshiriladi.

Raqamli asboblarda analog signal birdan raqamli shaklga aylantiriladi va natijaga diskret usullar asosida maxsus hisoblash qurilmalari yoki mikroprotsessor yordamida birinchi garmonikani hamda nochiziqli buzilishlarning birorta koeffitsiyentini hisoblash yo‘li bilan erishiladi.

Metrologiya nuqtayi nazaridan qaralganda barcha analog usullar ikkita katta guruxchaga bo‘linadi: **spektrli va kvazispektral**.

Nochiziqli-buzilishlar koeffitsiyentini o‘lchashning spektral usullari selektiv asboblarni qo‘llashga asoslangan (spektr analizatorlari, selektiv voltmetrlar va boshqalar). Ular yordamida kirish signali garmonik tashkil etuvchilarnig darajasini o‘lhash amalga oshiriladi, nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti esa qo‘lda hisoblanadi.

Spektrli usullarning afzalligiga quyidagilar kiradi:

- past darajadagi hamda kuchli xalaqitlar ta’siridagi signallarning nochiziqli buzilish koeffitsiyentini o‘lhash;
- keng chastota diapozonida o‘lhash mumkinligi;
- nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti kichik qiymatlarining o‘lchanishi
(0.01-0.0001%);

Spektrli usullarining kamchiligi:

O'lhashning qiyinligi va uncha yuqori bo'lmagan o'lhash aniqligi (taxminan 10%).

Kvazispektral usullar esa signalni tashkil etuvchilardan birini, ya'ni birinchi garmonikani ajratish yoki yo'qotish asosida to'liq signal yoki yuqori garmonikalarning ta'sir etuvchi kuchlanishini aniqlashga asoslanadi. Signal ossillogrammasi bo'yicha chiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lhashning grafoanalitik usullari ham ushbu guruhga kiradi.

Filtrli usullar ikkita mayda guruhga bo'linadi:

birinchi garmonikani yo'qotish va ajratib olish.

Birinchi garmonikani ajratib olish keng tarqalgan usuldir. Bu usul asosida nochiziqli buzilish o'lchagichlarining hamma turlari ko'rildi. Filtr turdag'i o'lchagichilarining yaxshi namunalari 600 kgs gacha bo'lgan chastota diapazonida uzlusiz ishlaydi va xatolik 3% dan ortmaydi.

Infraqisqa chastotalarda maxsus apparaturaning murakkabligi sababli grafik usul kam qo'llaniladi. Bu usulda o'lhash qiyin, xatolik esa 10 % dan kam emas.

Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lhashning muvozanatli (kompensatsion) usuli o'lchanayotgan signal birinchi garmonikasini unga qarama-qarshi fazada bo'lgan hamda o'lchanayotgan signaldan nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti kam qiymatga ega bo'lgan boshqa signal bilan yo'qotishga asoslangan. Muvozanatlovchi kuchlanish yordamchi generatordan olinishi mumkin va unda bu kuchlanish o'lchanayotgan signalga faza bo'yicha bog'langan bo'ladi yoki bu kuchlanish tekshirilayotgan signaldan yuqori garmonikalarni filrlab olinadi (muvozanat-filtrli usul). Muvozanatlovchi kuchlanish amplitudasi nobarqaror bo'lgan holda qo'shimcha xatolik paydo bo'lishi mumkin.

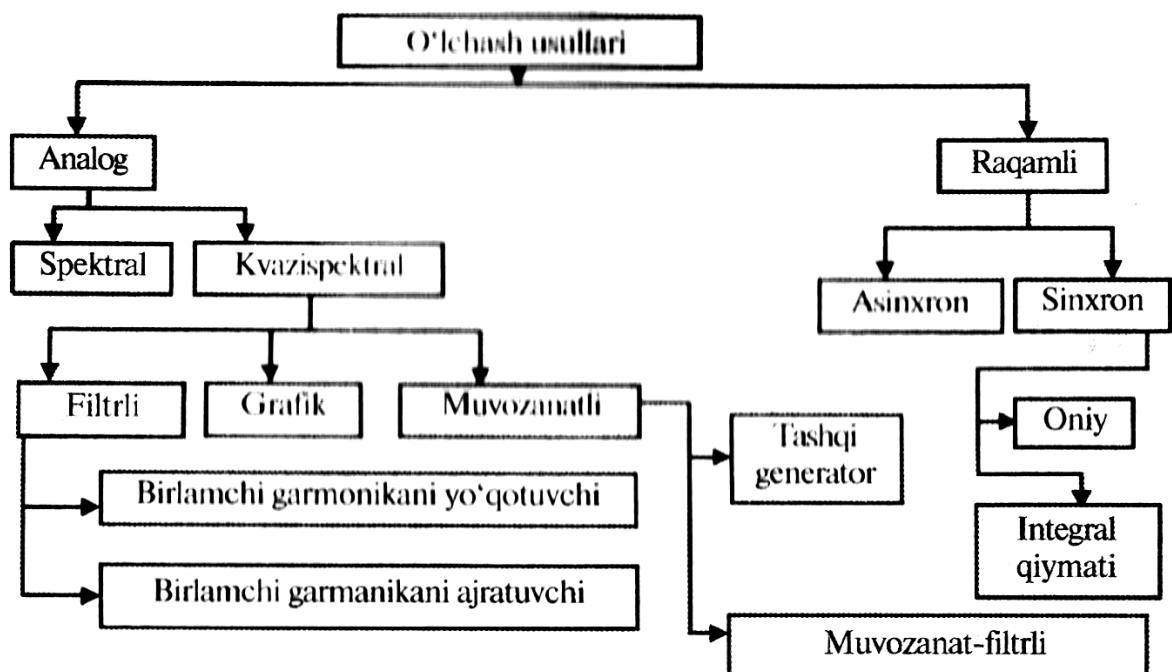
Chastota diapazoni kengayib borganda va nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentining qiymati kichik bo'lgan holda barcha analog usullar xatoligi sezilarli darajada ortib boradi, bu esa analog usullar kelajagini cheklab ko'yadi. Keng chastota va dinamik diapazonlarda yuqori aniqliq va tezkorlikka erishishini talab qilmagan xollarda nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lhashda hamda o'lhash texnikasining boshqa sohalarida o'lhashning raqamli usullari qo'llaniladi.

Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lhashning raqamli usullari o'lchanayotgan signalning "oniy" qiymatini davrning nolinchi

nuqtalarida ajratib olishga asoslanadi, bu ajratib olingan "oniy" qiymat raqamli kodga aylantiriladi va berilgan algoritm bo'yicha ishlov davom ettiriladi.

Apparaturaviy amalga oshirilishiga ko'ra raqamli usullar asinxron va sinxronga bo'linadi. Asinxron usulda o'lchanayotgan ($U_{o'lch}$) signalnnng "oniy" qiymati tanlovini amalga oshirish uchun stroblovchi impulslar yordamchi generatoridan foydalaniladi. Bu generatorning chastotasi o'lchanayotgan signal chastotasidan N marta ko'p, lekinunga karrali emas:

$$f_{str} = N(f_{o'lch} \pm \Delta) \quad (117)$$



60-rasm. Nochiziqli buzilishlarni o'lhash usullari

Bu usulning xatoligi $K_f \geq 0.5\%$ bo'lganda 0.1% dan yaxshi emas.

Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lhashning sinxron usulida o'lchanayotgan signal chastotasi va strob chastota orasida barqaror sinxronlash o'rnatiladi:

$$f_{str} = Nf_{o'lch} \quad (118)$$

Signalning past bo'lgan darajalarida nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini foizning yuzdan biri bo'lgan ulushlarini o'lhash qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi. Bu maqsadlarni amalga oshirish uchun past chastota garmonikalarining analizatorlaridan foydalaniladi,

ammo garmonika analizatori 10-20000Hz chastota diapazonida o‘z xususiy nochiziqli buzilishlar darajasiga ega bo‘ladi, ya’ni bu buzulishlar 1000 Hz gacha 0.1%, 1000 Hz dan yuqori bo‘lgan chastotalarda esa 0.05% yoki o‘zining xususiy buzulishlari nochiziqli buzulishlar koeffitsiyentini o‘lhashda taxminan 0.1%, 2000 Hz gacha bo‘lgan chastotalarda bu xatolik 10% ni tashkil qiladi.

Bundan tashqari, bu asboblar asosiy chastotadan, 60 db dan ko‘proq farqli bo‘lgan (birinchi garmonika) garmonik tashkil etuvchilarning amplitudasini o‘lhash imkonini bermaydi. Yuqori garmonikalarni o‘lhash uchun asbob sezgirligini oshirish kerak bo‘ladi, buni har doim ham amalgalashib bo‘lmaydi.

Mavjud garmonika analizatorlarida qaydlangan chastotali rejimda foydalaniladi. Spektral tashkil etuvchilar tahlili rezonans filtrning chastotasi bo‘yicha qayta sozlab qilinadi va ba’zan bunday tahlilda qayta sozlovchi supergeterodinli qabul qilgichdan foydalaniladi. Bunda indikator ekranida chastota o‘qi bo‘yicha teng turuvchi (amplituda-chastota spektri) signal garmonikasi kuzatiladi. Signalning garmonik tarkibi bo‘yicha uning nochiziqli buzilishlari baholanadi (61-rasm).

To‘rtqutblikning nochiziqli buzilishlarini boshqa usul bilan ham o‘lhash mumkin, bunda uning kirishiga vaqt bo‘yicha monoton o‘zgaruvchi, masalan, chiziqli qonun bo‘yicha o‘zgaruvchi chastota beriladi. Bu kvazigarmonik signal garmonikasini ajratish uchun sozlanishi chastota bo‘yicha qaydlangan filtrdan foydalanish yetarlidir. Signal garmonik tartibining tipik ko‘rinishi 62-rasmda keltirilgan.

Rasmda garmonikalar teskari tartibda joylashgani ko‘rinib turibdi va ular orasidagi chastota bo‘yicha bo‘lgan masofa bir xil emas, buni albatta o‘lhash jarayonida e’tiborga olish kerak. Bu usul chastota xarakteristikalarini o‘lchagichlarida qo‘llaniladi va bunda tadqiq qilinayotgan to‘rtqutbli va o‘lchagich orasiga filtr ulanishi lozim bo‘ladi.

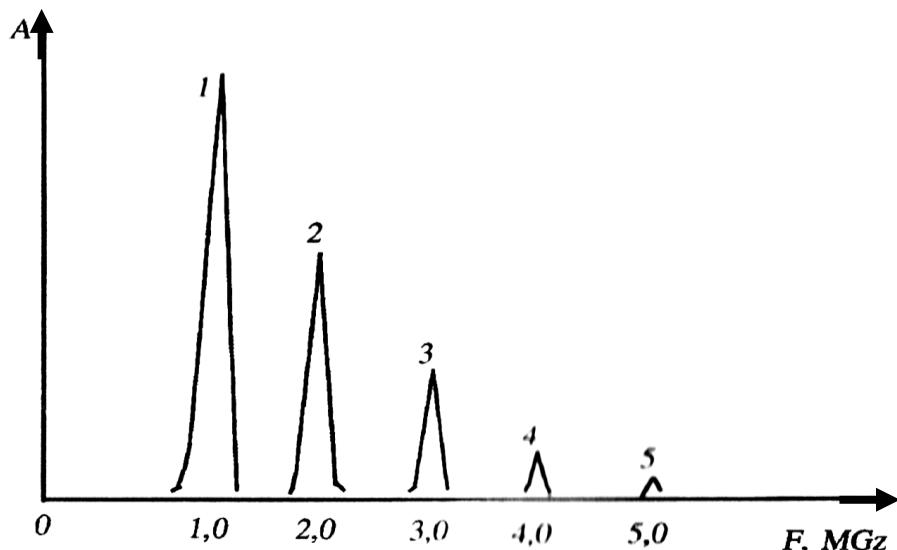
Signal buzilishlarining sabablari turlichadir:

- aloqa kanali xarakteristikalarining nochiziqliligi;
- uning inertligi;
- ichki shovqinlari;
- signalni uzatishdagagi turli xalaqitlar.

Bu omillar turli fizik tabiatga ega bo‘lgani bilan ularning ta’siri bir xil, shuning uchun yuqoridagi (chiziqli, nochiziqli shovqin) xalaqitlarini baholashning yagona usullari qidirilmoqda.

Turli buzilishlarni o‘lhash usullari o‘z yutuq va kamchiliklariga ega.

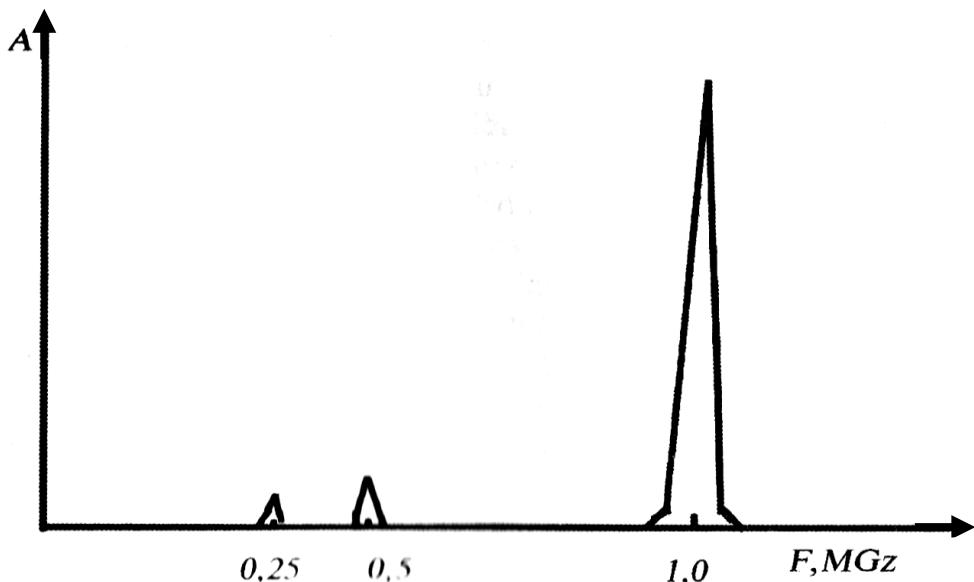
Masalan: arrasimon signaldan foydalanib amalga oshiriladigan usulda ham yuqoridagi usullar uchun umumiy bo‘lgan kamchiliklar bor.



61-rasm. Signalning garmonik tarkibi

O‘lhashlarda real signal uning modeli bilan almashtiriladi, bu esa uzatilayotgan signalning xossalari to‘liq hisobga olinishini ta’minlamaydi. Nochiziqli buzilishlarning real signal spektrini hisobga olgan holda baholovchi usul bunday kamchilikdan xolidir, lekin bu usul o‘lhash natijalariga qo‘srimcha xatolik kiritadi.

Shovqin buzilishlarini baholovchi usul (signal /shovqin, shovqin koeffitsiyenti va b.q.) statistik usul hisoblanadi, chunki ko‘plab shovqinlar fluktuatsion xarakterga ega.



62-rasm. Kvazigarmonik signal garmonik tarkibining tipik ko‘rinishi

Ma’lum bo‘lgan usullardan faqat korrelyatsion usul buzilishlarning hamma turi uchun qo‘llanishi mumkin va bunda uzatilayotgan signalning xossalari e’tiborga olinadi. Ammo bu usul chiqish signalidan buzilishlar tashkil etuvchisini ajratib olish imkoniga ega emas va ularni miqdoran baholashni ta’minlay olmaydi.

Radioo‘lchashlarda signalning turli buzilishlarini aniqlashda yagona usul sifatida funksiyalarning yaqinlashish usulini qo‘llash mumkin va bu asosda buzilishlar kattalik sifatida aniqlanadi. Bu kattalik bir xil kirish signallariga ega bo‘lgan real va ideal sistemalardagi chiqish signallari farqining darajasini xarakterlaydi.

Nazorat savollari

1. Signal shaklinining buzilishlari haqida umumiyligi ma’lumot bering.
2. Nochiziqli buzilishlar qanday baholanadi?
3. Nochiziqli buzilishlarning o‘lchash usullarini aytib bering.
4. Nochiziqli buzilish va garmonik koeffitsiyenti nimaga teng?
5. Nochiziqli buzilishlarni baholash qanday asboblarda amalga oshiriladi?

ADABIYOTLAR

1. Xasanov М.М., Gulyamova S.T., Jabborov A.B. Radioo‘lchov fanidan ma’ruzalar matni. – Т.: ToshDTU, 2017. – 148 б.
2. Исматуллаев П.Р., Кадыров Ш.А., Газиев Г.А. Электро-радиоизмерения. – Ташкент: ТГТУ, 2007.
3. S.K. Mazumder. High-Frequency Inverters. – Burlington, Massachusetts: Academic Press, 2014.
4. Парпиев М.П., Каримова У.Н. Электрорадиоўлчашлар фанидан маърузалар матни. – Т.: ТАТУ, 2003.
5. Метрология и электрорадиоизмерении в телекоммуникационных системах. Учебник для вузов/ В.И. Нефёдов, В.И. Хахин, Е.В Федорова и др.: Под ред. В.И. Федоров. – М.: Высшая школа, 2003.
6. Журавлева Л.В. Электрорадиоизмерения. – М.: Академия, 2004.
7. Классен К.Б. Основы измерений. – М.: Постмаркет, 2000.
8. Чуйко В.Г. Радиоизмерения. – М.: МГИЭТ, 2001.
9. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. Учебное пособие под редакцией Б.Н. Тихонова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

MUNDARIJA

So‘z boshi.....	3
1-ma’ruza. Kirish. Asosiy tushuncha va ta’riflar.....	4
2-ma’ruza. O‘lchash turlari, usullari va xatoligi.....	11
3-ma’ruza. O‘lchash xatoliklari va ularning klassifikatsiyasi.....	21
4-ma’ruza. Bevosita va bilvosita o‘lchashlar.....	26
5-ma’ruza. Elektroradioo‘lchash vositalarining asosiy metrologik tavsiflari.....	30
6-ma’ruza. Radioo‘lchash vositalari.....	35
7-ma’ruza. Radioo‘lchash vositalari (davomi).....	46
8-9-ma’ruzalar. Impulsli va raqamli o‘lchash usullari.....	55
10-ma’ruza. O‘lchov generatorlari.....	64
11-12-ma’ruzalar. O‘lchov generatorlari(davomi).....	74
13-ma’ruza. Signal shaklini va parametrini tekshirish.....	84
14-ma’ruza. Faza siljishini o‘lchash.....	97
15-ma’ruza. Radiosignal spektrini analiz qilish.....	108
16-ma’ruza. Radiosignal nochiziqli buzilishlarini o‘lchash.....	118
Adabiyotlar.....	127

Muharrir: Miryusupova Z.M.