

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI
O‘RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA‘LIMI MARKAZI**

RADIOTEKNIK O‘LCHOVLAR

Kasb-hunar kollejlari uchun o‘quv qo‘llanma

Toshkent – «ILM ZIYO» – 2016

UO'K: 621.37.1.08(075.32)

KBK 32.84

И 78

*Oliy va o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi ilmiy-metodik
birlashmalari faoliyatini muvofiqlashtiruvchi Kengash
tomonidan nashrga tavsiya etilgan.*

Ushbu o'quv qo'llanmaga o'lchovshunoslik bo'yicha asosiy atamalar, kattaliklar va ularning o'lchov birliklari, o'lchash usullari, o'lchash vositalarining metrologik tavsiflari, davlat metrologiya xizmati, metrologik tekshiruv va nazorat, o'lchash xatoliklarining tasnifi, signallar, o'lchov signallarining generatorlari, o'lchash ko'priklari, signal shaklining buzilishlari, raqamli fazamentlarning ish tamoyili, vaqt diagrammalari, fazalar farqi, chastotani o'lchash vositalarining ish tamoyillari hamda elektr shovqin turlari to'g'risida ma'lumotlar va mavzular bo'yicha masalalar, testlar to'plami keltirilgan.

Mualliflar: **R.I. ISAYEV, M.P. PARPIYEV, U.N. KARIMOVA,
G.S. RAHMONOVA, Y.J. DAULATOV.**

Taqrizchilar: **I.R. BERGANOV** – texnika fanlari nomzodi, dotsent;
D.A. DAVRONBEKOV – texnika fanlari nomzodi, dotsent.

ISBN 978-9943-16-236-5

© R.I. Isayev va boshq., 2016-y.

© «ILM ZIYO» nashriyot uyi, 2016-y.

KIRISH

Insoniyat hayotida o'lchashlarning o'rni beqiyosdir. Bugungi kunda turli, xususan, telekommunikatsiya, gidrometrologiya, radioelektronika kabi sohalarga xorijdan raqamli o'lchash vositalarining kirib kelishi mutaxassislar uchun yangi malakaviy talablar o'rnatmoqda. Ushbu talablarga javob berish uchun radio-texnik qurilmalar va o'lchash vositalarining ish tamoyillarini hamda qator parametrlarni o'lchash va qiyoslash usullarini bilish muhimdir. O'lchashlar aniq o'lchash vositalari yordamida amalga oshiriladi. Ulardan foydalanib signallar shaklini vizual nazorat qilish, parametrlarni o'lchash, radioelektron va aloqa qurilmalarining tasvirlarini hamda kuchlanishning turli qiymatlarini o'lchash, chastota va fazalar farqi, nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini hamda signal spektrini tahlil qilish mumkin, bunda o'lchashlar aniqligi va ishonchligi muhimdir.

Telekommunikatsiya, axborot-o'lchov tizimlari gidrometrologiya va radioelektronika sohasining turli yo'nalishlaridagi rivojlanish hamda kompyuter texnologiyalarining joriy qilinishi, o'lchash vositalarini, o'lchashning yangi usullari hamda yangi nazorat vositalarining yaratilishini taqozo etmoqda. O'lchash jarayonidagi turli muammolarni yechish uchun yagona ilmiy va qonuniy asos zarurdir. Bunday asos sifatida radioo'lchashlarni qabul qilish mumkin. O'lchashlarning yuqori aniqligi radioo'lchashlar orqali amalga oshiriladi.

Ushbu «Radiotexnik o'lchovlar» o'quv qo'llanmasida elektr signali va ularning parametrlari, tebranishlar davr tezligi, vaqt oraliqlari, fazalar orasidagi siljish, sinov signallarning generatorlari, signallar shaklining buzilishi hamda radiotexnik zanjirlar tasnifi va boshqalar to'g'risidagi ma'lumotlar, masalalar va ularni yechish namunalari keltirilgan. Bu tushunchalar kollej talabalariga o'z sohalarini atroflicha o'zlashtirishlari uchun mo'ljallangan.

1-BOB.
**O‘LCHASHLAR, O‘LCHASH XATOLIKLARI
VA O‘LCHASH VOSITALARI TO‘G‘RISIDA
UMUMIY MA‘LUMOTLAR**

1.1. Asosiy tushuncha va atamalar

Telekommunikatsion, metrologiya va axborot-o‘lchov tizimlari hamda radioelektron vositalar sohasida turli yo‘nalishlarni har tomonlama rivojlantirish, radioelektron sanoatning jadal o‘sishi, kompyuterlarning yaratilishi (kiritilishi), ishlab chiqishni avtomatlashtirishning metrologik ta‘minoti o‘lchash qurilmalarining yangi o‘lchash usullari va vositalarining nazoratini takomillashtirmoqda.

Radioelektron qurilmalar va aloqa tizimlarini tadqiq qilish, qayta ishlash, ishlab chiqarish va ekspluatatsiya qilishda muhandislarining ishi radiotexnik kattaliklarni o‘lchashni ko‘p marotaba amalga oshirish bilan bog‘liq bo‘ladi.

O‘lchashlarning qanchalik to‘g‘ri va tez o‘tkazilishi, qayta ishlash muddatlari, sifat ko‘rsatkichlari va qurilmalarning chidamliligi hamda ularni yaratish va ulardan foydalanish xarajatlar bilan bog‘liqdir.

Aniqlangan signal	Oniy qiymatlari vaqtning istalgan davrida 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'lchash asbobining sanash qurilmasi bo'yicha aniqlanadigan usuli
Bevosita baholash	Kattalikning bevosita o'lchovchi o'lchash asbobining sanash qurilmasi bo'yicha aniqlangan qiymati
Bevosita o'lchash	Kattalikning izlanayotgan qiymati bevosita tajriba ma'lumotidan topiladigan o'lchash
Bir tekis shkala	Bo'linmalari o'zgarmas uzunlikdagi shkala, ba'zi hollarda bo'linish qiymati o'zgarmas bo'lgan shkala
Birlamchi o'lchash o'zgartirgichi	O'lchanadigan kattalik berilgan o'lchov zanjiridagi birinchi o'lchash o'zgartirgichi
Birlik etaloni	Birlikni uning o'lchamini qiyoslash sxemasi bo'yicha quyi turgan o'lchash vositalariga uzatish maqsadida ifodalash va (yoki) saqlashni ta'minlovchi maxsus spetsifikatsiya bo'yicha bajarilgan va belgilangan tartibda etalon sifatida rasmiy tasdiqlangan o'lchashlar vositasi (yoki o'lchash vositalari majmuyi)
Birlik etaloni	Birlikni qiyoslash bo'yicha quyida turgan o'lchash vositalariga uzatish maqsadida tiklash, takrorlash va saqlashni ta'minlovchi etalon sifatida rasmiy tasdiqlangan o'lchashlar vositasi yoki o'lchash vositalari majmuasi
Boshlang'ich namunaviy o'lchash vositasi	Metrologiya xizmati idorasi qiyoslash sxemasining yuqori talabiga mos keluvchi namunaviy o'lchov yoki namunaviy o'lchash asbobi

Daraja (kattalik)	Fizik kattalik qiymatining tayanch qiymatga yoki shu kattalikni taqqoslash uchun tanlab olingan uzatish liniyasi nuqtasidagi qiymatga nisbatining logarifmi ko'rinishida ifodalangan fizik kattalik o'lchami
Daraja o'lchagichi	Xalaqitlar mavjud bo'lgan sharoitda sinusoidal kuchlanishni chastotalarning muayyan tor polosasida o'lchash uchun mo'ljallangan asbob
Etalonlar	Fan va texnikaning eng yuksak saviyadagi aniqlik bilan ishlangan namunaviy o'lchovlari
Fizikaviy 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 boshlang'ich 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 yig'indisi o'rtacha kvadratik kuchlanishining birinchi garmonikaning o'rtacha kvadratik kuchlanishi nisbatiga teng koeffitsiyent
Ishchi o'lchash vositasi	Birliklar o'lchamini uzatish bilan bog'liq bo'lmagan o'lchashlar uchun qo'llaniladigan o'lchash vositasi

Metrologiya	O'lchash, usul va vositalarning birligini va talab qilingan aniqlikka erishish yo'llarini ta'minlaydigan fan
Namuna o'lchash vositalari	Ish o'lchash asboblari tekshirish va ularni o'zlari bo'yicha darajalashga xizmat qiladi
O'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati	Yo'l qo'yilgan xatoliklar ta'sirida olingan natijalar qiymatidir
O'lchash	Maxsus texnik vositalar yordamida fizik kattaliklar qiymatlarini tajriba yo'li bilan topish demakdir
O'lchash vositasi	Normallashtirilgan metrologik tavsifga ega bo'lgan o'lchash asbobi. O'z navbatida, o'lchov, o'lchash o'zgartirgichlari, o'lchov asboblari, o'lchash axborot tizimi va qurilmalari kabi turkumlarga bo'linadi
O'lchash xatoligi	O'lchash natijasining o'lchanayotgan kattalikning asl qiymatidan farqlanishidir
O'lchash aniqligi	O'lchanayotgan kattalikning o'lchash natijalarining haqiqiy qiymatlarga yaqinligini aks ettiruvchi o'lchash sifatidir
O'lchov	Berilgan o'lchamli fizik kattaliklarni qayta tiklash uchun mo'ljallangan o'lchash vositasi
O'lchov birligi	O'lchash natijasi ko'rsatilgan birlikda ifodalangan va o'lchash xatoligi berilgan ehtimollikda ma'lum bo'lgan o'lchash holatidir
O'lchovlar	Bir qiymatli, ko'p qiymatli va o'lchovlar to'plamidan iborat bo'ladi

1.2. Fizik kattaliklar va ularning o'lchov birliklari

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'lchash mumkin bo'lgan kattaliklar (uzunlik, massa) va formulalar asosida hisoblash mumkin bo'lgan fizik kattaliklar (hajm, zichlik va hokazo).

Fizik kattaliklarni o'lchash uchun birliklar tanlab olinadi. O'lchash 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. Ular 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'shimcha birlik sifatida qabul qilingan.

Turli kattaliklar orasidagi bog'lanishlarini 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'shimchalar qo'shilishi kerak.

Nomi	Belgisi	Karralisi	Ma'nosi
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
detsi	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

ST SEV 1052-78 standartda SI birliklari bilan bir qatorda sistemaga kirmagan ba'zi birliklardan foydalanishga ruxsat etilgan.

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

1.3. Xalqaro birliklar sistemasi

Fan va texnikaning hamda iqtisodiy aloqalarning rivojlanishi o'lchov birliklarining xalqaro masshtabda yagonaligini ta'minlashga olib keldi.

Amaliyotda qulay va o'lchashning turli sohasini o'z ichiga oluvchi yagona birliklar sistemasi talab qilindi. Bunday birliklar sistemasining loyihasi o'lchovlar va og'irlik (1960) XI General konferensiyasida tasdiqlandi.

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

GOST 8.417-81 ga muvofiq SI sistemasi 7 ta fizik kattalikdan iborat.

1.1-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	Kripton-86 atomining $2R_{10}$ va $5d_5$ sathlari orasidagi o'tishga mos bo'lgan vakuumdagi nurlanishning 1,650,763,73 to'liq uzunligi 1 metr deb qabul qilingan.
Massa	kilogramm	kg	Xalqaro kilogramm prototipining massasi 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-vakuumba 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.
Termodynamik temperatura	kelvin	K	Suvning uchlanma nuqtasini xarakterlovchi termodinamik temperaturaning 1/273,16 ulushi 1 kelvin deb qabul qilingan.

1	2	3	4
Modda miqdori	mol	mol	Uglerod-12 ning 0,012 kg massasidagi atomlar soniga teng element (masalan, atom, molekula, ion)lardan tashkil topgan sistemadagi modda miqdori 1 mol deb qabul qilingan.
Yorug'lik kuchi	kandela	cd	101325 Pa bosim ostidagi platinaning qotish temperaturasiga teng temperaturadagi to'la nurlangichning $1/600000 \text{ m}^2$ yuzidan perpendikular yo'nalishda chiqarilayotgan yorug'lik kuchi 1 kandela deb qabul qilingan.

Qo'shimcha birliklar

Yassi burchak	radian	rad	Uzunligi radiusiga teng yoyga (aylana yoyiga) tiriluvchi markaziy burchak 1 radian deb qabul qilingan.
Fazoviy burchak	steradian	sr	Uchi sfera markazida bo'lgan va shu sfera sirtidan radius kvadratiga teng yuzli sirtini ajratadigan fazoviy burchak 1 steradian deb qabul qilingan.

Hosilaviy birliklar

Yuz	metr kvadrat	m^2	1 m^2 – tomonlarining uzunligi 1 m dan bo'lgan kvadratning yuzi
Hajm	metr kub	m^3	1 m^3 qirralarining uzunligi 1 metrdan bo'lgan kubning hajmi
Elektr zaryad miqdori	kulon	C	1 C – tok kuchi 1 A bo'lgan ko'ndalang kesimdan 1 s davomida o'tgan elektr zaryad miqdori.

1	2	3	4
Elektr qarshilik	om	Ω	1 Ω – ikki uchidagi potentsiallar farqi (kuchlanish) 1 V bo'lganda 1 A tok o'tadigan o'tkazgichning elektr qarshiligi.
Elektr kuchlanish	volt	V	1 V – o'zgarmas tok kuchi 1 A bo'lgan holda elektr zanjirning 1W quvvat sarflanadigan qismidagi kuchlanish.
Elektr sig'im	farad	F	1 F – 1 C zaryad berilganda potentsiali 1 V ga ortadigan o'tkazgichning elektr sig'imidir.
Induktivlik	genri	H	1 H – shunday o'tkazgichki (konturning induktivligi), undan 1 A tok o'tganda vujudga keladigan to'la magnit oqim 1 Wb ga teng bo'ladi.
Magnit induksiyasi	tesla	T	1 T – yuzi 1 m ² li ko'ndalang kesimdan 1 Wb ga teng magnit oqim o'tadigan holdagi magnit induksiyadir.
Magnit oqim	veber	Wb	1 Wb – shunday magnit oqimki, uning nolgacha kamayib borish jarayonida mazkur magnit oqim bilan tutingan elektr qarshiligi 1 Ω bo'lgan elektr zanjirning ko'ndalang kesimidan 1 C elektr zaryad o'tadi.
Quvvat	vatt	W	1 W – 1 s davomida 1 J ish bajaradigan mashina (yohud ish bajaruvchi)ning quvvati.

1	2	3	4
Ish (el.energiya)	joul	J	1 J – 1 N kuch ta’sirida jismni (ta’sir etuvchi kuch yo’nalishida) 1 m masofaga ko’chirishda bajarilgan ish.
Issiqlik miqdori	joul taqsim kelvin	J/K	1 J/K – shunday sistemaning issiqlik sig’imiki, bu sistemaga 1 J issiqlik miqdori berilganda uning temperaturasi 1 K ga ortadi.

Elektr o’lchashlarda tizimga kirmagan logarifmik birliklardan keng foydalaniladi.

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

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

Ular orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB};$$

$$1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np}.$$

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

Uzatishning absolut va nisbiy darajalaridan darajalar diagrammasini qurishda foydalaniladi.

1.4. O'lchash xatoliklari va ularning tasnifi

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

O'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatidan chetlashishi – **o'lchash xatoligi** deb aytiladi.

O'lchash xatoliklari quyidagicha tasniflanadi:

1) xatoliklarning namoyon bo'lish xarakteriga ko'ra (muntazam, tasodifiy va qo'pol xatoliklar);

2) sonli ifodalanish usuliga ko'ra (absolut, 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'zgarimas bo'lib qoladigan yoki biror qonun bo'yicha o'zgaradigan o'lchash xatoligi tushuniladi. Ular aniq qiymat va ishoraga ega bo'ladi, ularni tuzatmalar kiritish yo'li bilan yo'qotish mumkin.

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

Xatoliklar:

a) instrumental (o'lchash asboblari);

b) o'lchash usuli;

d) subyektiv (noaniq o'qish);

e) o'rnatish;

f) uslubiy xatoliklarga bo'linadi.

Instrumental xatolik deyilganda, qo'llanilayotgan o'lchash asboblari xatoliklariga bog'liq bo'lgan o'lchash xatoliklari tushu-

niladi, bu xatolik tuzatma kiritish usuli bilan yo'qotiladi. Texnik o'lchash asboblarning instrumental xatoliklarini yo'qotib bo'lmaydi, chunki bu asboblarning tuzatmalar bilan ta'minlanadi.

O'lchash usuli xatoligi deyilganda, usulning takomillashmaganligi natijasida kelib chiqadigan xatolik tushuniladi. Bu xatolik o'lchash vositasi, xususan, o'lchash qurilmasi, ba'zida esa o'lchash natijasi xatoliklarini baholashda e'tiborga olinishi lozim.

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

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

O'lchash metodikasi xatoliklari – kattaliklarni o'lchash shartlari metodikasi bilan bog'liq bo'lgan va qo'llanilayotgan o'lchash asboblarga bog'liq bo'lmagan xatoliklardan iborat. Ayniqsa, aniq o'lchashlarni bajarishda o'lchash natijasida muntazam xatoliklar anchagina buzilishi mumkin.

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

Agar har bir o'lchash natijasi boshqalaridan farq qilsa, u holda tasodifiy xatolik mavjud bo'ladi. Shu xatoliklarni baholash ehtimollar nazariyasi va matematik statistika nazariyasiga asoslangan bo'lib, ular o'lchash natijasi o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinlashishi darajasini baholash metodlarini, xatolik ehtimoliy chegarasini baholash imkonini beradi, ya'ni natijani aniqlash, boshqacha aytganda, o'lchanayotgan kattalik-

ning haqiqiy qiymatiga anchagina yaqin qiymatini topish va bir karrali kuzatish natijasini topish imkonini beradi.

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

Yuqorida aytilganidek, o'lchash natijasi hech qachon absolut aniq yoki fizik kattalikning asl qiymatiga teng bo'lmaydi. Bunga ko'p omillar sabab bo'ladi.

1. Agar xatolik o'lchanayotgan kattalikning o'lchov birliklarida ifodalangan bo'lsa, bunday xatolik absolut yoki mutlaq xatolik deyiladi.

$$\Delta A = A_{o'lch} - A_{haq}. \quad (1.1)$$

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

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_{haq}} \cdot 100\% = \frac{A_{o'lch} - A_{haq}}{A_{haq}} \cdot 100\%. \quad (1.2)$$

O'lchash vositalarining xatoliklari quyidagilardir:

- 1) absolut xatolik;
- 2) nisbiy xatolik;
- 3) keltirilgan xatolik.

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

$$\Delta A = A_{o'lch} - A_{haq} = \pm \Delta A. \quad (1.3)$$

Bunda xatolar musbat yoki manfiy ishora bilan kattalikning birliklarida ifodalanadi.

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

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

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_{\text{haq}}} \cdot 100\%; \quad \gamma_{\text{kel}} = \frac{\Delta A}{A_{\text{max}}} \cdot 100\%; \quad [A_{\text{max}}] \text{ yoki } [A_{\text{nam}}]. \quad (1.4)$$

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

$$A_{\text{haq. yoki o'lch.}} = K_{\text{max}} \cdot \quad (1.5)$$

Keltirilgan xatolik γ_{kel} – asbobning aniqlik sinfini $K_{\text{a.c.}}$ xa-rakterlaydi.

DST (22261-82; 8,009-84)ga binoan aniqlik sinfining quyi-dagi 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'rinli:

$$K_{\text{a.c.}} \geq |\gamma_{\text{kel}}|. \quad (1.6)$$

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

3. O'lchanayotgan kattalikka bog'liqligi hisobga olingan hol-da xatolik additiv (absolut) va multiplikativ xatoliklarga ajrati-ladi.

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

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

Agar xatolikning qiymati diapazon bo'yicha doimiy bo'lsa (1-chiziq), o'lchash vositasining bunday xatosi *additiv xato* deyi-

ladi. Agar o'lchash vositasi faqat additiv xatolikka ega bo'lsa, unda asbobning xatoligi absolut 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 chiziqlar) diapazonda doimiy bo'lib qoladi. Shuning uchun bu xatolik nisbiy xatolik tarzida normallashtiriladi (1.1-rasm).

Multiplikativ xatolik nochiziqli elementli qurilmalarda paydo bo'ladi. Masalan: ACHTning o'lchashida multiplikativ xatolik paydo bo'ladi.

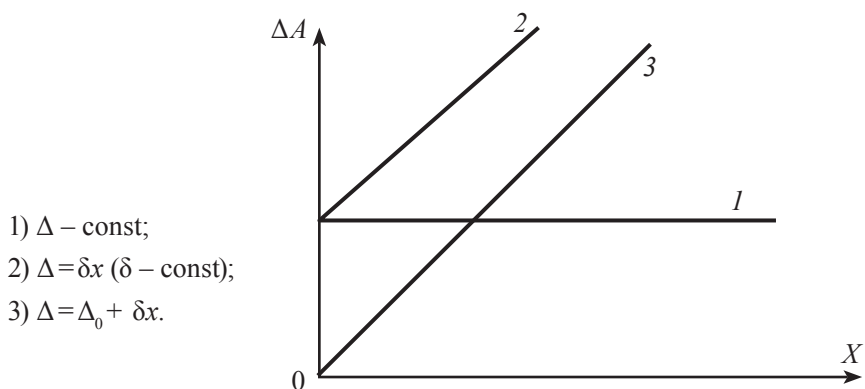
Ko'rsatkichli asboblarda uchun nisbiy xatolik 0,5–0,6 % ni tashkil qiladi.

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

Statik tartibida o'lchanayotgan kattalik vaqt bo'yicha o'zgar-maydi. Dinamik rejimda o'lchanayotgan kattalik vaqt bo'yicha o'zgaradi. Shunga ko'ra, ular o'lchash vositalarining statik xato-ligi va dinamik tartibidagi xatoligi deb yuritiladi.

5. Asosiy va qo'shimcha xatoliklar. Asosiy xatoliklar: tempe-ratura, atmosfera bosimi va havoning nisbiy namligi.

Qo'shimcha xatoliklar: ta'minlash kuchlanishi, elektr tarmoq kuchlanishi, xalaqitlar, magnit maydoni kuchlanganligi. O'l-



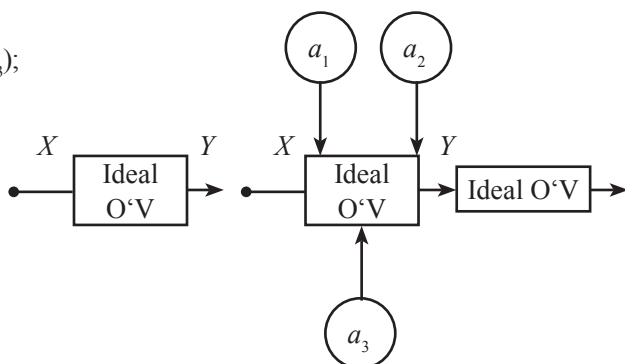
1.1-rasm. Xatolikning o'lchash diapazoni bo'yicha o'zgarishi.

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

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

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

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



$$Y = KX$$

O'lchash natijasi

1.2-rasm. Tashqi omillarning o'lchash vositalariga ta'siri:

a_1 – asbob shovqini va uning elementlarining eskirishi;

a_2 – ishlab chiqarishda parametrlarning chetlanishi;

a_3 – atrof-muhit parametrlarining ta'siri.

chash vositasi o'lchash o'tkazilayotgan zanjir bilan o'zaro ta'sirlashadi. O'lchash vositasi va elektr zanjirining bir-biriga ta'siri usuliy xatoliklarning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi.

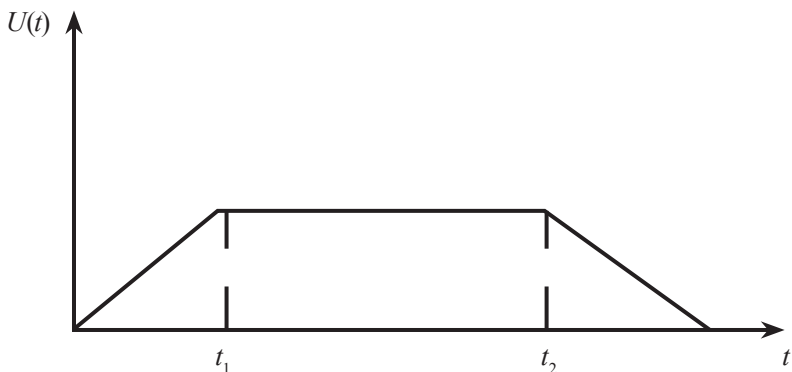
1.5. O'lchash turlari va o'lchash usullari tasnifi

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

- xarakter bo'yicha;
- o'lchash usullari bo'yicha;
- o'lchash natijalarini ifodalash usullari bo'yicha;
- foydalanilgan o'lchash usuli bo'yicha.

O'lchanayotgan kattalikning vaqtga bog'lanishlik xarakteri bo'yicha o'lchashlar statik va dinamik bo'ladi.

Statik o'lchash, bunda o'lchanayotgan kattalik o'zgarmas bo'ladi. Masalan, termostat.

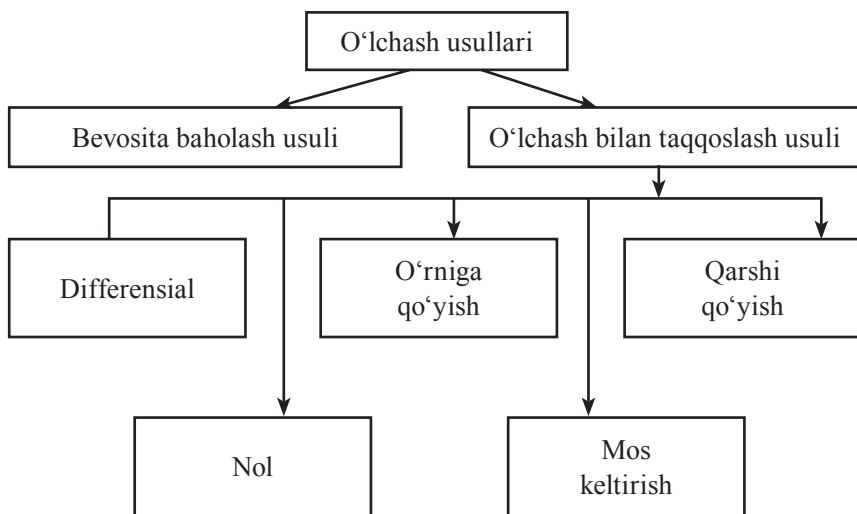


1.3-rasm. Kattalikning vaqtga bog‘liqligi.

Dinamik o‘lchash, bunda o‘lchanayotgan kattalik *vaqtga* bog‘liq bo‘ladi. Masalan, elektr kuchlanishining vaqtga bog‘liqligi.

O‘lchash turi bo‘yicha: bevosita, bilvosita, birgalikda va birlashtirib. O‘lchash usullarining tasnifi 1.4-rasmda keltirilgan:

O‘lchanayotgan kattalikning son qiymati bevosita, bilvosita, birlashtirib va birgalikda o‘lchash turlari yordamida topiladi.



1.4-rasm. O‘lchash usullarining tasnifi.

Laboratoriya amaliyotiga va ilmiy tekshirishlarda birlashtirib va birgalikda o'lchash usullaridan foydalaniladi.

Bevosita o'lchash deb shunday o'lchashga aytiladiki, unda o'lchanayotgan kattalikning izlanayotgan qiymati tajriba ma'lumotlaridan bevosita aniqlanadi.

Masalan, voltmetr bilan manbaning kuchlanishini va ampermetr bilan tok kuchining kattaligini o'lchash.

Bilvosita o'lchash deb shunday o'lchashga aytiladiki, unda o'lchash natijasi o'lchanayotgan kattalik bilan ma'lum munosabat yordamida bog'langan kattaliklarni bevosita o'lchashga asoslangan bo'ladi. Bilvosita o'lchashda o'lchanayotgan kattalikning qiymati quyidagi tenglamani yechish yo'li bilan topiladi:

$$X = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n). \quad (1.7)$$

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

$$R_x = U_x / I_x. \quad (1.8)$$

Unga rezistordaga kuchlanishing tushgan qiymati va rezistordan o'tgan tokning qiymati qo'yiladi. Birlashtirilib o'lchash bir nechta bir nomli kattaliklarni bir vaqtda o'lchashdan iborat bo'lib, unda izlangan kattaliklarning qiymatlari bevosita o'lchashda hosil qilingan tenglamalar tizimidan topiladi.

Masalan, uchburchak usulida ulangan rezistorlarning qarshiligini o'lchaganda uchburchakning turli uchlaridagi qarshiliklar o'lchanadi va uch o'lchov natijalari asosida rezistorlarning qarshiliklari aniqlanadi.

Birgalikda o'lchash deb, bir vaqtda ikki yoki bir necha turli nomli kattaliklarni, ular orasidagi funksional bog'lanishlarni, munosabatlarni topish uchun olib borilgan o'lchashlarga aytiladi va bunda tenglamalar sistemasi yechiladi.

$$F(x_1, x_2, x_3, x_a, x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) = 0$$

$$F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) = 0 \quad (1.9)$$

$$F(x_1, x_2, x_3, x_n, x_1^{(n)}, x_2^{(n)}, x_3^{(n)}, \dots, x_m^{(n)}) = 0$$

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – noma'lum kattaliklar;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_m; x_1, x_2, x_3, \dots, x_m; x_1^{(n)}, x_2^{(n)}, x_3^{(n)}, \dots, x_m^{(n)}$ – o'lchangan kattalik qiymati.

Birgalikda o'lchashga misol: Rezistor qarshiligining temperaturaga bog'liqligini aniqlash:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2). \quad (1.10)$$

3 ta turli temperaturada 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 temperaturasi.

O'lchash prinsipini va vositasini belgilab beradigan usullar *o'lchash usuli* deb ataladi. O'lchashlarda quyidagi usullardan foydalaniladi:

1) bevosita, ya'ni to'g'ridan to'g'ri baholash usuli;

2) o'lchov bilan taqqoslash usuli, u, o'z navbatida, quyidagi usullarni o'z ichiga oladi:

a) differensial (ayirmali) usul;

b) nol (kompensatsion) usul;

d) o'rniga qo'yish usuli;

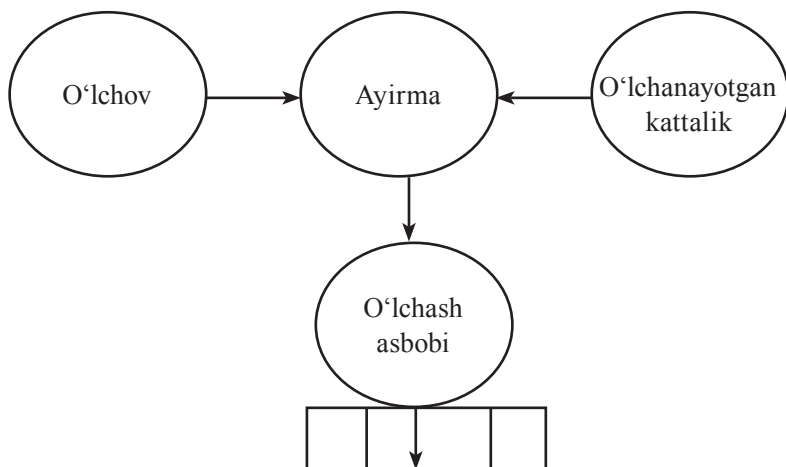
e) moslashtirish usuli (mos keltirish).

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 asboblardan shu usulga asosan qurilgan.

O'lchov bilan taqqoslash usuli:

a) differensial usul yoki ayirmali usul, bu usul o'lchanayotgan va ma'lum kattaliklarning ayirmasini o'lchashni xarakterlaydi, ya'ni kattaliklar orasidagi farq o'lchash asbobiga ta'sir ko'rsatadi.



1.5-rasm. Differensial usul chizmasi.

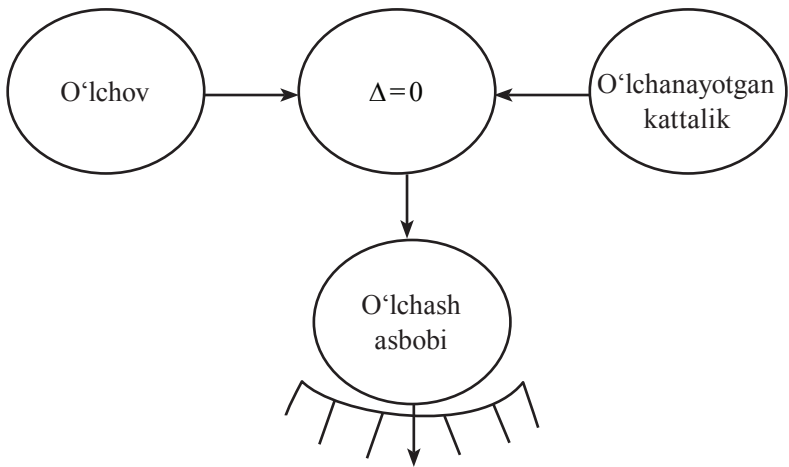
Agar $X = X_0 + \Delta$ va $\Delta = 0$ bo'lsa, differensial usul «nol» usulga aylanadi.

Bu usul o'lchov asboblarini tekshirishda keng qo'llaniladi. Uncha aniq bo'lmagan o'lchash asboblaridan foydalanilganda ham yuqori aniqlikda natijalar olish imkoni mavjud.

Masalan, tok va kuchlanish o'lchov transformatorlarida. Elektro'lchov texnikasida keng foydalaniladigan o'zgaruvchan va o'zgarmas tok ko'priklarining ishi shu usulga asoslangan.

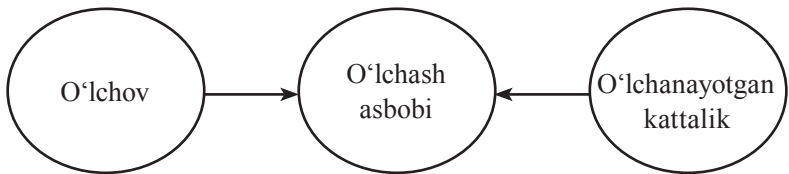
Nol usulida o'lchash yuqori aniqlikni ta'minlaydi. Masalan, elektr qarshilikli ko'prik yordamida o'lchash.

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.



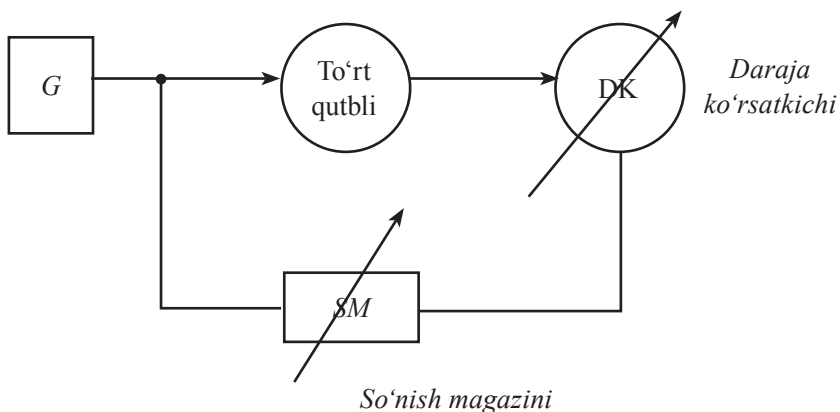
1.6-rasm. Nol muvozanatlash usuli.

Qarshi qo‘yish usuli. O‘lchanayotgan va qiymati ma’lum kattalik bir vaqtda taqqoslash asbobiga ta’sir ko‘rsatadi va bu ta’sir yordamida bu kattaliklar orasidagi munosabat tiklanadi.



1.7-rasm. Qarshi qo‘yish usuli.

O‘rniga qo‘yish usuli – dastlab o‘lchash qurilmasiga parametri noma’lum bo‘lgan o‘lchanayotgan element ulanadi va asbobning ko‘rsatishi yozib olinadi. Keyin esa bu element o‘rniga boshqa ma’lum parametrlil element ulanadi va uning qiymati o‘lchash asbobining dastlabki ko‘rsatkichiga tenglashguncha o‘zgartiriladi. Bu holda o‘lchangan va ma’lum kattalik qiymatlari bir-biriga teng bo‘ladi.



1.8-rasm. O'rniga qo'yish usuli bilan to'rtqutblining parametrlarini o'lchash chizmasi.

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

Barcha o'lchashlar analog-uzluksiz va uzlukli o'lchashlarga bo'linadi.

Analog-uzluksiz o'lchashda o'lchanayotgan kattalikning qiymati uzluksiz ravishda qayd qilinadi.

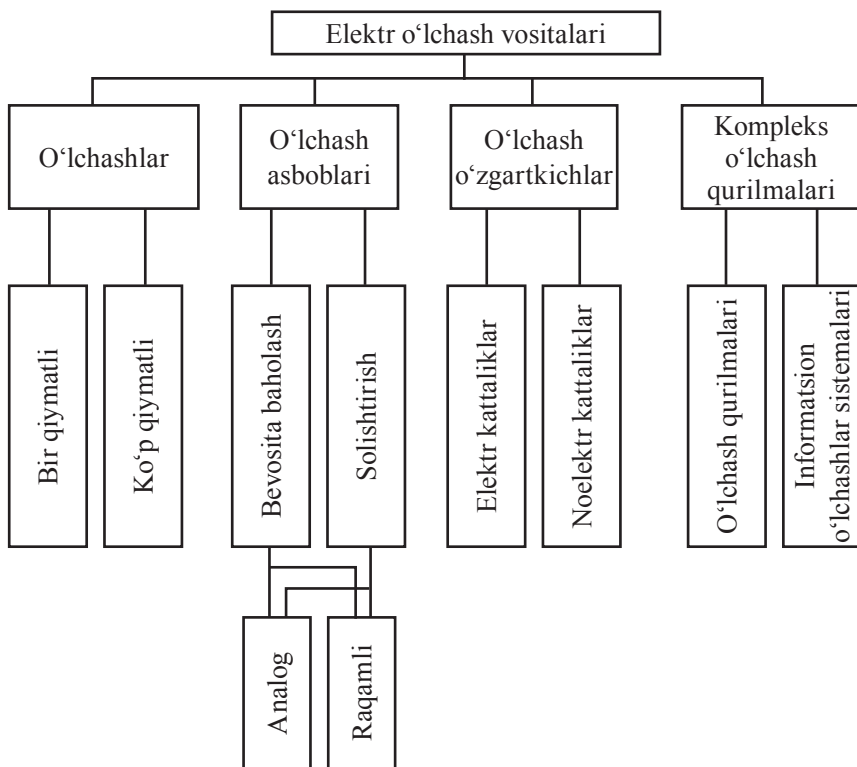
Uzlukli-diskret o'lchashda esa o'lchashlar natijasi faqat ayrim vaqt momentlarida qayd qilinadi.

1.6. O'lchash vositalarining metrologik tavsiflari

O'lchash vositalarining me'yorlashtirilgan metrologik tavsifi GOST 8,009-84 da keltirilgan.

- a) o'zgartirish funksiyasi;
- b) sezgirlik;
- d) nisbiy sezgirlik;
- e) o'lchash diapazoni va chegarasi;
- f) o'lchash asbobining variatsiyasi;
- g) o'lchash vositalarining kirish va chiqish tavsiflari.

Ulardan asosiylarini qarab chiqamiz.



1.9-rasm. Elektr o'lchash vositalarining tasnifi.

O'zgartirish funksiyasi. O'lchash vositasining chiqish kattaligi va kirish signali orasidagi bog'lanish o'zgartirish funksiyasi deyiladi. Bundan tashqari, darajalash tavsifi, o'zgartirish tenglamasi, o'zgartirish tavsifi deb ham yuritiladi. Bu funksiya analitik, grafik yoki jadval ko'rinishida bo'lishi mumkin. Masalan, magnitoelektrik o'lchash mexanizmi harakatlanuvchi qismining burilish burchagi ramka o'ramidagi tokka bog'liq.

Ya'ni

$$\alpha = \frac{BS\omega}{W} \cdot I. \quad (1.11)$$

Bu yerda: B – magnit tizimi oralig'idagi zazor induksiya;

S – ramkaning yuzi;

ω – ramkadagi o‘ramlar soni;

W – solishtirma aks ta’sir etuvchi moment;

I – ramka o‘ramidagi tok kuchi.

B, S, W, ω larning doimiy qiymatlarida chiqish kattaligi, ya’ni α burilish burchagi va kirish (o‘lchanayotgan) kattaligi, ya’ni I tok kuchi chiziqli bog‘lanishdadir.

Bu funksiya u yoki bu sabablarga ko‘ra o‘z ko‘rinishini o‘zgartirishi mumkin. Masalan, tashqi temperaturaning o‘zgarishi natijasidagi o‘zgarishlar. Induksiya qiymatiga tashqi magnit maydoni ta’sir qiladi.

Sezgirlik o‘lchash asboblarning asosiy tavsiflaridan biridir. Asbob ko‘rsatkichi chiziqli va burchak siljishining shu siljishni hosil qilgan kattalik o‘zgarishiga nisbati asbobning sezgirligi deb ataladi.

$$S = \frac{\Delta \ell}{\Delta X}. \quad (1.12)$$

Bu yerda:

S – asbobning sezgirligi;

$\Delta \ell$ – ko‘rsatkich siljishining o‘zgarishi;

ΔX – o‘lchanayotgan kattalik o‘zgarishi.

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

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

Bundan tashqari, bir asbobning turli kattaliklarga sezgirligi turlicha bo‘lishi ham mumkin. Masalan, elektrodinamik asbob

bilan quvvat o'lganida sezgirligi doimiydir, ya'ni o'zgar-
masdir, tok yoki kuchlanishni o'lchashda esa o'zgaruvchadir.

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

Ayrim hollarda nisbiy sezgirlik tushunchasidan foydalanish
qulaydir:

$$S_o = \frac{\Delta I}{\frac{\Delta x}{x}} \approx C = \frac{\Delta x}{\Delta I}. \quad (1.13)$$

Sezgirlikka teskari bo'lgan kattalik asbob doimiysi yoki
shkala bo'linmasi qiymati deyiladi.

Sezgirligi yuqori bo'lgan asboblari, asosan, aniq o'lchashlar
uchun ishlatiladi.

O'lchanayotgan kattalik qiymatining asbob ko'rsatishiga ta'sir
qila oladigan eng kichik o'zgarishi sezgirlik chegarasi deyiladi.

Ikkita yonma-yon belgi (shtrix yoki nuqtalar) orasidagi farq
shkala bo'linmasi deyiladi.

O'lchash diapazoni va o'lchash chegarasi.

O'lchash diapazoni barcha o'lchash vositalari uchun umumiy
tavsifidir.

O'lchash diapazoni o'lchanayotgan kattalikning shunday
qiymatlar sohasidirki, bu soha uchun o'lchash vositasining yo'l
qo'yiladigan xatoliklari me'yorlangan bo'ladi.

O'lchash diapazoni ikki tomondan minimal va maksimal
qiymatlar bilan chegaralangan bo'lib, bu chegaralar o'lchash che-
garalaridir.

Bir kattalikni ko'p marta takroriy o'lchash natijasida asbob
ko'rsatishlari orasidagi eng katta farq o'lchash asbobining vari-
atsiyasi deyiladi.

Variatsiya o'lchash asbobining mexanizmi oraliqlari, giste-
rezisi va boshqa qismlaridagi ishqalanish sababli kelib chiqadi.
U o'lchanayotgan kattalikni ma'lum bir miqdorgacha asta-sekin
oshirib va kamaytirib aniqlaydi.

Variatsiya $[\varepsilon]$ o'lchash asbobi shkalasi maksimal qiymatining foizi hisobida ifodalanib, asosiy yo'l qo'yiladigan xatolik qiymatidan oshib ketmasligi lozim.

$$\varepsilon = \frac{\Delta N}{N_{\max} - N_{\min}} \cdot 100\%. \quad (1.14)$$

Bu yerda: ΔN – asbob ko'rsatishidagi eng katta farq;

N_{\max}, N_{\min} – asbob shkalasining yuqori va quyi qiymatlari.

Ko'rsatishlar variatsiyasi tasodifiy kattalik emas.

O'lchash vositalarining kirish va chiqish tavsiflari. Har qanday o'lchashlarda ham o'lchash vositalari o'lchash o'tkazilayotgan zanjir bilan o'zaro ta'sirlashadi. O'lchash vositasi va elektr zanjirning bir-biriga ta'siri uslubiy xatoliklarning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Masalan, voltmetr bilan zanjirning bir qismidagi kuchlanishning tushishi o'lchanganda, zanjirning bu qismi voltmetrning kirish qarshiligi bilan shuntlangan bo'ladi va buning natijasida zanjir ishi o'zgaradi, ya'ni uslubiy xato paydo bo'ladi. Bu xatolikni hisoblash uchun voltmetrning kirish qarshiligini bilish lozim. Ushbu misoldan ko'rinib turibdiki, o'lchash vositasining kirish va chiqish tavsiflarini normallashtirish zarur ekan.

1.7. O'zbekiston Respublikasining Davlat metrologiya xizmati

Metrologiya xizmati – bu davlat idoralarining va yuridik shaxslar metrologik xizmatlari va ular faoliyatining tarmog'i bo'lib, o'lchashlar birligini ta'minlashga yo'naltirilgan. O'lchashlar birligini ta'minlashning tashkiliy asosi bo'lib O'zbekiston Respublikasining metrologiya xizmati hisoblanadi va uning davlat metrologiya xizmatidan hamda yuridik shaxslarning metrologiya xizmatidan tashkil topishi «Metrologiya to'g'risida»gi qonunda e'tirof etilgan.

O‘zstandart boshqaradigan davlat metrologiya xizmatiga Qoraqalpog‘iston Respublikasi metrologiya xizmati idoralari, viloyatlar va Toshkent shahrining metrologiya xizmatlari kiradi. Davlat metrologiya xizmati organlari davlat metrologiya nazorati va tekshiruvini va amaldagi qonunlarga muvofiq holda boshqa faoliyat turlarini amalga oshiradi.

Davlat metrologiya xizmatini O‘zstandart (O‘zbekiston standartlashtirish, metrologiya va sertifikatlashtirish agentligi) boshqaradi. O‘zstandart boshchiligidagi milliy organ kompetensiyasiga quyidagilar taalluqli:

- metrologiya sohasida yagona davlat siyosatini amalga oshirish, hududiy va tarmoqlararo metrologik faoliyatni muvofiqlashtirish;

- milliy etalonlarni yaratish, tasdiqlash, saqlash qoidalarini o‘rnatish va ularning xalqaro darajada taqqoslanishini ta‘minlash;

- o‘lchash vositalariga, usullariga va o‘lchash natijalariga bo‘lgan umumiy metrologik talablarni aniqlash;

- metrologik nazorat va tekshiruvni amalga oshirish;

- metrologiya masalalari bo‘yicha me‘yoriy aktlarni, shu jumladan, davlat boshqaruvining boshqa organlari bilan birgalikda qabul qilinishi;

- metrologiya sohasida ilmiy va muhandis-texnik xodimlarni tayyorlash;

- O‘zbekiston Respublikasining metrologiya sohasidagi xalqaro shartnomalarning rioya qilinishi bo‘yicha nazoratni amalga oshirish;

- metrologiya masalalari bo‘yicha xalqaro tashkilotlarning faoliyatida qatnashish;

- O‘zbekiston o‘lchashlar birliligini ta‘minlash tizimining ishlashi va rivojlanishini hamda uning o‘lchashlarning xalqaro tizimi, boshqa davlatlarning o‘lchash tizimlari bilan uyg‘unligini ta‘minlash;

– iste'molchilarning huquqlarini, fuqarolarning sog'lig'i va xavfsizligini, atrof-muhitni va noaniq o'lchash natijalarining salbiy oqibatlaridan davlat manfaatlarini himoya qilish bo'yicha choralarni amalga oshirish.

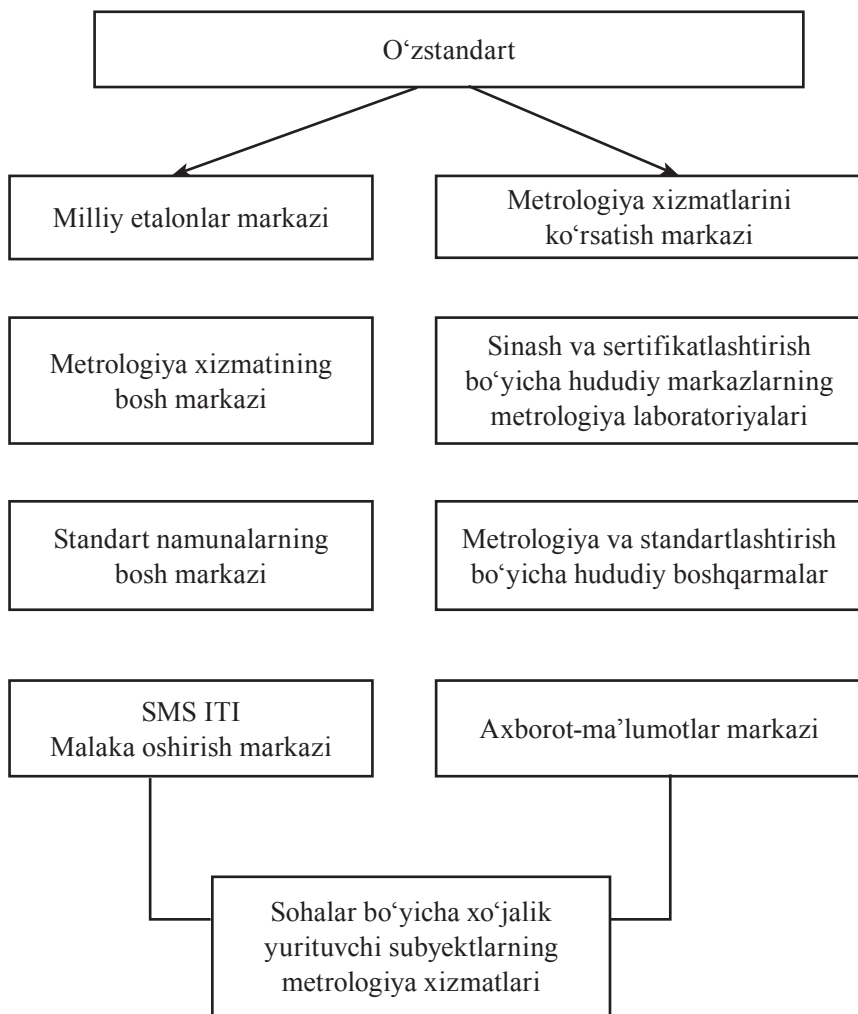
O'zstandart to'g'risidagi nizom O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 05.08.2004-yildagi 373-sonli qarori bilan tasdiqlangan.

Davlat metrologiya xizmatini quyidagilar (1.10-rasm) tashkil etadi:

- Milliy etalonlar markazi;
- Metrologiya xizmatlarining bosh markazi;
- Standart namunalarning bosh markazi;
- Standartlashtirish, metrologiya va sertifikatlashtirish ilmiy-tadqiqot instituti, malaka oshirish Markazi bilan birgalikda;
- Metrologiya xizmatlarini ko'rsatish markazi;
- Sinash va sertifikatlashtirish bo'yicha hududiy markazlarning metrologiya laboratoriyalari;
- Metrologiya va standartlashtirish bo'yicha hududiy bosh-qarmalar;
- Axborot-ma'lumotlar markazi;
- Sohalar bo'yicha xo'jalik yurituvchi subyektlarning metrologiya xizmatlari.

Milliy etalonlar markazi O'zbekiston Respublikasining etalon bazasining rivojlanishi va mukammallashtirilishining asosiy yo'nalishlarini aniqlash bo'yicha ishlarni o'tkazadi.

Metrologiya xizmati bosh markazining funksiyasi SMS ITI (Standartlashtirish, metrologiya va sertifikatlashtirish ilmiy-tadqiqot instituti) zimmasiga yuklangan bo'lib, o'lchashlar birligini ta'minlash uchun ilmiy-uslubiy, texnik-iqtisodiy, tashkiliy va me'yoriy asoslari bo'yicha ishlanmalarni hamda metrologiya sohasi bo'yicha kadrlarni tayyorlash va malakasini oshirishni amalga oshiradi.



1.10-rasm. Davlat metrologiya xizmatining tashkiliy tuzilmasi.

Standart namunalar bosh markazining funksiyasi ham SMS ITI zimmasiga yuklatilgan bo'lib, modda va materiallarning tarkibi va xossalaring standart namunalaring davlat xizmatiga ilmiy-uslubiy rahbarlikni, yuridik shaxslarning standart namunalarini ishlab chiqarish va qo'llash tartibi bo'yicha faoliyatini

muvofiglashtirishni, mamlakatda ishlab chiqarilgan davlat standart namunalarining shahodatlanishi va attestatsiyasini amalga oshiradi.

Metrologiya xizmatlari ko'rsatish markazi, sinash va sertifikatlashtirishning hududiy markazlari, standartlashtirish va metrologiya bo'yicha hududiy boshqarmalari o'lchashlar birliligini ta'minlash, davlat metrologiya nazorati va tekshiruvining ta'sir doirasida O'z DSt 8.002:2002 «O'BTDT (o'lchashlar birliligini ta'minlashning davlat tizimi). Metrologik nazorat va tekshiruv. Asosiy talablar» asosida metrologik nazorat va tekshiruv bo'yicha ishlarni muvofiglashtiradi.

Axborot-ma'lumotlar markazi me'yoriy hujjatlar fondining saqlovchisi bo'lib hisoblanadi va O'zbekiston o'lchashlar birliligini ta'minlash tizimi ishtirokchilariga axborot xizmatlari ko'rsatishni ta'minlaydi.

Yuqorida ta'kidlanganidek, metrologiya xizmati davlat va yuridik shaxslarning metrologiya xizmatlaridan tashkil topadi.

Yuridik shaxslarning metrologiya xizmati – bu metrologiya xizmati bo'lib, o'lchashlar birliligini ta'minlash bo'yicha ishlarni bajaradi va mazkur tashkilotda metrologik nazorat va tekshiruvni amalga oshiradi. Yuridik shaxslarning metrologiya xizmatlari zaruriy hollarda o'lchashlar birliligini ta'minlash va metrologik nazoratni amalga oshirish uchun tashkil etiladi. Bunda, bosh va asos metrologiya xizmatlari davlat organlari hamda tadbirkorlik subyektlarining xo'jalik boshqaruvi tomonidan o'z faoliyatining xususiyatlarini hisobga olgan holda tashkil qilinadi.

Yuridik shaxslar metrologiya xizmatining huquq va majburiyatlari Davlat metrologiya xizmati organlari bilan kelishilgan talablar asosida aniqlanadi.

1.8. O‘lchash vositalarining metrologik tekshiruv va nazoratga tortilishi

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

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

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

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

Davlat metrologiya tekshiruv 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, telekommunikasiya 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‘minlash;

– sertifikatlanadigan mahsulotning xavfsizligi va sifatini aniqlash;

– geodezik va gidrometeorologik ishlar;

– o‘lchov vositalarini davlat sinovidan, tekshiruvdan, kalibr-lashdan, 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 attestatsiya qilish;

– o‘lchov vositalarini, shu jumladan, etalonlarni tekshiruvdan o‘tkazish, kalibr-lash;

– o‘lchov vositalarini hamda o‘lchovlarning bajarilish uslubiyotlarini sinash;

– tekshiruvdan o‘tkazish, metrologik attestatsiya qilish;

– faoliyatning boshqa muayyan turlarini kalibrlash huquqiga ega bo‘lishi uchun metrologiya xizmatlari, markazlari, laboratoriyalarini akkreditatsiya qilish;

– yuridik va jismoniy shaxslarning o‘lchov vositalarini tayyorlash, realizatsiya qilish;

– ularning ijarasi bilan shug‘ullanishga doir faoliyati litsenziyalanayotganda 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 ijarasi bilan shug‘ullanish, ularni realizatsiya qilish;

– ularning holati va qo‘llanilishi (fizik o‘lchamlar birliklari etalonlarini, moddalar va materiallar tarkibi hamda xossalarning standart namunalari, o‘lchov tizimlarini qo‘shgan holda);

– o‘lchovlarning bajarilish uslubiyotlarining qo‘llanilishi;

– belgilangan metrologiya normalari va qoidalariga rioya etilishi hamda akkreditatsiya qilingan metrologiya xizmatlari, markazlari, laboratoriyalari faoliyati ustidan amalga oshiriladi.

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

Nazorat savollari

1. Asosiy tushuncha va atamalarni sanab bering.
2. Fizik kattalik va uning o‘lchamliligi nima?
3. O‘lchash usuli, uslubi va tamoyillari nima?
4. Bevosita, bilvosita, birgalikda, birlashtirib o‘lchash usullariga ta‘rif bering va misollar keltiring.
5. O‘lchash vositalari qaysi xususiyatlariga ko‘ra tavsiflanadi?

6. SI sistemasiga kiritilgan asosiy birliklarni sanab bering.
7. Xalqaro birliklar sistemasi.
8. O'lchash vositalarining metrologik ta'minoti deyilganda nimani tushunasiz?
9. Metrologiya xizmatining turlari.
10. Akkreditlanadigan laboratoriyalarga qo'yiladigan talablar.
11. Metrologiya tekshiruv turlarini sanab bering.
12. Metrologik nazorat turlarini sanab bering.
13. Metrologiya (o'lchovshunoslik)ning asosiy atamalarini aytib bering.
14. O'lchash vositalarini «qiyoslash» deganda nima tushuniladi?
15. O'lchash vositalarini kalibrlash nima?
16. Metrologiyaning me'yoriy-huquqiy asoslari.

2-BOB.

SIGNALLAR

2.1. Elektr signali va uning turlari

Voqea, hodisa yoki narsa haqidagi ma'lumot – axborotni moddiy tashuvchi har qanday fizik kattalik *signal* deb ataladi.

Radioelektron qurilmalar ularni elektr toki, kuchlanishi yoki quvvati ko'rinishida ifodalanadigan elektr tebranishlariga aylantirib boradi. Shunga ko'ra, bunday tebranishlarni ifodalash signali *videosignallar* deb ataladi. Videosignallar bevosita yoki yuqori chastotali tebranishga aylantirilgach (modulatsiyalangan), uzatilishi mumkin. Yuqori chastotali modulatsiyalangan signallar – radiosignal, qolganlari esa boshqaruvchi signal deyiladi.

Har qanday elektr tebranishlar ham signal bo'lavermaydi. Masalan, turg'un holatdagi o'zgaruvchan tok signal emas, chunki uning amplitudasi, chastotasi yoki fazasining vaqt bo'yicha o'zgarish qonuni – funksiyasi aniq bo'lib, hech qanday axborotga ega emas. Demak, signal vaqt bo'yicha tasodifiy qonun bo'yicha o'zgaradigan funksiya orqali ifodalanadigan kattalikdir.

Signallar, odatda, aniqlangan (ma'lum) va tasodifiy signallarga ajratiladi.

O'zgarishi vaqt bo'yicha analitik funksiya ko'rinishida ifodalanishi mumkin bo'lgan signallar analitik – aniqlangan signal deb, aks holda esa tasodifiy signal deb yuritiladi. Aniqlangan signallarga tok kuchi, kuchlanish, elektr zaryadi va boshqalarning garmonik yoki impuls ko'rinishidagi o'zgarishi misol bo'ladi. Chunki bunda ularning shakli, kattaligi vaqt va aniq qonun bo'

yicha o'zgaradi. Nutq, musiqa, telegraf belgilari va boshqalarni ifodalaydigan elektr tebranishlari tasodifiy signallardir.

Signallar davriy va davriy emas – uzlukli bo'ladi. Agar signalning $f(t)=f(t+mT)$ funksiyasi – $-\infty \leq t \leq \infty$ oraliqda uzluksiz o'zgarsa (T – davr, m – ixtiyoriy butun son), bunday signal *davriy signal* deyiladi, aks holda, u *davriy bo'lmaydi*. Sof garmonik qonun bo'yicha o'zgaradigan aniqlangan signal *monoxromatik signal* deb ataladi.

Signallar uzluksiz – qiyosiy va uzlukli – diskret signallarga bo'linadi. Qiyosiy signallarga mikrofoniga nutq ta'sir etgan vaqtda hosil bo'ladigan tokning uzluksiz o'zgarishini, diskret signalga esa ma'lum vaqt oraliqlarida uzatiladigan impulslar ketma-ketligini ko'rsatish mumkin.

Signallarni uzatishda ularni vaqt oralig'i yoki amplituda qiymatlari bo'yicha bo'laklarga ajratish – darajalashdan foydalaniladi. Ham vaqt, ham qiymat bo'yicha sathlarga ajratilgan (darajalangan) diskret signal *raqamli signal* deb ataladi.

Signalning har bir turi juda ko'p fizik kattaliklar – parametrlar orqali xarakterlanadi. Ulardan eng asosiylari bo'lib impulsning davom etish vaqti, dinamik diapazoni va spektr kengligi hisoblanadi.

Ma'lumki, har bir signal vaqt bo'yicha sodir bo'ladigan biror jarayonni ifodalaydi. Shuning uchun uning boshlanish va tugash vaqti mavjud. Signalning ta'siri mavjud bo'lgan vaqt oralig'i *signalning davom etish vaqti* deb ataladi.

Signal oniy quvvatining eng katta qiymatini uning eng kichik qiymatiga nisbati *dinamik diapazon* deyiladi. Uchinchi parametr spektr kengligi – signalning o'zgarish tezligini xarakterlovchi kattalikdir. U signal tashkil etuvchilarining chastotaga bog'liq o'zgarishni ifodalaydigan spektral funksiya degan kattalikdan aniqlanadi. Spektr kengligi signal uzatiladigan zanjirning o'tkazish polosasini tanlash uchun xizmat qiladi.

Signal real radioelektron qurilmadan o'tishda, albatta, o'zgarishga uchraydi. Natijada qurilmaning chiqishidan olingan axborot boshlang'ich qiymatidan farq qiladi. Buning sababi, bir tomondan, radioelektron qurilma kiritadigan buzilishlar bo'lsa, ikkinchi tomondan, signalga bo'lgan zararli ta'sirlardir. Foydali signalga qo'shib, uning qabul qilinishini qiyinlashtiradigan har qanday zararli ta'sir *xalaqit* deb ataladi.

Xalaqitga qo'shni radiostansiyalarning ta'siri, atmosferadagi elektr jarayonlari (chaqmoq), sanoat va transport elektr tarmoqlaridagi tok kuchining keskin o'zgarishlari, radioelektron qurilma elementlaridagi tok kuchi va kuchlanishning o'rtacha qiymatdan chetlashishi – fluktuatsiyalar kiradi.

Fluktuatsiyalardan hosil bo'ladigan xalaqitlar tasodifiy funksiyalar orqali ifodalanadi va ehtimollik nazariyasi usullari (taqsimot funksiyasi, korrelatsiya funksiyasi, dispersiya va boshqalar) orqali tekshiriladi.

Shuni aytish kerakki, elektr tebranishi bir holda foydali signal, ikkinchi holda esa xalaqit bo'lishi mumkin. Uning qanday bo'lishi ko'rilayotgan xususiy hol bilan belgilanadi.

2.2. Signal spektri. Spektral diagrammalar

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 ettira-

digan sodda ifodasini topish talab qilinadi. Boshqacha qilib aytganda, tebranishi $\varphi(t)$ funksiya orqali ifodalansa, biror vaqt oralig'ida unga yaqin bo'lgan taqribiy $f(t)$ funksiyani tanlash lozim. Bunda $y(t)$ va $f(t)$ funksiyalarning bir-biriga qanchalik yaqin bo'lishi uni baholash usuli bilan belgilanadi.

Ko'pincha $y(t)$ funksiya chiziqli ko'phadlar yig'indisi deb qaraladi:

$$y(t) = C_0\varphi_0(t) + C_1\varphi_1(t) + C_2\varphi_2(t) + \dots + C_n\varphi_n(t) = \sum_{i=0}^n C_i\varphi_i(t). \quad (2.1)$$

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

$$\int_a^b \psi_i(t) \cdot \psi_k(t) dt = \begin{cases} 0, & \text{agar } i \neq k \text{ bo'lsa,} \\ 1, & \text{agar } i = k \text{ bo'lsa.} \end{cases} \quad (2.2)$$

Unda

$$C_i = \int_a^b y(t) \cdot \varphi_i(t) dt \quad (2.3)$$

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

$$y(t) = \sum_{i=0}^n C_i \cdot \varphi_i(t) \quad (2.4)$$

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

(2.2) yordamida o'rganilayotgan signal funksiyasini tashkil etuvchilarga ajratish eng qulay usul hisoblanadi. Lekin orto-normal $\varphi_i(t)$ bazis funksiyalarning cheksiz ko'p bo'lishi hisoblash ishini qiyinlashtiradi. Shuning uchun amalda masala shartining qo'yilishiga qarab bazis funksiya sistemasini tanlashda (2.3) 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:

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_0 t, \quad (2.4)$$

bu yerda, $n=1, 2, 3, \dots$ – 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:

$$\begin{cases} \frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) dt, \\ a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) \cos n\omega_0 t dt, \\ b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) \sin n\omega_0 t dt. \end{cases} \quad (2.5)$$

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

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cdot \sin(n\omega_0 t + \varphi_n). \quad (2.6)$$

Bunda

$$\begin{aligned} C_n &= \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \quad a_n = C_n \sin \varphi_n, \\ \varphi_n &= \arctg \frac{b_n}{a_n}; \quad b_n = C_n \cos \varphi_n. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Kompleks sohada (2.6) ifoda quyidagicha ifodalanadi:

$$y(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \cdot e^{jn\omega_0 t} \quad (2.8)$$

Bu yerda

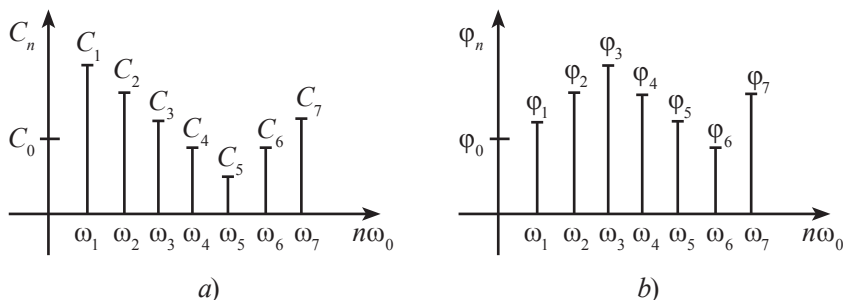
$$C_n = a_n - jb_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} y(t) \cdot e^{-jn\omega_0 t} dt. \quad (2.9)$$

Bundagi manfiy chastotalar ifodaning kompleks deb qaralishiga aloqador bo'lib, u fizik ma'noga ega emas. Demak, $y(t)$ 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 birinchi garmonika, qolganlari yuqori garmonikalar deb yuritiladi. Qatorning o'zi esa signal spektri bo'ladi. a_0 o'zgarmas tashkil etuvchi $y(t)$ funksiyaning bir davr ichidagi o'rtacha qiymatini ifodalaydigan kattalikdir.

Signal spektridagi garmonikalarning amplitudasi va boshlang'ich fazasi tartib raqami 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 – $a_n = a_n(n\omega_0)$.

Ular spektral diagrammalarda ifodalanadi. Buning uchun absissalar 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 (2.1-rasm).



2.1-rasm. Murakkab signalning amplituda-chastotaviy (a) va faza-chastotaviy (b) spektral diagrammasi.

2.1-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, qatoridagi ayrim tashkil etuvchilarning amplitudasi nolga teng bo'lib, diagrammada chiziqcha bo'lmasligi mumkin. Lekin bu bilan spektrning chiziqchilik o'zgarmaydi.

Agar signal davriy bo'lmasa, uning spektri Furiye integrali orqali ifodalanadi. Matematika kursidan ma'lumki, Furiye integralini hosil qilishda davriy bo'lmagan funksiya davri cheksizga teng davriy funksiya deb qaraladi, ya'ni Furiye koeffitsiyentlari ifodasini qatorga qo'yib, $T \rightarrow \infty$ hol uchun limit olinadi. Agar u Furiye qatorining kompleks ifodasi uchun bajarilsa, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$y(t) = \frac{1}{2A} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) \cdot e^{j\omega t} \cdot d\omega. \quad (2.10)$$

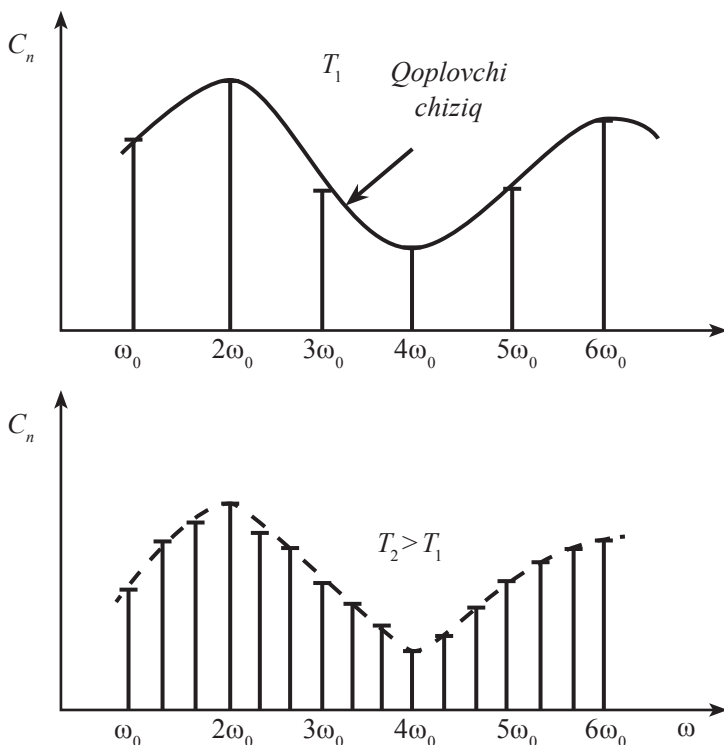
Bu Furyening teskari almashtirishi deb ataladi. Undagi

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cdot e^{j\omega t} dt \quad (2.11)$$

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'ining

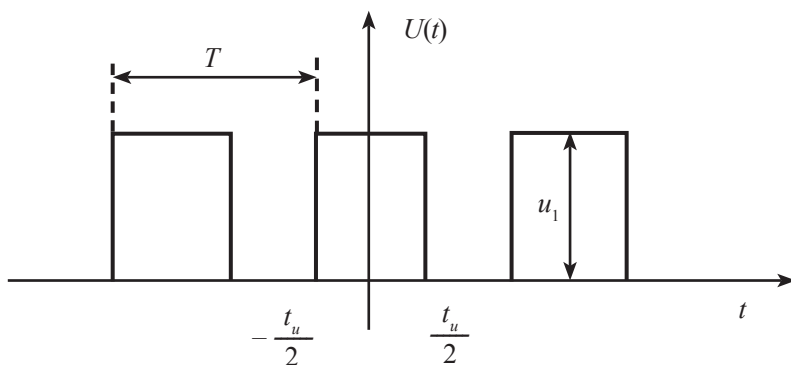


2.2-rasm. Spektr zichligining ortishi.

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 (2.2-rasm). Shunga ko'ra davriy bo'lmagan signal davri cheksizga teng davriy tebranish deb qaralgani uchun Furiye 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'lmagan signal spektri yaxlit bo'ladi.

Spektral diagrammalar yordamida signal spektrining kengligini baholash mumkin. Ammo bu maqsadda Furiye qatoridan bevosita foydalanish mumkin emas, chunki u cheksizdir. Uning yordamida signalning qisqartirilgan 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.



2.3-rasm. To'g'ri burchakli davriy impulslar ketma-ketligi.

Davri T va amplitudasi E 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 (2.3-rasm). Yuqoridagi ifodalardan Furye koeffitsiyentlarini aniqlab, u qatnashgan ifodaga qo'yamiz. So'ngra soddalashtirib, ko'rayotgan signalimizning Furye qatorini hosil qilamiz:

$$U(t) = E \frac{t_u}{2} + \frac{2E}{A} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi t_u}{T}}{n} \cos n\omega_0 t. \quad (2.12)$$

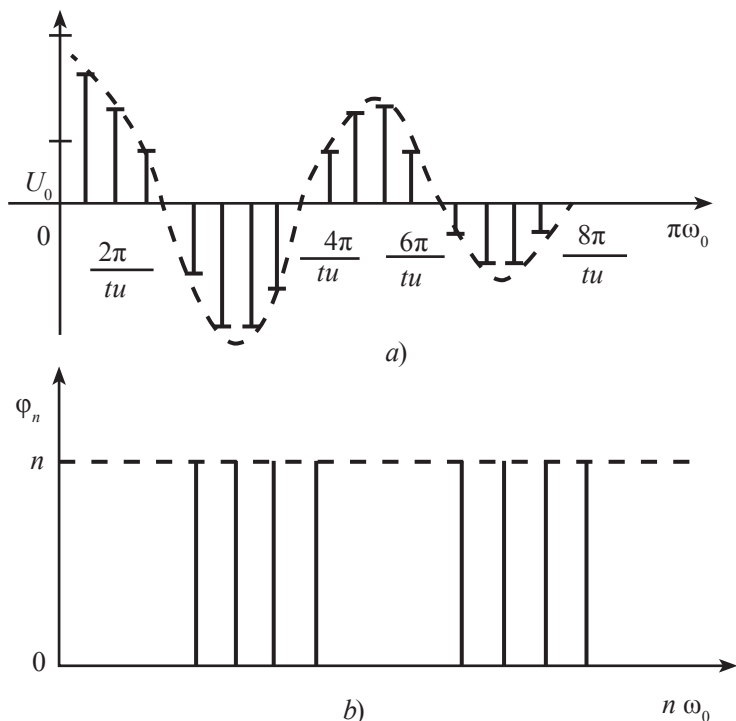
Bu yerda: t_u – impulsning davom etish vaqti.

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.

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, $1 \leq n \frac{t_u}{T} \leq 2$ 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'zgaras bo'lib, son jihatdan nolga tengdir ($\alpha = 0$). Ko'rayotgan

signalimizning spektral diagrammalari 2.4-rasmda ko'rsatilgan. Unda ikki nol amplitudali garmonik tashkil etuvchi orasida yotadigan tashkil etuvchilarning soni impulsning to'ldirish koeffitsiyenti ($\gamma = \frac{t}{T}$) deb ataladigan kattalikka bog'liq. Uning eng kichik qiymati birga teng bo'lib, to'ldirish koeffitsiyentining $\gamma = 0,5$ qiymatiga to'g'ri keladi.



2.4-rasm. To'g'ri burchakli davriy impulslar ketma-ketligining amplituda-chastotaviy (a) va faza-chastotaviy (b) spektral diagrammalari.

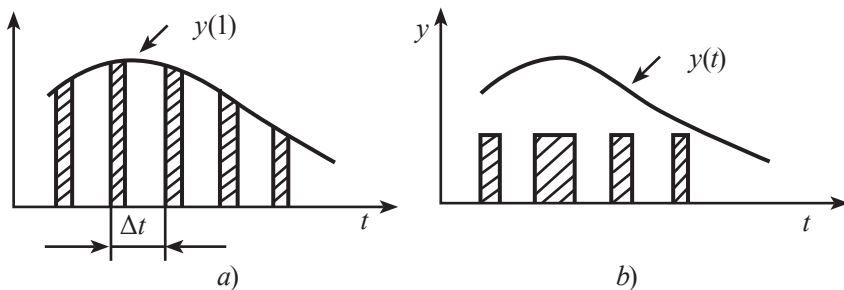
Impulsning takrorlanish chastotasi o'zgarmas bo'lganda to'ldirish koeffitsiyentining kichrayishi bilan spektrning nol amplitudali tashkil etuvchilarining $n\omega_0$ miqdori o'sib boradi. Bunda spektrdagi boshlang'ich tashkil etuvchilar amplitudasining n ning ortishi bilan kichrayishi susayadi va ular tenglasha boshlaydi.

Chunki toʻldirish 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 radio-lokatsiyada keng foydalaniladi.

2.3. Analog va diskret signallar

Radioelektron sistema orqali informatsiya uzluksiz yoki uzlukli signal koʻrinishida uzatilishi mumkin. Uzluksiz signalda informatsiya miqdori cheksiz, diskret signalda esa, chekli boʻladi. Ularning aloqa sistemasidan oʻtishida informatsiya yoʻqolishi bir xil boʻlmaydi. Uzluksiz signal informatsiyasining yoʻqolishi uzlukli signalnikidan yetarlicha koʻp boʻladi. Hatto uzluksiz signal avval uzlukli signalga aylantirilib, soʻngra uzatilsa ham informatsiya yoʻqolishi uzluksiz signal uzatilgandagidan kamroq boʻlar ekan. Shuning uchun informatsiya uzatishda signalning uzlukli holidan keng foydalaniladi.

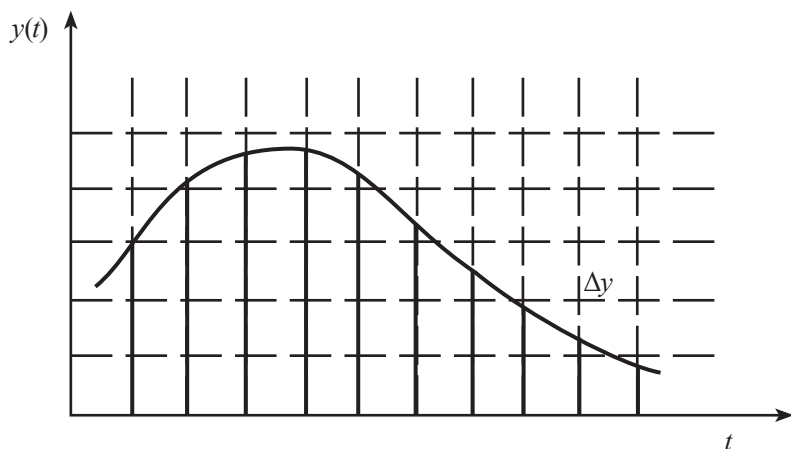
Uzluksiz signal ikki xil – vaqt yoki sath boʻyicha uzlukli signalga aylantiriladi. Uzluksiz signalni vaqt boʻyicha uzlukli boʻlaklarga ajratib uzatishda Δt vaqt oraligʻi bir xil qilib olinganda boʻlakchalar – impulslarning amplitudalari turli qiymatli, amplituda sathlari bir xil qilib olinganda esa vaqt oraliqlari turlicha kattalikka ega boʻladi (2.5-rasm).



2.5-rasm. Signalni vaqt boʻyicha uzlukli signalga aylantirish: a) amplituda oʻzgaruvchan; b) vaqt oraligʻi oʻzgaruvchan.

Bu ikki hol o'zaro ekvivalentdir, chunki har bir ajratilgan impuls bo'lagining yuzalari o'zaro teng bo'ladi.

Signalni amplituda qiymati bo'yicha sathlarga ajratib bo'laklash kvantlash deb ataladi. Bunda bir-biridan ajratilgan bo'laklar kvantlash darajasini (shkalasini) hosil qiladi. Darajadagi har bir bo'lak oralig'i kvantlash qadami deb ataladi (2.6-rasm).



2.6-rasm. Amplituda sathi bo'yicha bo'laklarga ajratish.

Kvantlashda signalning kattaligi unga yaqin taqribiy qiymatlarga ajratiladi. Shuning uchun har bir bo'lak o'zining haqiqiy qiymatidan farq qiladi. Bu farq kvantlash xalaqiti yoki kvantlash shovqini deb yuritiladi.

Signalni vaqt bo'yicha uzlukli qilib uzatish radioaloqa tizimining uzatish qobiliyatini oshirsa, amplituda sathi bo'yicha kvantlash uning xalaqitlarga bardoshlilikini oshiradi.

Uzluksiz signalni uzlukli – diskret signalga aylantirish natijasida maxsus signal – raqamli signal hosil qilinadi. Buning uchun signalning har bir bo'lagi binar son – qo'sh son – «0» yoki «1» raqamlari bilan belgilanadi. Masalan, musbat qutbli kuchlanish «1» bilan belgilansa, manfiy qutblisi «0» deb belgilanadi; signal chastotasining bir qiymati «1» deb olinsa, ikkin-

chisi – «0» deb belgilanadi va h. k. Mikroelektronikaning rivojlanishi integral mikrosxemalarda raqamli signallardan keng foydalanish imkoniyatini yaratmoqda.

Signalni diskretlashtirishda Δt vaqt oralig'ini qanday tanlash lozimligi Kotelnikov teoremasi orqali belgilanadi. Bu teoreмага binoan qisqartirilgan spektrli signal ($\omega < \omega_m$) o'zining $\Delta t = \frac{1}{2f_m}$ ga teng vaqt oraliqlarida olingan qiymatlari orqali to'liq ifodalanadi. Buning ma'nosi shuki, uzatilishi kerak bo'lgan $y(t)$ signal spektri ω_m yuqori chastota bilan chegaralashgan bo'lsa, uning barcha qiymatlarini uzatish shart emas. Qabul qilish joyida boshlang'ich signalni tiklash uchun $y(t)$ signalning Δt vaqt oraliqlarida uzatilgan oniy qiymatlarini qabul qilish yetarli bo'ladi.

Har bir elektr zanjiri o'zining o'tkazish sohasiga ega. Ideal zanjir uchun signalning spektral funksiyasi o'tkazish sohasidan tashqarida nolga teng bo'ladi ($S(\omega) = 0$). Shunga binoan, Fyurje integrali qisqartirilgan spektrli signal uchun quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\Omega}^{\Omega} \dot{S}(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega. \quad (2.13)$$

Undagi $\dot{S}(\omega)$ ω ning o'zgarish intervali uchun quyidagi tenglamaga teng.

$$\dot{S}(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \dot{C}_n \cdot e^{-jn\frac{\pi}{\Omega}\omega}. \quad (2.14)$$

Bunda

$$\dot{C}_n = \frac{1}{\Omega} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) \cdot e^{-jn\frac{\pi\omega}{\Omega}} d\omega. \quad (2.15)$$

Agar (2.9) va (2.11) ifodalarni o'zaro solishtirsak,

$$\dot{C}_n = \frac{2\pi}{2\Omega} \cdot y\left(-n\frac{\pi}{\Omega}\right) = \Delta t \cdot y(-n\Delta t) \quad (2.16)$$

ekani ko'rinadi. Bunda

$$\Delta t = \frac{\pi}{\Omega} = \frac{1}{1f_m}. \quad (2.17)$$

Agar (2.10) ifodani (2.9) formulaga qo'yib, matematik almashtirishlar o'tkazilsa, signalning qisqartirilgan spektri uchun quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

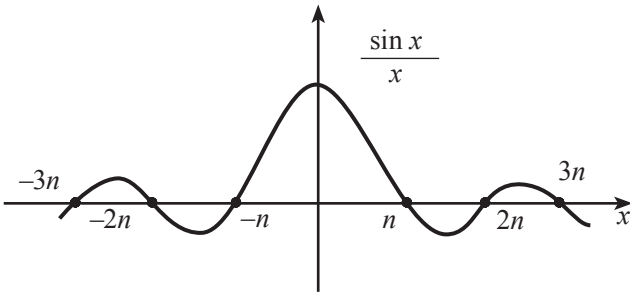
$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(n\Delta t) \frac{\sin 2\pi f_m(t - n\Delta t)}{2\pi f_m(t - n\Delta t)}. \quad (2.18)$$

Bu ifoda spektri qisqartirilgan ($\Omega = 2\pi f_m$) $y(t)$ funksiyali signalni aniqlash uchun uning o'zaro teng $\Delta t = \frac{\pi}{\Omega} = \frac{1}{2f_m}$ vaqt oraliqlarida olingan qiymatlarini bilish yetarli ekanini ko'rsatadi.

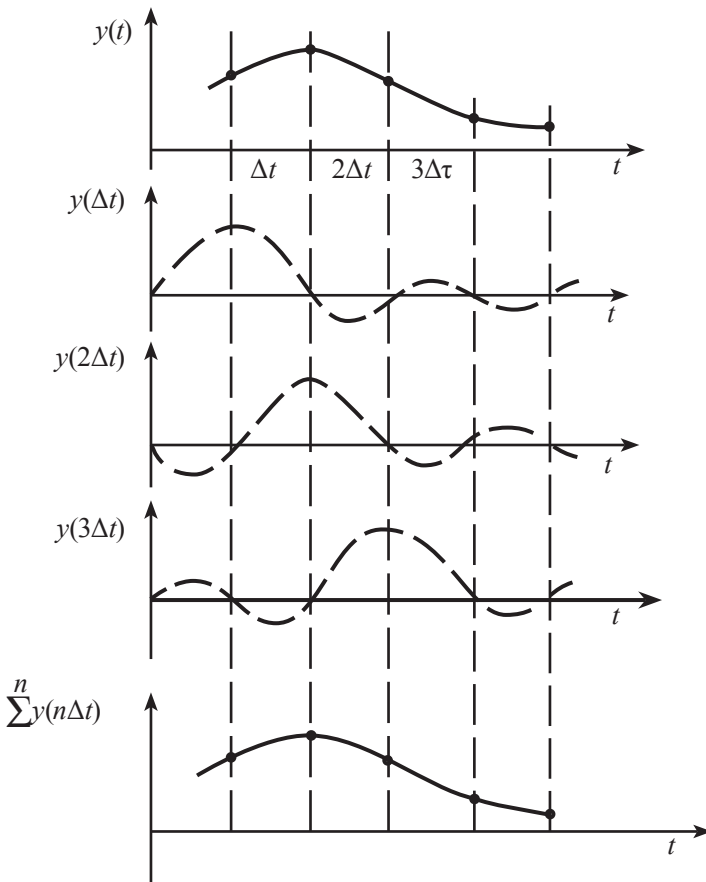
Demak, $y(t)$ funksiyaning hisob olinadigan nuqtalaridagi $y(n\Delta t)$ qiymati vaqt oraliqlari orasida $\frac{\sin x}{x}$ ko'rinishdagi qonun bo'yicha o'zgarar ekan. $\frac{\sin x}{x}$ ifoda $t_1 = n \frac{\pi}{\Omega}$ nuqtalarda 1 ga, t_{i+k} qiymatlarida esa, 0 ga teng bo'lgani uchun u funksiyaning hisob olish nuqtalaridagi qiymatiga ta'sir etmaydi, chunki t_1 nuqtalarda (2.14) qator faqat bitta tashkil etuvchiga ega bo'ladi.

Shunday qilib, biror zanjirning chiqishida uzlukli qilib uzatilgan signalni tiklash uchun uning turli vaqt momentlarida olingan qiymatlaridan tashqari $\frac{\sin x}{x}$ ko'rinishdagi funksiyasini ham bilish kerak (2.7-rasm).

2.8-rasmda o'tkazish sohasining yuqori chegarasi f_m ga teng bo'lgan ideal zanjirdan davom etish vaqti tanlangan Δt vaqtlardan yetarlicha kichik bo'lgan to'g'ri burchakli impulslar ketma-ketligi o'tishida hosil bo'ladigan $\frac{\sin x}{x}$ funksiyalar ko'rsatilgan. Ularni jamlash natijasida $y(t)$ funksiya tiklanadi.



2.7-rasm. $\frac{\sin x}{x}$ funksiyasining grafigi.

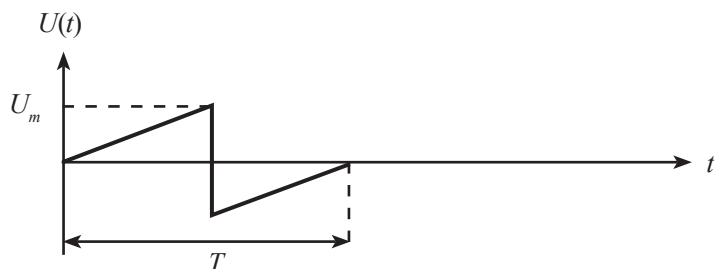


2.8-rasm. $y(t)$ funksiyani diskret qiymatlar orqali tiklash.

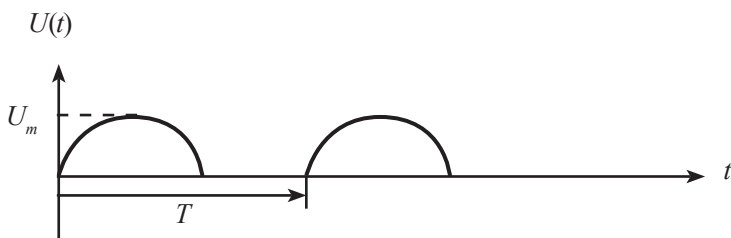
Kotelnikov teoremasi informatsiya uzatishning telemetriya, aloqa sistemalari kabi juda ko'p sohalarida keng qo'llaniladi.

2.4. Signalning asosiy shakllari va parametrlari

Arrasimon shakli



Impuls shakli



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.

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.

$$U_t = U_m \sin \omega t. \quad (2.19)$$

2. Kuchlanishning o'rtta qiymati – bu davr davomidagi oniy qiymatlarning o'rtta arifmetigidir:

$$U_{o'r} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt.$$

3. Kuchlanishning o'rtta to'g'rilangan qiymati – bu davr davomidagi absolut oniy qiymatlarning o'rtta arifmetigiga teng bo'lgan qiymatdir. Bu qiymat chiziqli voltmetr bilan o'lchanadi:

$$U_{o'rt} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt. \quad (2.20)$$

4. Kuchlanishning o'rtta kvadratik (eski adabiyotlarda ta'sir etuvchi yoki effektiv qiymat deb talqin qilingan) qiymati bu – o'rtta qiymatning davr davomidagi kvadratidan olingan musbat kvadrat ildizdir:

$$U_{o'r.kv} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}, \quad (2.21)$$

bu qiymat kvadratli voltmetr asosida o'lchanadi.

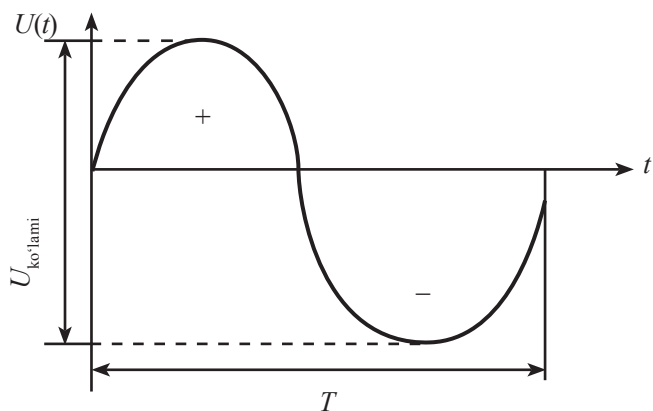
5. Kuchlanishning amplituda (tik) qiymati – bu barcha oniy qiymatlar, ya'ni tebranishlarning «+» yoki «-» yarimdavrlari ichidagi maksimalidir. U kuchlanish ko'lami deb yuritiladi.

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:

$$\begin{aligned} K_a &= 1,41; \\ K_{sh} &= 1,11; \\ K_{o'rt} &= 1,57. \end{aligned}$$



2.9-rasm. Kuchlanish ko'lami.

Signalning asosiy shakllariga doir ma'lumotlar 2.1-jadvalda keltirilgan.

2.1-jadval

Signalning asosiy shakllari, parametrlari va ko'effitsiyentlari

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
Impulslari	$0,318 U_m$	$0,318 U_m$	$0,5 U_m$	2	1,57	3,14

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?

3-BOB.

O'LCHOV SIGNALLARI GENERATORLARI

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 manbayi 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, modulatsiya koeffitsiyenti va sh.k.)ni o'lchaydi: elektr zanjirlarning amplituda-chastotaviy va o'tish tavsiflarini oladi, shuningdek, shovqin koeffitsiyenti va radioqabul qilgich qurilmalar sezgirlikini aniqlaydi, o'lchov asboblarini graduiraydi yoki testlaydi; yuguruvchi va tinch to'liqlar koeffitsiyentlarini, O'YCH qurilmalar yuklanishini akslantirish va to'la qarshilik koeffitsiyentlarini aniqlashda o'lchov liniyalarini ta'minlaydi. Turli tebranishlarning bunday manbalari signallarning o'lchov generatorlari (avtogeneratorlar) deb ataladi.

O'lchash signallari generatori – bu jalb qilinadigan metrologik tavsiflarga muvofiq berilgan chegaralarda me'yorlashtiriladigan chastota, vaqtli va amplitudaviy parametrlarining ma'lum shakldagi radiotexnik signallari manbayidir.

O'lchov generatorlari elektr tebranishlar, modulatsiya quvvati va darajasi ma'lum chegaralarda qayd etiladigan yoki soz-

lanadigan ekranli manbadir. Ular oddiy generatorlardan qator prinsipial farqlarga ega: keng diapazonlarda tebranishning chiqish parametrlarini kuchlanish yoki quvvatning chastotasi, shakli, davomiyligi va darajasini aniq oʻrnatish va sozlash imkoniyatiga ega, signallarni oʻrnatish va sozlashni nazorat qilishga imkon beruvchi yuqori barqaror parametrlar oʻrnatilgan oʻlchov asboblarga ega, oʻlchash va dasturli boshqarishning boshqa vositalari bilan hamkorlikda ishlashi mumkin.

Oʻlchov generatorlarining quyidagi turlari farqlanadi:

- past chastotali signallar generatori – infratovush (lot. *infra* – past; elastik toʻlqinlar 16 Hz dan past, ularni kishi aʼzosi eshitmaydi) chastotali (0,01 g...20 Hz), past chastotali yoki past tovushli va ultratovush chastotalar (20 g...300000 Hz)ning garmonik modullanmagan yoki modullashgan signallar manbayi;

- yuqori chastotali signallar generatorlari – yuqori (0,3...300 MHz) va oʻta yuqori chastotalar (OʻYCH, 300 MHz)ning garmonik modullanmagan yoki modullangan signallar manbayi;

- tebranuvchan chastotali belgilangan chastota polosasi chegaralarida chastota avtomatik oʻzgaradigan garmonik signallar generatori;

- impuls generatorlari yoki relaksion generatorlar turli shakldagi bir (yagona) yoki davriy videoimpuls-signallar manbayi;

- shovqin va shovqinsimon signallar generatorlari – chiqish kuchlanish statistik tavsiflar bilan nazorat qilinadigan tasodifiy jarayonlarni amalga oshirishga moʻljallangan elektr shovqini va shovqinsimon signallar manbayi.

Chiziqli-oʻzgaruvchan kuchlanishlar generatorlarini (CHOʻKG) ajratib koʻrsatish lozim, ular relaksatsion generatorlarga oid boʻlib, oʻlchov 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 imitatsiyalash uchun garmonik tebranishlarni modulatsiyalash imkoniyati ko'zda tutilgan. Modulatsiya ko'rinishiga ko'ra generatorlar amplitudali (bir polosali amplitudali), chastotali va fazoviy sinusoidal amplitudali, chastotali va impulsli modulatsiyasi, shuningdek, impulsli kodli va shovqinsimon (psevdotasodifiy, psevdo – yunon. *pseudos* – yolg'on, soxta) modulatsiyali uskunalarga bo'linadi.

O'lchov generatorlari kuchlanishi (quvvati)ning chiqish darajasi kalibrlangan va kalibrlanmagan bo'lishi mumkin. Kuchlanishning kalibrlangan darajasi mikrovoltning 100 biridan to 10 dan biri va volt birligigacha, quvvati esa 10^{-15} W 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 signalining modulatsiyalashdagi parametrlari, moslashgan yuklamada maksimal chiqish quvvatidir.

Impulsli signallar generatorlari yagona yoki juft impulslar, gersning bir qismidan to yuzlab megagersgacha takrorlanadigan chastotali to'g'ri burchakli impulslar, ularning davomiyligi nanosekundning bir bo'lagidan to bir necha sekundgacha va amplitudaga millivolt dan to o'nlab voltgacha, pachkasini va davriy ketma-ketligini shakllantiradi.

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

3.1. Garmonik tebranishlarning o'lovch generatorlari

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

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

Garmonik tebranishlar generatorining o'z-o'zining qo'zg'alishi shartlarini ko'rib chiqamiz. Tebranishlar qo'zg'alishi va generatsiyasi uchun ular kuchlanishining bir qismi kuchaytirgich chiqishidan (aniqrog'i, tebranuvchi tizimdan) alohida kiritilgan musbat teskari aloqali zanjir bo'yicha uning kirishiga beriladi (TA). Boshqacha aytganda, bunday qurilma «o'z-o'zini qo'zg'atadi» va shuning uchun o'z-o'zini qo'zg'atuvchi generator deb ataladi.

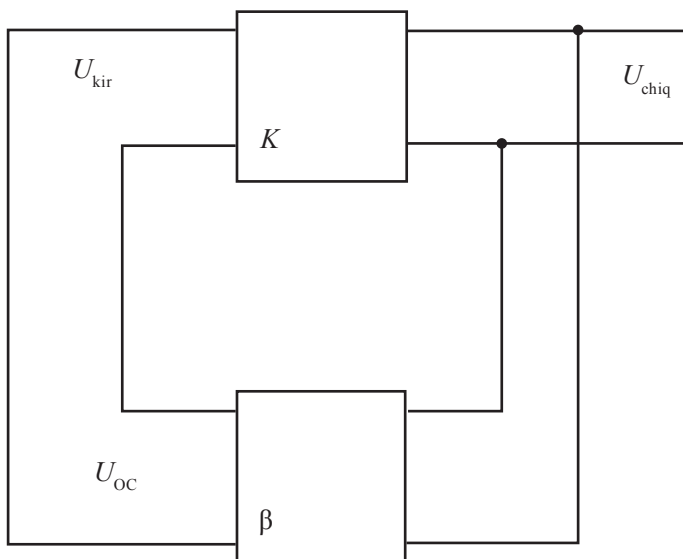
Generatorida vujudga keladigan soddalashtirilgan mexanizm quyidagicha harakat qiladi. Ishga tushirganda tebranuvchi tizimda ta'minot manbani ulash, kuchaytirgich asbobida tok sakrashlari va kuchlanishlardan vujudga kelgan kuchsiz erkin tebranishlar hosil bo'ladi. Tali mustab zanjir kiritilishi tufayli tebranishning bir qismi kuchaytirgich chiqishida uning kirishiga tushadi. Tor polosali tebranish tizimi mavjudligi uchun yuqorida ta'riflangan jarayonlar birgina ma'lum chastota ω da vujudga keladi va boshqa chastotalarda keskin so'nadi.

Avvalda, generator manbayi ulangandan keyin signalning tebranish tizimida vujudga kelgan kuchayishi chiziqli rejimda

yuz beradi, soʻngra tebranishlar amplitudasi oʻsishiga bogʻliq holda kuchaytirgich elementining nochiziqli xossasi sezilarli rol oʻynay boshlaydi. Natijada generatorning chiqish tebranishlari amplitudasi bir qator belgilangan darajaga yetadi, keyin deyarli oʻzgarmas boʻlib qoladi. Tebranishning bir davrida oʻzgarmas tok manbayidan kuchaytirgich oladigan energiya yuklamada xuddi shu vaqtda sarflanadigan energiyaga teng boʻladi. Bu holatda generator ishining statsionar rejimi haqida gap boradi.

Garmonik tebranishlar generatorini umumlashtirilgan sxemada koʻrish mumkin (3.1-rasm), u kuchlanish boʻyicha kuchayishning kompleks koeffitsiyentiga $K=K(j\omega)$ ega boʻlgan no-chiziqli rezonans kuchaytirgich va uzatishning kompleks koeffitsiyentiga ega boʻlgan TA musbat zanjirdan iborat $\beta=\beta(j\omega)$.

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



3.1-rasm. Generatorning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi.

Generatsiya ω ning istalgan chastotasida teskari aloqa kuchlanishi:

$$U_{TA} = U_{kir} = \beta V_{kir}. \quad (3.1)$$

Bu vaqtda chiqish kuchlanishi

$$U_{chiq} = KV_{kir} \quad (3.2)$$

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:

$$K(\omega)e^{j\gamma k(\omega)}\beta(\omega)e^{j\gamma\beta(\omega)} = K\beta T^{j(\gamma k + \gamma)} = 1, \quad (3.3)$$

bu yerda: $K(\omega) = K$ va $\beta(\omega) = \beta$ ko'rsatkichlari – kuchlanishning xususiy kuchayishi (TA zanjirsiz) koeffitsiyenti va TAlI musbat zanjirning uzatish koeffitsiyentining haqiqiy qiymati;

$\gamma_k(\omega) = \gamma_k$ va $\gamma_\beta(\omega) = \gamma_\beta$ kuchaytirgich va joriy chastota ω da TAlI musbat zanjirni muvofiq kiritadigan fazoviy siljishlardir.

Ifodani 2 ta tenglik sifatida taqdim etish qabul qilingan:

$$K\beta = K_{TA} = 1; \quad (3.4)$$

$$\gamma_k + \gamma_\beta = 2_{\beta n}, \quad (3.5)$$

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 rejimda generatsiyalanadigan chastotada TAlI kuchaytirgichning ko'payish koeffitsiyenti $K_{TA} = 1$ kelib chiqadi. Tenglik esa faza balansi shartini tavsiflaydi. U statsionar rejimda generatsiyalanadigan chastotada kuchaytirgich va TAlI musbat

zanjir vujudga keltiradigan signalning summar fazoviy siljishi 0 ga teng yoki $2b$ ga karrali bo'lishi kerakligini ko'rsatadi.

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

LC-konturli garmonik tebranishlar generatorlari LC-generatorlar, fazalovchi RC-zanjirlisi esa RC-generatorlari deb ataladi. LC-generatorlari yetarlicha yuqori chastotada (100 kHz da ko'p) tebranishlar, RC-generatorlar esa past chastotali garmonik tebranishlar (gersning bir qismidan to o'nlab kilogersgacha) ishlab chiqaradi.

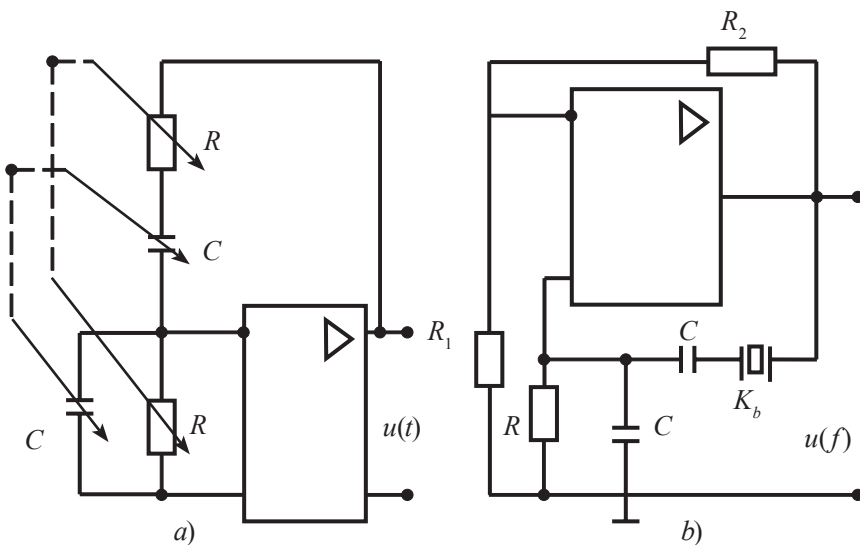
Past chastotali va yuqori chastotali diapazonli garmonik tebranishlar generatorlari o'lchov vositasi uchun 2 ko'rinishda – signallar generatorlari (SG) – past chastotali generatorlar va standart signallar generatorlari (SSG) – yuqori chastotali tebranishlar generatorlari sifatida bajariladi. SSG ancha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

3.2. Garmonik tebranishlarning o'lchov RC-generatorlari

Past chastotali diapazonlarda LC-generatorlarning texnik tavsiflari tebranuvchi konturlarning induktivligi, sig'imi va ularga mos keluvchi g'altak va kondensatorlar o'lchamlarining kattaligi birdan olib borishi bilan sezilarli yomonlashadi. Shuningdek, ularni keng chegaralangan 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 manbayi RC-generatorlar deb ataladi.

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

Bunga faza siljituvchi RC zanjir ulanishi bilan erishiladi. Odatda, RC-generatorlarga Vin ko‘prigi (3.2-a rasm) ulanadi, u TA signali fazasining 180° ga siljishini amalga oshiradi. Bunday generator kuchaytirgich asosida quriladi, unda keng chastota diapazonida uzatish koeffitsiyenti moddiy kattalik, $\gamma = 2\pi$ fazaviy siljish esa Vin ko‘prigi bilan operatsion kuchaytirgichda signal inversiyasini ta‘minlaydi.



3.2-rasm. Vin ko‘priqli RC-generatori sxemasi:
a) oddiy; b) kvarsli barqarorlashtirilgan.

Vin ko‘priqli RC-generatorida garmonik tebranishlar chastotasi

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \cdot \quad (3.6)$$

3.2-b rasmda Vin ko‘priqli RC-generatorining oddiy sxemasi tasvirlangan, unda rezonatorlarning biri o‘rniga kuchlanish

rezonansi rejimida ishlaydigan kvarsli rezonator K_b ulangan. SG tizimdagi tovush diapazoni generatorining umumlashtirilgan tuzilish sxemasi (yuqori chastotasi 50 Hz gacha bo'lgan past chastotali generator) belgilovchi (jamlovchi) generator, quvvat kuchaytirgichi, chiqish qurilmasi va raqamli (yoki istalgan elektron) voltmerni o'z ichiga oladi.

Tovush signali generatori tuzilish sxemasining asosiy tuguni jamlovchi generatordir.

Jamlovchi generator – garmonik tebranishlarning boshlang'ich manbayi. Jamlovchi generator sxemasi chastotani o'rnatishda keng chegaralar va yuqori aniqlilik, garmonik tebranishlar parametrlarining yuqori barqarorlik va nochiziqli buzilishlarning kichik koeffitsiyentini ta'minlashi kerak.

Quvvat kuchaytirgich – 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 voltmeter 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 kuchaytirgichga kelayotgan kuchlanishni kuchsizlashtirishni nazorat qilishni amalga oshiradi, shuningdek, o'lchov generatorini tashqi yuklama bilan muvofiqlashtirishni ta'minlaydi. Chiqish qurilmasi detsibellarda bo'lingan pog'onasimon attenuatorlardan iborat.

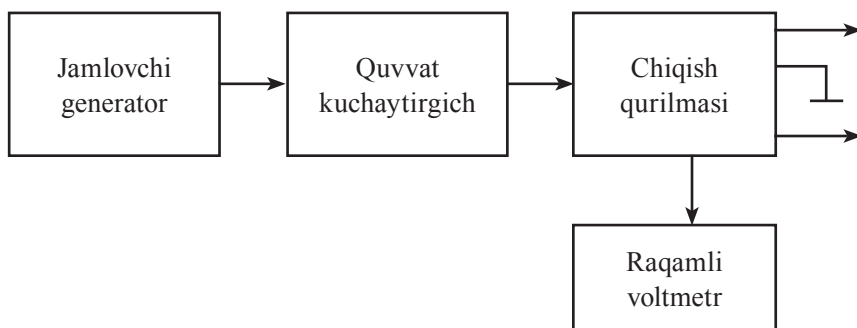
Tovush chastotali generatorlar, odatda, 5...10 W da chiqish signali quvvatining qiymat darajasiga ega. Lekin bunday quvvat moslangan yuklamadagina ajralib chiqishi mumkin, shu-

ning uchun generator chiqishida ko'pincha moslashtiruvchi transformator ulanadi, masalan, 60, 600, 6000 Ω 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) ishlatish bilan oshirish mumkin.

Tovush chastotali tebranishlar generatsiyasining 3 ta: to'g'ri, tepkili 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 chastotasining barqarorligini ko'tarish uchun tez-tez tepkili jamlovchi generatorlar qo'llanadi. Jamlovchi generatorning tuzilish sxemasi 2 ta boshlang'ich yuqori chastotali generatoridan, f_1, f_2 qayd qilingan chastotalar aralash tirgichi va oraliq chastotalar filtridan iborat (3.3-rasm). Tepkili usulda tovush chastotasi tebranishlari aralash tirgichning garmonik tebranishlar f_1, f_2 chastota bo'yicha 2 ta yaqin noxiziqli elementiga ta'siri natijasida paydo bo'ladi.



3.3-rasm. Tovush diapazonli generatorning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi.

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

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

Tepkili tebranishli o'lchov generatorlari yaratishda elektr 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 noxiziqli buzilishlar koeffitsiyenti, odatda, foizning 1/10 qismini tashkil qiladi va, asosan, oraliq chastotalar filtrning sifati bilan aniqlanadi.

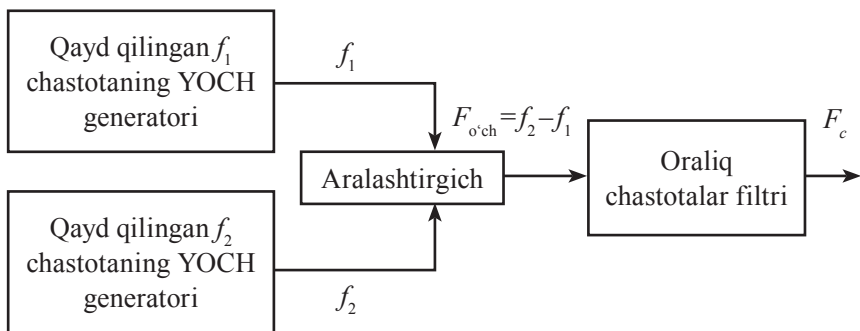
Elektron modellashtirish usuli infrapast chastotali garmonik tebranishlar generatorlari yaratishda ishlatiladi.

Elektron modellashtirish usuli bo'yicha ko'rilgan infrapast chastota generatorini umumlashtirilgan tuzilish sxemasi orqali tasvirlash mumkin (3.4-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. 3.5-a rasmda infrapast chastotali generator TAlI 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.

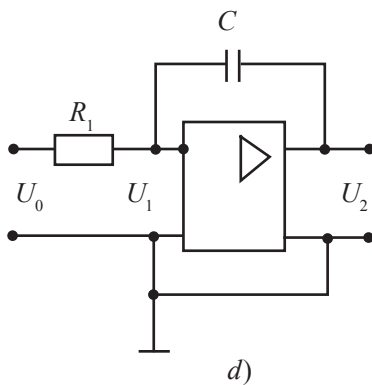
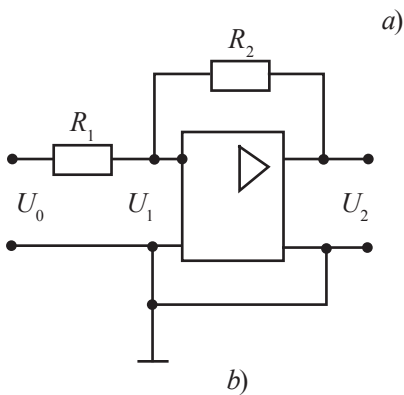
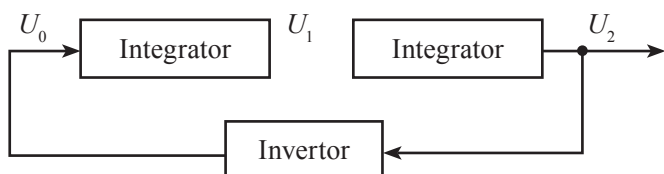
Generatorning kuchaytiruvchi va integrallovchi zvenolari 3.5-b va d rasmlarda ko'rsatilgan.

Bunday generatorning chiqish chastotalari tebranishlari integrallovchi zvenolarning parametrlari bilan aniqlanadi:

$\omega \approx \frac{\alpha}{(RC)}$, bu yerda: α – butun zanjirning uzatish koeffitsiyenti.



3.4-rasm. Tepkili o'lchov generatorining tuzilish sxemasi.



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

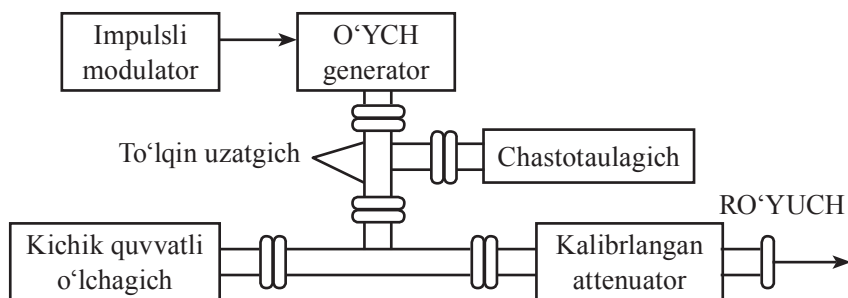
Infrapast chastotali generatorni chastotali elektron boshqarishli sxema bo'yicha qurish mumkin. Bunday qurilma funksional generatorlar deb nomlanadi.

3.3. O‘ta yuqori chastotali generator

O‘ta yuqori chastotali generator (O‘YCH) 1...40 GHz chastota diapazonida ishlash uchun mo‘ljallangan. Tadqiq qilinayotgan sxemadagi chiqish ulovchilarning tipi bo‘yicha koaksial va to‘lqin o‘tkazgich O‘YCH-generatorlar farq qilinadi, bunda ikkinchi tipi ancha yuqori chastotalidir. O‘YCH-generatorlar uchun chastota bo‘yicha kichik yopiqli (oktavaga yaqin – 2 marta) bir diapazonli qurilish xarakterlidir. O‘lchaydigan O‘YCH-generatorning kalibrlanmagan chizish quvvati YVTga yetadi, kalibrlanganligi esa bir necha mikrovattni tashkil etadi. O‘YCH-generatorning kalibrlangan attenuatorlari shkalalari detsibellarda, HZS esa desibellar va mikrovatlarda graduirlanadi.

O‘YCH-generatorlar radiolokatsion va radionavigatsion stansiyalari optik aloqa va yo‘ldosh aloqali tizimlari radio qabul qilgich uskunalarining turli antennalar parametrlarini va boshqalarni sozlash uchun ishlatiladi.

To‘lqin uzatgich chiqishli O‘YCH-generator. Uning tuzilish sxemasi 3.6-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‘YCH-generator, impulsli modulator, kichik quvvatli o‘lchagich, chastotalar va kalibrlangan attenuatorni o‘z ichiga oladi. Generatorning barcha yuqori chastotali tugunlari to‘lqin uzatgich bilan ulangan.



3.6-rasm. To‘lqin uzatgich chiqishli O‘YCH generatorining tuzilish sxemasi.

Santimetrli va millimetrli 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 tunnel diodlar (TD), shuningdek, lavina o‘tuvchi diodlar (LUD) va elektron o‘tuvchi oraliq diodlar (EUD), Gann diodlari deb ataluvchi diodlar kiradi.

3.4. Past chastotali raqamli o‘lchov generatorlari

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.

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

3.5. Tebranma chastotali va maxsus shaklli signallar generatorlari

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 boshlang'ich f_n chastotalarning farqi kabi aniqlanadi, ya'ni $\Delta f = f_k - f_n$.

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

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

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

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

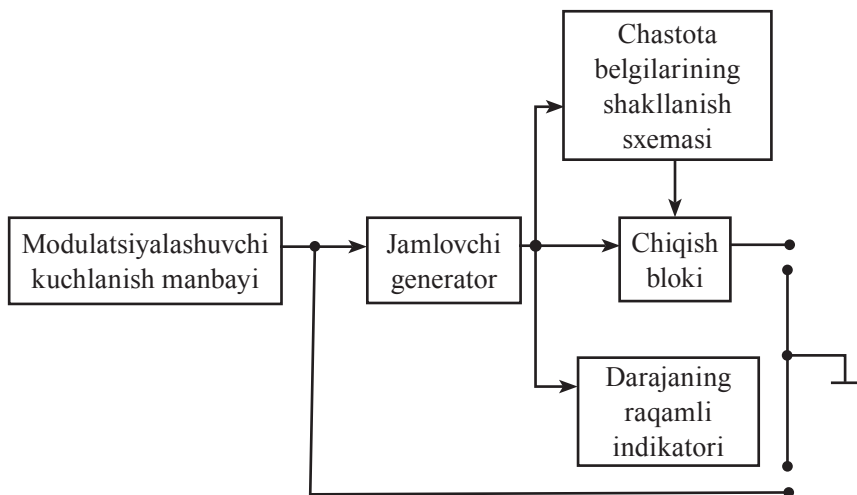
Ikkinchisiga berilgan yuklamada ishlayotganda chiqish quvvatining (kuchlanishning) darajasi, chastota takrorlanishida bu darajaning teng bo'lmasligi va boshqalar kiradi. Tebranuvchi chastotali generatorlarda modulatsiyalashtirish tavsifi, chiziq-liligi, quvvatning chiqish darajasi doimiyligi va yondosh modulatsiyaning 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 yarimo'tkazgichli diod-varikap baryer sig'imi kattaligi o'zgartirish yo'li bilan chastotalarni qayta tiklash usuli o'z amaliy qo'llanishini topgan. Modulatsiyalanadigan kuchlanish varikapning $p-n$ o'tishga ta'sir qilib, uning sig'imini o'zgartiradi, demak, tebranuvchi kontur parametrlari va generatsiyalanuvchi 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 manbayiga aytiladi. 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 foydalaniladi. Multivibratorlarda, odatda, chastotani kvarsli mo'tadillash ishlatiladi. Impulsli generatorning tuzilish sxemasi va uning ishining vaqtli diagrammasi 3.7-rasmda ko'rsatilgan. Jamlovchi (taktli) generator – JG ichdan ishga tushirish rejimida ishlashni ta'minlaydi va asosiy impulslarning takrorlanishi chastotasini (T davr) belgilaydi.

Vaqtli parametrlarni shakllantirgich yordamchi impulslar U_{ϕ} ishlab chiqaradi va jamlovchi generatordan ishga tushirish (kalitning holati) yoki tashqi ishga tushirish rejimida (kalitning 2-holati) ishlashi mumkin. Kechikish sxemasi yordamchi



3.7-rasm. TCHGning soddalashtirilgan tuzilish sxemasi.

impulsning vaqtning siljishini U_k tekis o'zgaruvchan intervalda t_k vujudga keltiradi, shuning uchun asosiy impuls shakllantirgichi tomonidan ishlab chiqariladigan asosiy impulsning davomiyligi $t_n = t_k$ tarzida aniqlanadi. Qator holatlarda impuls signallarini tashqi ishga tushirish impulsari bilan sinxron generatsiyalash zarurati kelib chiqadi. Bunda 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 tugmachasini tutashtirish bilan amalga oshiriladi.

3.6. To'rtqutblilarning amplituda-chastota xarakteristikalarini o'lchash

Radioelektron qurilmalarining texnik holatini aniqlash jaryonida ularning chastota xarakteristikalarini o'lchash muhim ahamiyat kasb etadi.

Qurilmalarning uzatish koeffitsiyenti, faza siljishi, sezgirliги va boshqa parametrlarining sinusoidal tebranish chastotasi bog'liqligini ifodalovchi xarakteristikalar chastota xarakteristikalar deb ataladi. Bular orasida uzatish koeffitsiyenti modulining chastotaga qarab o'zgarishini aks ettiruvchi amplituda-chastota xarakteristikasi (ACHX) muhim ahamiyatga ega.

Uzatish koeffitsiyentining to'rtqutblining chiqishidagi kuchlanishning kirishidagi kuchlanishga nisbati bilan ifodalanadi:

$$K = \left. \frac{U_2}{U_1} \right|_{U_3 = 0}, \quad (3.6)$$

bu yerda: U_1 – kirishdagi kuchlanish;

U_2 – chiqishdagi kuchlanish;

U_3 – chiqishdagi iste'molchidan qaytarilgan kuchlanish.

Iste'molchi qarshiligi to'rtqutblining chiqish qarshiligiga teng bo'lsa, U_3 nolga teng bo'ladi.

Agar $U_2 < U_1$ bo'lsa, to'rtqutblidan o'tgan signal pasayadi va bu to'rtqutbli passiv yoki pasaytiruvchi deb hisoblanadi.

Agar $U_2 > U_1$ bo'lsa, to'rtqutblidan o'tgan signal kuchayadi va bu to'rtqutbli kuchaytiruvchi deb hisoblanadi.

To'rtqutblining amplituda-chastota xarakteristikasini ikki usul bilan o'lchash mumkin. Burinchi usul bo'yicha, uzatish koeffitsiyenti modulining chastotaga qarab o'zgarishi alohida nuqtalarda o'lchanadi va ular asosida ACHX o'tkaziladi.

Bu usul bilan ACHXni o'lchash uchun sinusoidal signal generatori va voltmetrdan foydalanadi. Generatoridan sinusoidal signal o'lchanayotgan to'rtqutblining kirish qutblariga beriladi va uning chiqish qutblaridagi kuchlanish voltmetr yordamida o'lchanadi.

Uzatish koeffitsiyenti (3.7) ifoda bo'yicha hisoblanadi.

Bu usul o'ziga xos kamchiliklarga ega:

– ACHXni nuqtalar bo'yicha o'lchash aniqligini oshirish uchun nuqtalar soni katta bo'lishi lozim, bu esa o'lchash vaqtining ancha uzayishga olib keladi;

– o'lchash nuqtalari orasidagi ACHXning keskin o'zgarishlari qayd etilmay qolishi mumkin;

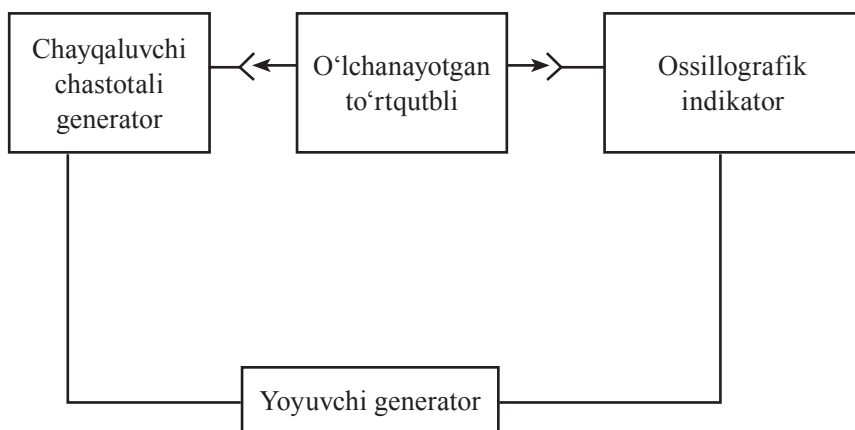
– o'lchash vaqti uzoq davom etgani uchun ACHXning shakliga atrof-muhitning temperaturasi va elektr toki manbayi kuchlanishining o'zgarishi ta'siri ancha katta bo'ladi.

Ikkinchi usul bo'yicha ACHX chayqaluvchi chastotali generator (CHCHG) va ossillografik indikator yordamida bevosita o'lchanadi. Bu usul birinchi usulga xos kamchiliklardan mustasno, ammo bu usulga xos kamchilik ham bor – har bir nuqtadagi o'lchash vaqtining kamligi natijasida o'lchash aniqligi kamayadi.

Ikkinchi usul qo'llanganda maxsus generator kerak bo'ladi. Bu generator sinusoidal signal manbayi bo'lib xizmat qiladi,

signal chastotasi aniq qonun bo'yicha tegishli diapazon ichida o'zgaradi.

ACHXni aks ettiruvchi indikator tariqasida ossillograf yoki ikki koordinatli o'zi sezar asbob ishlatiladi. ACHXni o'lchaydigan oddiy avtomatik asbobning tuzilish sxemasi 3.8-rasmda keltirilgan.



3.8-rasm. ACHXni o'lchovchi asbobning tuzilish sxemasi.

Chayqaluvchi chastotali generatoridan (CHCHG) amplitudasi o'zgarmas signal tekshirilishi lozim bo'lgan to'rtqutblining kirish qutblariga beriladi. To'rtqutblining uzatish koeffitsiyenti chastotaga qarab o'zgarishi natijasida, uning chiqish qutblaridagi signal amplituda bo'yicha o'zgargan bo'ladi. Shu modulatsiyalangan signal detektor yordamida ajratib chiqariladi, o'q bo'yicha siljitiba, ACHXni chizadi.

CHCHG chastotasini o'zgartirish va ossillografik indikatorning elektron nurini gorizontol o'q bo'yicha siljitish bir vaqtning o'zida sinxron ravishda yoyuvchi generator yordamida amalga oshiriladi.

Bu sxema bo'yicha qurilgan ACHXni o'lchaydigan asbobda elektron nurning indikator ekranidagi gorizontol holati to'rtqutb-

lining kirish qutbidagi chastotaga mos keladi, vertikal holati esa to'rtqutblining shu chastotadagi uzatish koeffitsiyenti moduliga mos keladi. Shunday qilib, indikator ekranida avtomatik ravishda, tekshirilayotgan to'rtqutblining ACHXsi chiziladi.

Yoyuvchi generatorning kuchlanish shakli har xil bo'lishi mumkin: arrasimon, sinusoidal, uchburchaksimon. Eng muhimi, chayqaluvchi chastotali generator chastotasining o'zgarishi qonuni va elektron nurni gorizontal o'q bo'yicha siljishida masshtab chiziqli bo'ladi. ACHXni o'lchash asboblarida yoyuvchi generator kuchlanishining shakli arrasimon bo'ladi, chunki shu holatda ekranda chizilgan ACHX har bir nuqtasining yorug'ligi bir xil bo'ladi.

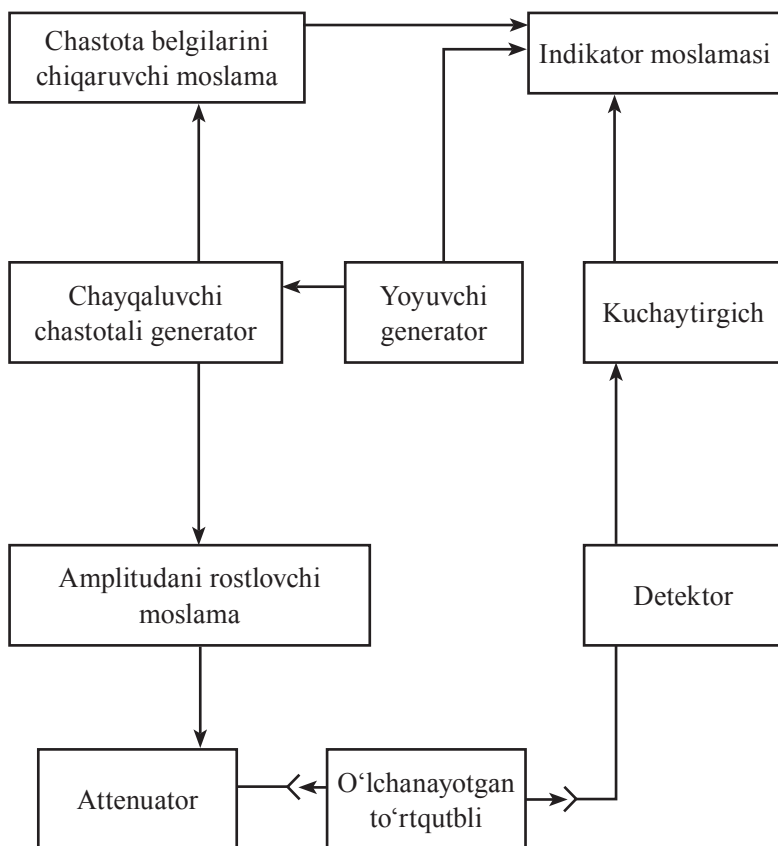
Chastotani baholash uchun ekranda maxsus belgilar hosil qilinadi. Maxsus sxema yordamida bu belgilar shu asbobga o'rnatilgan kvart rezonatori vositasida chastotasi barqarorlashtirilgan generator signalini CHCHG signali bilan aralashtirib shakllantiriladi.

Uzatish koeffitsiyentining modulini o'lchash o'rin bosish usuliga asoslangan. O'lchashdan oldin asbob kalibrovka qilinadi. Buning uchun CHCHGning signali to'g'ri indikatorga ulanadi va CHCHG ichidagi attenuator eng katta pasaytirish holatiga o'rnatiladi. Bu holat shartli ravishda (nol) deb olinadi. Keyinchalik o'lchanadigan to'rtqutbli CHCHG-indikator oralig'iga ketma-ket ulanadi va indikatorning ko'rsatmalari attenuator yordamida kalibrovka qilingan holatga keltiriladi. Attenuator ko'rsatmalarining o'zgarishi to'rtqutblining pasaytirish yoki kuchaytirish qobiliyatini aniqlaydi.

Uzatish koeffitsiyentini o'lchashning yana bir usuli – oldindan kalibrovka qilingan indikator shkalasidan foydalanishga asoslangan.

ACHXni o'lchash jarayonidagi talablarni qondirish uchun uni o'lchaydigan asbob tuzilish sxemasiga qator yordamchi bloklar kiritiladi.

Bunday asbobning tuzilish sxemasi 3.9-rasmda keltirilgan.



3.9-rasm. ACHXni o'lchovchi asbobning to'liq sxemasi.

Chayqaluvchi chastotali generator (CHCHG) ACHXni o'lchaydigan asbobning asosiy tarkibiy qismi hisoblanadi. Bu tarkibiy qismni ikki yo'l bilan tuzish mumkin. Katta chiqish quvvati va to'g'ri chiziqli bo'lmagan buzilishi kam signalni olish uchun chayqaluvchi chastotali avtogeneratorlardan foydalanadi. CHCHGning chastotasini keng diapazonda o'zgartirish uchun uni o'zgarmas chastotali va o'zgaruvchan chastotali generatorlar signallarini aralashtirish yo'li bilan tuzish mumkin.

CHCHG signali amplitudasi butun chayqalish diapazonida o'zgarish holda bo'lishi uchun amplitudani avtomatik rostlagich bloki ishlatiladi.

CHCHG signalining bir qismi maxsus chastota belgilarini ishlab chiqadigan blokka uzatiladi. Bu blokda kalibrovka uchun mo'ljallangan chastota spektri hosil qilinib, u CHCHG signali bilan aralastiriladi va chastota belgilari hosil qilinadi. Shu belgilar indikator blokiga uzatiladi va uning ekranida amplituda belgilari sifatida ko'riladi.

Hozirgi zamon asboblarda bu belgilar yana bir elektron nuri bilan belgilanadi.

To'rtqutblidan o'tgan signal chayqaluvchi chastotali va amplitudasi modulatsiyalangan bo'ladi. Modulatsiyalangan kuchlanish to'rtqutblining ACHXsiga mutanosib ravishda o'zgaradi. Ana shu modulatsiyalangan signal detektor yordamida ajratiladi va indikator blokiga uzatiladi. ACHXni o'lchash asbobida bir necha xil detektorlar qo'llaniladi: yuqori omli, ichiga iste'molchi qarshilik o'rnatilgan, o'tkazib yuboruvchi va boshqalar. Detektorlar alohida silindrsimon qobiqqa yig'iladi va o'lchanayotgan to'rtqutbli yonida joylashadi.

Ular detektor qalpoqchalar deb ataladi. Detektordan signal indikator blokiga o'tkaziladi.

Indikator blokining asosiy vazifasi o'lchangan ACHXni ekranda aks ettirishdan iborat. Elektron-nur trubka (ENT) si indikator blokining asosiy elementi hisoblanadi. ACHXni o'lchaydigan asboblarda ishlatiladigan ENTga o'ziga xos talablar qo'yiladi. Agar chastotaning chayqalish (o'zgarish) tezligi katta bo'lsa, ENTning keyin nurlanish vaqti kam bo'lishi lozim. Agar chastotaning chayqalish tezligi kichik bo'lsa, ENTning keyin nurlanish vaqti katta bo'lishi lozim.

ACHXni o'lchaydigan asboblarda qo'llaniladigan ENTlar nurni elektrostatistik yoki elektromagnit og'diruvchi bo'lishi mumkin.

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 tebranishlar o'lchov RC-generatorlarining ish tamoyillarini aytib bering.
5. Vin ko'prigi asosida RC-generatorining ishlashini tushuntirib bering.
6. Tebranuvchi konturning tuzilish sxemasini tushuntiring.

4-BOB.

ELEKTR TEBRANISHLAR CHASTOTALARINI VA VAQT INTERVALLARINI O'LGHASH

4.1. Umumiy ma'lumotlar

Analog asboblardan farqli holda RO'Ada quyidagi operatsiyalar avtomatik holda bajariladi: o'lchanayotgan kattalikning sath bo'yicha kvantlanishi; uning vaqt bo'yicha diskretizatsiyalanishi; informatsiyaning kodlanishi.

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

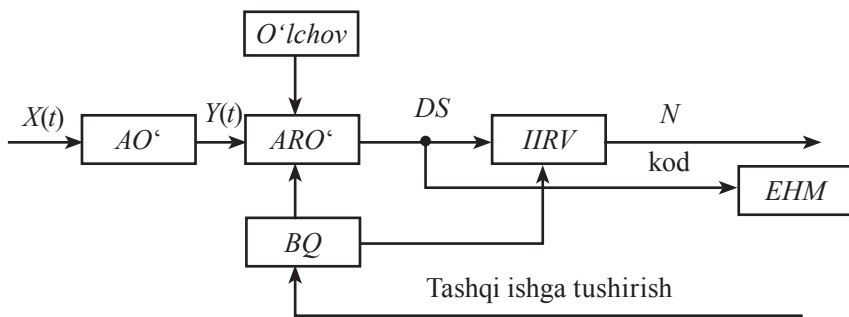
Raqamli o'lchash asboblarining afzalliklari:

- 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 MV dan 2000 V gacha.

Kamchiligi:

- asbobning murakkabligi sababli tannarxining balandligi;
- ko'rsatkichli asboblarga qaraganda kam chidamliligi.

Raqamli o'lchash asbobining umumlashgan chizmasi 4.1-rasmda keltirilgan.



4.1-rasm. ROA tuzilishi chizmasi: AO' – kirish analog o'zgartgichi; ARO' – analog raqamli o'zgartgich; $O'lchov$ – namuna o'lchov; BQ – boshqarish qurilmasi; $IIRV$ – informatsiyani ifodalovchi raqamli vosita.

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 $IIRV$ da raqamli hisob N ga kiritiladi.

Raqamli asboblarda ikkilik va o'nlik sanoq shaklidan foydalaniladi.

Raqamli asboblarning elementlari va qismlari:

- 1) ikkilik hisoblagichlar;
- 2) registrlar;
- 3) deshifratrlar;
- 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 mantiqiy sxemalar va triggerlardan tashkil topgan.

Raqamli o'lchash asboblari bir necha xil bo'ladi.

4.2. Vaqt oraliqlarini o'lchovchi raqamli o'lchagichlar

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

O'lchanayotgan signal $U_x(t)$ kuchaytirgich shakllantiruvchi-ga 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 IG dan hisoblagichga kiritiladi. H – hisoblagichning T_x vaqt ichidagi impulslar soni quyidagi ifodadan hisoblanadi:

$$N = T_x / T_0 = T_x \cdot f_0. \quad (4.1)$$

f_0 chastotaning T_0 davri bu holda namunaviy kattalikdir va u bilan o'lchanayotgan vaqt oralig'i taqqoslanadi.

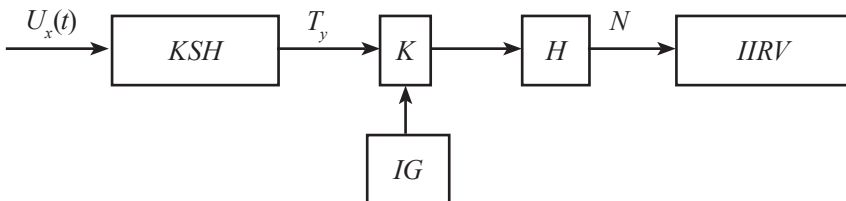
Hisoblagichdan chiqqan kod $IIRV$ da aks etadi.

Raqamli chastotomerlar:

- davriy signal chastotasini va vaqt intervalini o'lchaydi.

Bu chastotomerning ish prinsipi quyidagicha: noma'lum chastotaning davrlar soni T_x namuna vaqt oralig'i T_0 da hisoblanadi, ya'ni

$$N = T_0 / T_x = T_0 \cdot f_x. \quad (4.2)$$



4.2-rasm. RO'Ada davriy o'lchashning tuzilishi.

4.3. Raqamli faza o'lvhagichlar

Raqamli fazametrlar.

Bu fazametrlar impulsli qurilmalarni tadqiq qilishda, turli bo'g'inlarning faza-chastota tavsiflarini olishda ishlatiladi.

Ular ikkita guruhga bo'linadi:

- 1) fazalar siljishi oniy qiymatini o'lvhovchi;
- 2) fazalar siljishi o'rta qiymatini o'lvhovchi.

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

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

$$T_x = 1/f_x$$

T – tebranish davri – tebranishlar orasidagi vaqt siljishi.

Raqamli chastotomer, vaqt oralig'i o'lvhagichi va fazametrlar bir xil qismlardan tashkil topganligi sababli ular yagona universal asbob sifatida ko'rilgan va elektron-hisob chastotomeri deb nomlangan.

Bu chastotomerlar past chastotali – 10 MHz gacha va yuqori chastotali – 150 MHz gacha bo'ladi. O'lvhashlar avtomat holda va qo'lda bajariladi.

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

4.4. O'zgarlas tok va kuchlanishni o'lvhovchi raqamli o'lvhash asboblari

O'lvhov ma'lumotlarini uzoq bo'lvmaglan masofalarga uzatish uchun o'zgarlas va o'zgaruvchan kuchlanish va tok hamda unifikatsiyalangan signaldan foydalaniladi.

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

Vaqt o'zgartkichli raqamli voltmترلar.

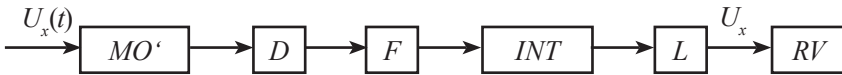
O'lanayotgan kuchlanish dastlab vaqt oralig'iga aylantiriladi. Keyin esa raqamli kodga o'zgartiriladi.

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

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

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

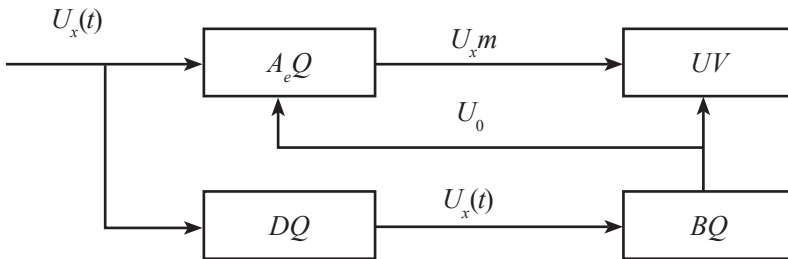
Bunday SIP chizmasi 4.3-rasmda keltirilgan.



4.3-rasm. O'zgaruvchan kuchlanish va toklarni o'lchovchi raqamli voltmترلar: MO' – masshtab o'zgartkichi; D – detektor; F – filtr; INT – integrator; RV – raqamli voltmetr; L – linearizator.

O'zgaruvchan sinusoidal yoki impulsli kuchlanishning amplituda qiymatini o'lchash uchun amplituda analizatorlari va xotirada saqlovchi raqamli voltmترلar ishlatiladi (4.4-rasm).

Ayniqsa, o'lanayotgan kuchlanish amplitudasini xotirada saqlash usuli soddaligi bilan farqlanadi.



4.4-rasm. Amplituda qiymatini eslab qoluvchi raqamli voltmetrning tuzilishi: A_eQ – analog eslash qurilmasi; DQ – differensiallovchi qurilma; BQ – boshqarish qurilmasi.

Bu voltmetr 0,1–0,2% xatolikka ega. Eslash vaqti t_{es} 10 μ s.

Mikroprotessorli raqamli o'lchash asboblari.

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

Loggerlar 16–100 o'lchov kanallariga ega.

4.5. Bevosita hisob usuliga asoslangan raqamli chastota o'lchagichlar

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

$$f_x = N / \Delta t_0, \quad (4.3)$$

bu yerda: 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:

$$\Delta t_x = N / f_0 = NT. \quad (4.4)$$

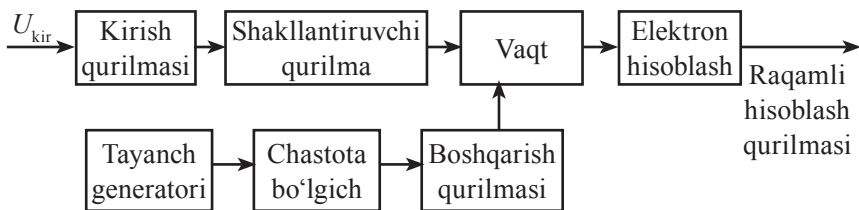
Yuqorida keltirilgan bevosita hisoblash usuli elektr signalining chastota vaqt parametrlarini raqamli o'lchash usullarining asosini tashkil qiladi.

4.5-rasmda elektron hisobli chastota o'lchagichning soddalashtirilgan tuzilishi berilgan.

Chastota o'lchash rejimi.

Tekshiriladigan signal U_x kirish qurilmasiga keladi, kuchaytiriladi yoki susaytiriladi, signal filtrlanadi.

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



4.5-rasm. Elektron hisobli chastota o'lgagichning 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 vaqti aniqlaydi.

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

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

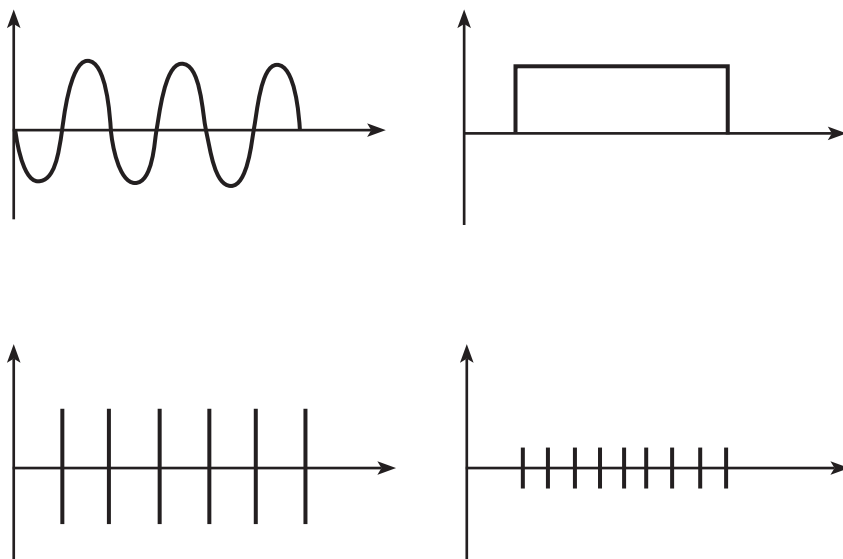
$$f_x = N \cdot 10^k \text{ Hz.} \quad (4.5)$$

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 kvarts generatori boshlang'ich chastotasi asosida paydo bo'ladi.

Raqamli chastotomerlarda, asosan, termostatlangan kvarts generatorlardan foydalaniladi va $f_0 = 0,1 \div 10$ MHz chastota diapazonida bo'ladi, chastotasining maksimal nisbiy xatoligi $10^{-7} \dots 10^{-9}$ ni tashkil etadi. Bu xatolikni ikkinchi tashkil etuvchi diskret xatolikka nisbatan hisobga olmasa ham bo'ladi.

$$N_x = f_x \Delta t_0. \quad (4.6)$$



4.6-rasm. Elektron hisoblagich qurilmalarida signalning vaqt bo'yicha diagrammalari.

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

$$\delta_g = \pm 1/N = \pm 1/f_x \Delta t_0. \quad (4.7)$$

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

$$\delta_g = 1/f_x \Delta t_0. \quad (4.8)$$

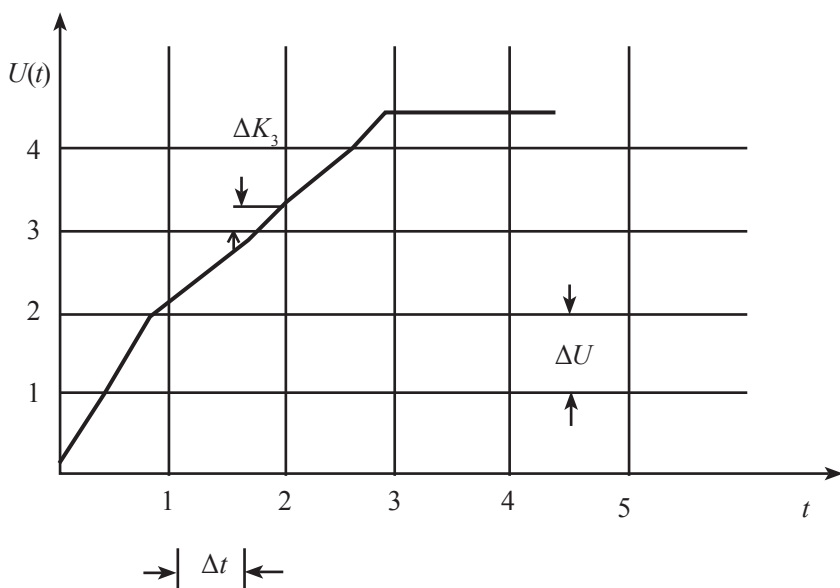
Yuqoridagilardan ko'rinib turibdiki, diskretlash xatoligi o'lchanayotgan chastotani va o'lchash vaqtini oshirish hisobiga

kamaytiriladi. Yuqori chastotalarni o'lchashda diskretlikning nisbiy xatoligi kamayadi va tayanch generatorining xatoligi bilan teng bo'ladi. O'lchanayotgan chastota va o'lchash vaqti ortgan sari diskretlikning nisbiy xatoligi kamayadi.

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

Hozirgi paytda analog-diskretli o'lchash asboblari (ADO'A) ishlatilmoqda. RO'Adan farqli holda 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 (RHK)dan foydalaniladi.



4.7-rasm. $U(t)$ kattalikning kvantlanish va diskretlanish grafiqi:

Δt – diskretlash odimi; ΔU – pog'ona, kvantlanish odimi;

ΔK_3 – 3-sath bo'yicha kvantlanish xatoligi.

«Kod» hosil qilish uchun RO'Ada 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 kattalikka 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.

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

Kodlashda hisoblashning ikkilik, o'nlik va ixtiyoriy sanoq sistemasidan foydalaniladi.

O'nli sistemada har qanday N soni quyidagi ko'rinishda beriladi:

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

bu yerda: k_i – 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 sistemasida 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'Ada o'nli sistemada o'lchash natijalarini ifodalash uchun foydalaniladi. Bunda kodlash ikkita turg'un holatga ega bo'lgan «trigger» deb nomlangan elementlardan foydalaniladi.

Nazorat savollari

1. Vaqt oraliqlarining o'lchovi – raqamli o'lhagichlar nimalarni o'lchaydi?
2. Raqamli o'lhagichlarning qanday turlarini bilasiz?
3. Raqamli o'lchash asboblarning afzalliklarini ayting.
4. Raqamli asboblarning elementlari va qisimlarini aytib bering.
5. Raqamli faza o'lhagichlarining qaysi turlarini bilasiz?
6. Amplituda qiymatini eslab qoluvchi raqamli voltmerning tuzilishi asosida ish prinsipini tushuntiring.
7. Elektron-hisobli chastota o'lhagichi tuzilishi va ishlash prinsiplari nimalarga asoslangan?
8. Raqamli o'lchash asbollaridan qaysi tizimlarda foydalaniladi?

5-BOB.
FAZAMETRLAR VA FAZALAR FARQINI
O'LCHASH

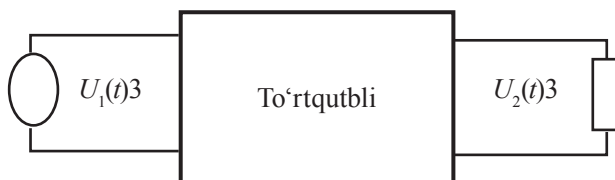
5.1. Umumiy ma'lumotlar

Garmonik tebranish deb, sinus yoki kosinus funksiyalari bilan ifodalanadigan eng sodda tebranma harakatga aytiladi. Garmonik tebranish jarayonining fazasi deganda,

$$U(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (5.1)$$

funksiyasining argumenti, ya'ni $(\omega t + \varphi_0)$ tushuniladi. Bunda α_0 – boshlang'ich faza.

Faza tushunchasi faqat garmonik jarayonlarga xosdir. Garmonik bo'lmagan, masalan, impulsli jarayonlar uchun fazalar farqi yoki siljishni jarayonlar orasidagi vaqt bo'yicha surilish tushunchasi bilan almashtirish mumkin.



5.1-rasm. To'rtqutblining faza siljishini o'lchash.

Amalda ko'pincha to'rtqutblining faza chastota tavsifi (FCHT)ni o'lchashga to'g'ri keladi. Ko'p elektr qurilmalar, masalan, fototelegraf, televizion va boshqalar ana shunday

FCHT bilan xarakterlanadi. To'rtqutblining faza-chastota tavsifi deb, uning kirish va chiqish kuchlanishlari boshlang'ich fazalari farqining chastotaga bog'liqligiga aytiladi.

$$\begin{aligned}
 U_1(t) &= U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1), \\
 U_2(t) &= U_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2), \\
 \varphi &= \omega e + \varphi_1 - \omega t - \varphi_2 = \varphi_1 - \varphi_2.
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

Faza siljishini o'lchash uchun amalda ossillografik, qo'shish va ayirish, faza siljishining vaqt intervaliga nisbatan o'zgartirishi kabi usullari qo'llaniladi. Shu usullarning ayrimlari bilan tashishamiz.

5.2. Fazaviy siljish va fazaviy parametrlarni o'lchashga doir ma'lumotlar

Aloqa, liniya va traktlarning elementlari va apparatura bog'lamlarining 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 vaqti t_{tar} ga teng bo'lsa, bu vaqt ichida faza signali o'zgaradigan φ_a absolut faza burchagi $\varphi_a = \omega t_{tar}$ ga teng. *Nisbiy fazaviy siljish* deb $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ ga teng bo'lgan kattalikka aytiladi, 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 absolut guruhviy 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 absolut guruhiy vaqti 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'lchash amaliyotida chastota va fazaning cheksiz orttirmalari nisbatan kichik yakuniy orttirmalarga almashinadi: $t_{gr} = \Delta\varphi / \Delta\omega = (j'' - j') / (\omega'' - \omega')$, (bu yerda j'' va $j' - \omega''$ va ω' chastotalardagi faza siljishlari). t_{gr} kattaligi kechikishning nisbiy guruhiy vaqti deb ataladi. U haqiqiy (absolut) $t_{a.gr}$ kattalikdan $2k\pi/\omega$ kattalikka farq qilishi mumkin. t_{gr} ning chastota o'zgarishi bilan beqarorligi (faza siljishi chastotaviy xarakteristikasining chiziqlilikdan og'ishi) 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'lchash orqali kuch zanjirlaridagi quvvat koeffitsiyentini baholash mumkin. Ishlab turgan magistrallarda va aloqa qurilmalarini sinashda, odatda, kechikishning guruhiy vaqti va qurilmaning chastotaviy xarakteristikalari o'lchanadi. Tonal chastotali kanallarda t_{gr} ning 1000 Hz chastotaga nisbatan notekislik 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 vaqti bo'lgan t_{gr} ni, haqli ravishda, kechikishning guruhiy vaqti deb ataladi.

Fazaviy siljishni o'lchashning quyidagi usullari mavjud: ossillografik usul, yig'indi va ayirmali kuchlanishlarni o'lchash usuli, fazaviy siljishni impulslar oralig'idagi vaqt intervaliga almashtirish usuli, taqqoslash va kompensatsiya usullari, chastotani almashtirish usuli va kirish qarshiliklarini o'lchashga asoslangan usullar mavjud.

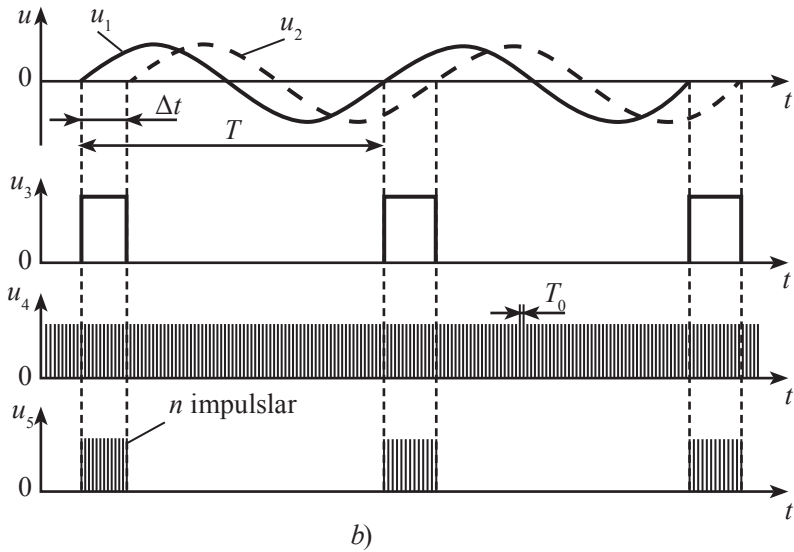
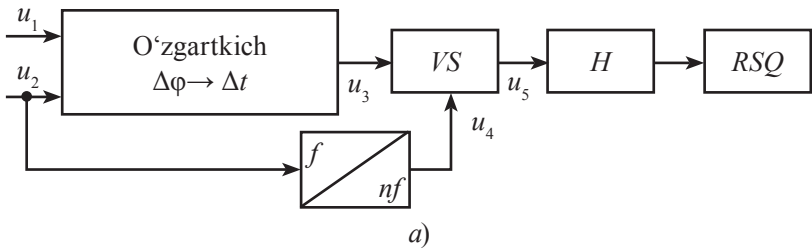
Amaliyotda asosiy chastota bo‘ylab ikki davriy impulsli kuchlanish orasidagi «faza siljishi» tushunchasiga duch kelish mumkin. Bu farq o‘rganilayotgan kuchlanishlar impulsleri orasidagi nisbiy vaqtinchalik siljish bilan aniqlanadi: $j = 360^\circ \Delta t / T$ (T – impulsli kuchlanish davri).

Kechikishning guruhiiy vaqti quyidagi usullar bilan o‘lchanadi: «nuqtalar bo‘ylab», ossillografik, guruhiiy signallarni uzatish orqali va panoramali usullar (oldingi usulning bir turi) bilan. Fazaviy siljishni o‘lchashning barcha usullari yordamida kechikishning nisbiy vaqtini ham bilvosita aniqlash mumkin.

5.3. Diskret-hisob usuli asosida qurilgan raqamli fazametrning ish tamoyili

Diskret (raqamli) hisob usulini amalga oshiradigan raqamli fazametrning tuzilmaviy sxemasi, izlanayotgan $\Delta\varphi$ faza farqini Δt vaqt intervaliga o‘zgartirgich ($\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$), V_S vaqt sektori, sanoq impulslarining shakllantirgichi (f/nf), H hisoblagich va RSQ raqamli sanoq qurilmasidan tashkil topgan (5.2-a rasm). Vaqt selektori kalitli logik sxema ko‘rinishida bajarilgan. Sanoq impulslarining shakllantirgichi esa kirish signalining chastotasini impulsli ko‘paytirgichi bazasida va chiqish impulslerini shakllantirish sxemasida qurilgan. Raqamli fazametr quyidagi tartibda ishlaydi. O‘zgartirgich $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ uning kirishiga uzatiladigan fazalar farqi $\Delta\varphi$ bo‘lgan u_1 va u_2 sinussimon signallardan to‘g‘ri burchakli impulslerini u_3 (5.2-b rasm) shakllantiradi, bu impulslerini davomiyligi Δt va takrorlanish davri T , u_1 , u_2 signallar davri hamda vaqt bo‘yicha siljishiga mos holda teng bo‘ladi. u_3 impulslerini hamda sanoq impulslerini shakllantirgichi ishlab beruvchi takrorlanish davri T_0 ga teng bo‘lgan u_4 sanoq impulslerini 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.



5.2-rasm. Fazalar siljishini raqamli o'lchash usuli.

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

$$n = \Delta t / T_0. \quad (5.3)$$

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

$$T_c = T / (36 \cdot 10^m), m = 1, 2, 3... \quad (5.4)$$

(5.3) ifodaga Δt uchun munosabatni (5.4) 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:

$$\Delta\varphi = \frac{n}{10^{m-1}}. \quad (5.5)$$

(5.5) ifodadan $\Delta\varphi$ fazalar siljishi hisoblagichga kelgan n sanoq impulslari soniga proporsional ekanligi kelib chiqadi. Fazalar siljishi $\Delta\varphi$ 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 h.k. 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 davomiylikning Δt dan chetlanishi $\Delta\varphi \rightarrow \Delta t$ 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 epyuralari tuzilmaviy sxemasi 5.3-rasmda ko‘rsatilgan.

Bu sxema 5.3-*a* rasmdagi sxemadan ikkinchi vaqt selektori $VS2$, 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 (5.3-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 (5.3)-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 koeffitsiyenti K_b bo'lgan chastota bo'lgich bazasida qurilgan. Uning kirishiga *IG* impulslar generatoridan takrorlanish davri T_0 bo'lgan u_4 kuchlanish impulslari uzatiladi (5.3-b rasm). Bunda *ISH* chiqishida vaqt selektori *VS2* ni ochuvchi davomiyligi $T_k = K_b S$ bo'lgan g_6 impulsni shakllantiradi. Buning natijasida *VS2* chiqishiga soni

$$m = T_k / T = K_b \cdot T_0 / T \quad (5.6)$$

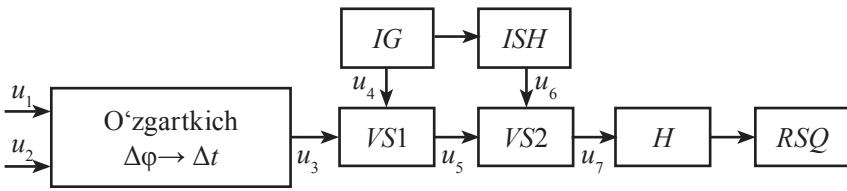
bo'lgan u_5 impulslar paketining qatori o'tadi. *VS2* vaqt selektoridan signal (5.3-b rasm) u_7 signal *RSQ* bilan bog'liq bo'lgan *H* hisoblagichga keladi. *H* hisoblagichga (5.3), (5.5) ifodalar va asosiy ifoda $\Delta\varphi = \frac{360^\circ \Delta t}{T}$ hisobga olingan holda kirib kelgan impulslar umumiy soni T :

$$N = nm = \frac{\Delta t}{T_0} \frac{K_b T_c}{T} = K_b \frac{\Delta t}{T} = K_b \frac{\Delta\varphi}{360^\circ}. \quad (5.7)$$

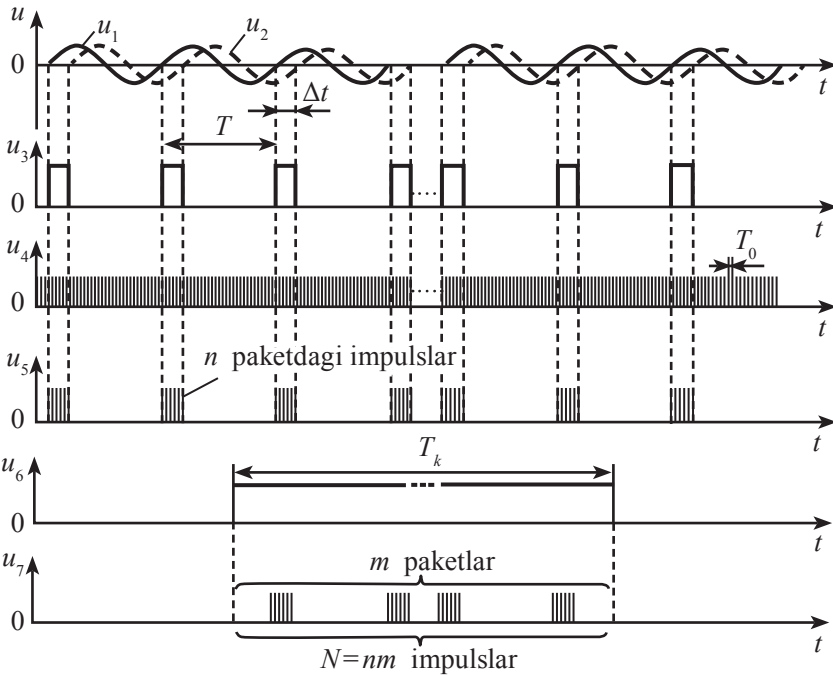
(5.7) ifodadan u_1 va u_2 garmonik kuchlanishlar orasidagi o'lchanayotgan fazalar siljishini topamiz:

$$\Delta\varphi = N \frac{360^\circ}{K_b} = \frac{N}{k}. \quad (5.8)$$

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



a)



b)

5.3-rasm. O'rtacha qiymat fazametri bilan faza siljishini o'lchash: a) sxema; b) sxemalarga epyurlar.

Bunda *RSQ* shkalasida fazalar siljishi gradusda ifodalanadi. Agar *a* qanchalik katta bo'lsa, fazametrning *k* koeffitsiyent bilan aniqlanuvchi o'tkazuvchanlik qobiliyati shuncha yuqori bo'ladi. Fazametrda (5.3-a rasm) *IG* impulslari u_1 va u_2 tadqiq qilinayotgan impulslar o'zaro sinxronlashishga ega emas. Shunga ko'ra, bitta paketdagi impulslarning 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 impulslar sonining bitta impulsga ko'payishi yoki kamayishi teng ehtimollidir.

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

5.4. Mikroprotessorli fazametrlarning ish tamoyili

Fazametrlarning funksional imkoniyatlarini va ularning ishonchlilikining oshirilishi, ularning o'lchash o'zgartkichlari bilan birga ishlaydigan mikroprotessor 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'rta kvadratik chetlanishni hamda yuqorida qarab chiqilgan fazametrlar kabi fazalar siljishining o'rta qiymatini o'lchash imkonini beradi. Mikroprotessorli fazametrning tuzilish sxemasi 5.4-a rasmda keltirilgan. Sinussimon u_1 va u_2 signallarning, ularning T bitta davridagi fazalar farqini o'lchash tamoyilini 5.4-b rasmda ko'rsatilgan vaqt diagrammalari orqali tushunib olish mumkin. Mikroprotessorli raqamli fazametrning IO impulsli o'zgartkich sxemasida u_1 va u_2 signallar, mos holda, u_1 va u_2 qisqa impulsarga o'zgartiriladi. SH_1 shakllantirgich ushbu impulsning 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 VS_1 vaqt selektori ochiladi va u Δt vaqt intervali davomida MPS mikroprotessorli sistema ishlab chiqadigan T_0 davri bilan keluvchi sanoq impulsini H_1 hisoblagich kirishiga o'tkazib yuboradi. H_1 hisoblagichga kirib kelayotgan sanoq im-

pulslarining pachkasi 5.3-rasmda u_4 orqali belgilangan. Paketdagi impulslar soni (5.3) formula orqali aniqlanadi va quyidagiga teng:

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

SH_2 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 VS_2 vaqt selektorini ochadi va ushbu selektor MPS dan H_2 hisoblagichga u_6 impulslar pake-tini o'tkazib yuboradi. Paketdagi impulslar davri T_0 ga teng bo'lib, ular soni

$$N = T / T_0 . \quad (5.9)$$

Tanlangan davr uchun izlanayotgan fazaviy siljish $\Delta\varphi$ ning qiymatini baholash uchun (5.3) va (5.9) ifodalar bilan hisoblanuvchi va

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

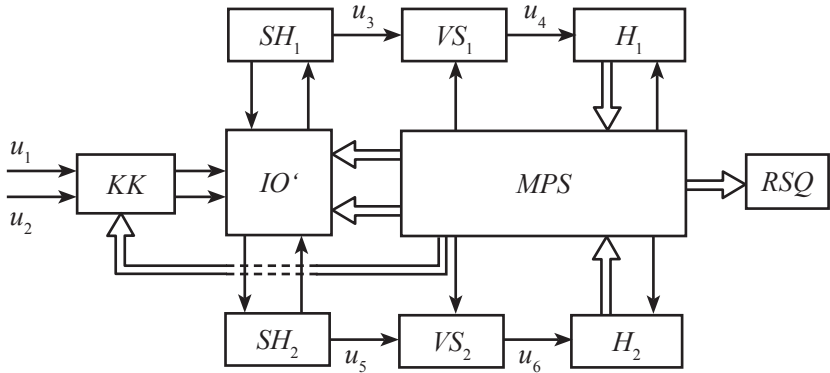
ga teng bo'lgan kattaliklar nisbatini topish talab etiladi. Keyin esa, fazalar siljishini hisoblashning asosiy ifodasini e'tiborga olib, bu qiymatni 360° ga ko'paytirib qo'yish kerak:

$$\Delta\varphi = 360^\circ n / N . \quad (5.10)$$

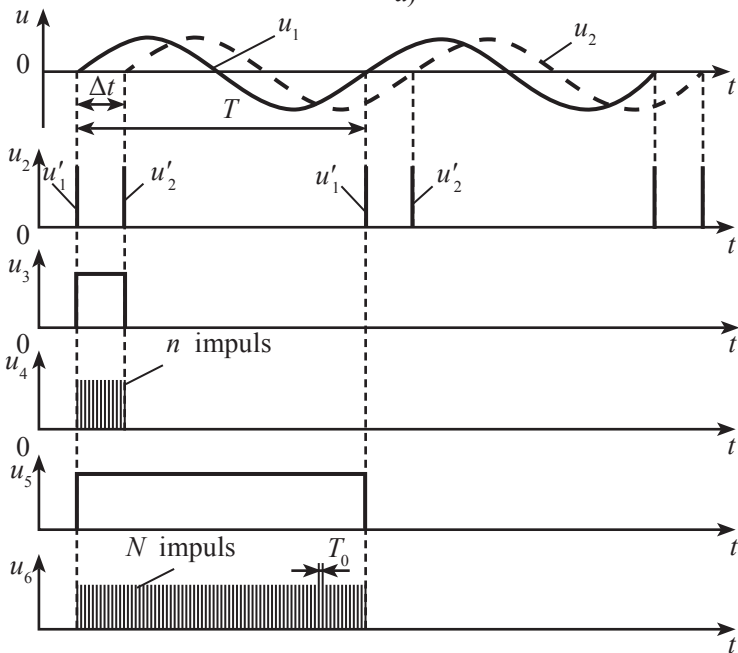
Fazalar siljishini (5.10) ifoda bo'yicha hisoblashni MPS bajaradi, unga H_1 va H_3 hisoblagichlar ishlab beradigan n va N sonlardan olingan kodlar uzatilgan bo'ladi. MPS ning mos dasturiga binoan RSQ raqamli sanoq qurilmasida ixtiyoriy T davr uchun fazalar siljishi $\Delta\varphi$ ning qiymati belgilanadi. Turli davrlardagi siljishlarni taqqoslash hisobiga turli davrlarda $\Delta\varphi$ ning fluktuatsiyasini kuzatish va ularning statistik parametrlarini baholash imkoniyati paydo bo'ladi.

Fazametrning ikkita sinussimon signallar orasidagi $\Delta\varphi$ farqning o'rta qiymatini baholash rejimida (berilgan r sonli T

davrlar uchun) H_1 va H_2 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 MPS ga uzatiladi.



a)

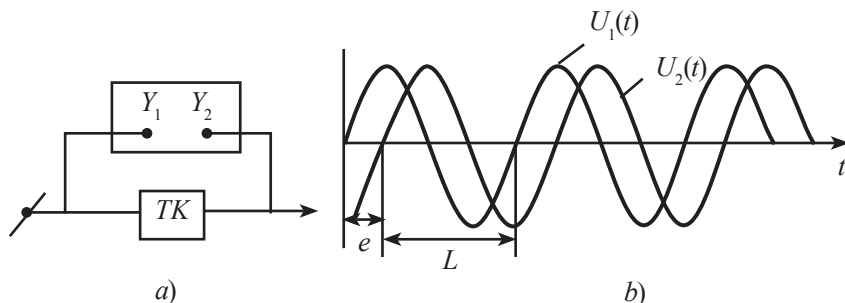


b)

5.4-rasm. Mikroprotessorli raqamli fazametr:
a) tuzilmaviy sxemasi; b) vaqt diagrammalari.

5.5. Ossillografik usullar

Faza siljishlarini o'lchash ikki yoki bir nurli ossillograflarda amalga oshiriladi. Birinchi holatda o'rganilayotgan $I_1(t)$ va $I_2(t)$ kuchlanishlar vertikal Y_1 va Y_2 og'dirish kanallariga beriladi. Yoyuvchi generator gorizontol X og'dirish kanaliga ulanadi (5.5-*a* rasm). Bu holatda ekranda hosil bo'ladigan tasvir 5.5-*b* rasmda ko'rsatilgan.



5.5-rasm. To'rtqutblining faza siljishini ossillograf yordamida o'lchash usuli.

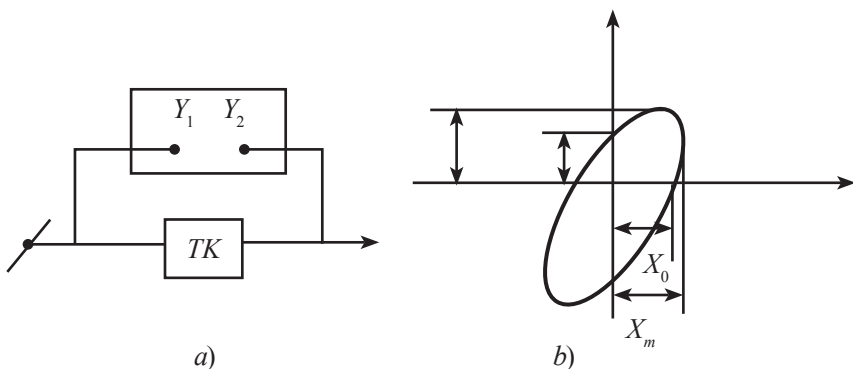
L va l uzunliklar o'lchanib, kuchlanishlar orasidagi faza siljishi quyidagi ifoda bo'yicha hisoblanadi:

$$\varphi = \frac{360^\circ \cdot \ell}{L}. \quad (5.11)$$

Ikkinchi holda o'lchanayotgan $I_1(t)$ va $I_2(t)$ kuchlanishlar ossillografning Y va X kanallariga beriladi. Ossillografning yoyuvchi generatori o'chiriladi (5.6-rasm). X_0 va X_m yoki X_0 va U_m oraliqlari o'lchanadi va kuchlanishlar orasidagi faza siljishi quyidagi ifoda bo'yicha hisoblanadi:

$$\varphi = \pm \arcsin \frac{X_0}{X_m}. \quad (5.12)$$

Bu usul faza siljishini 0 dan 180° gacha bo'lgan oraliqda o'lchash imkonini beradi. Bu usulning xatoligini kamaytirish

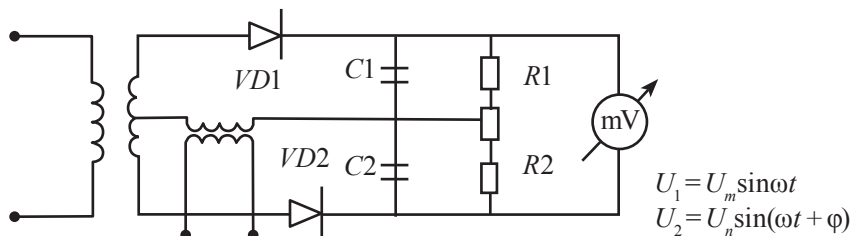


5.6-rasm. To'rtqutblining faza siljishini ossillograf yordamida o'lchashning ikkinchi usuli.

elektron nurini markazlashtirish va fokuslash orqali amalga oshiriladi hamda X_0 va X_m uzunliklarni o'lchashdagi xatolik orqali belgilanadi. O'lchash xatoligi bir xil emas. Kichik faza siljishi o'lchanganda, xatolik 2–3° ni tashkil qiladi. Xatolik faza siljishi 90° ga yaqinlashganida eng katta bo'lib, 10–15° ni tashkil qiladi. Bu holda ekranda doiraga yaqin tasvir hosil bo'ladi ($Y_0 = Y_m$ va $X_0 = X_m$).

5.6. Faza detektori bilan o'lchash usuli

Faza detektorining sxemasi 5.7-rasmda keltirilgan.



5.7-rasm. Faza detektorining sxemasi.

Diod VD_1 ga berilgan kuchlanishni topamiz:

$$\begin{aligned} U_1 + U_2 &= U_m [\sin \omega t + \sin(\omega t + \varphi)] = \\ &= 2U_m \cos\left(-\frac{\varphi}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right). \end{aligned} \quad (5.13)$$

Diod VD_2 ga berilgan kuchlanishni topamiz:

$$\begin{aligned} U_1 - U_2 &= U_m [\sin \omega t - \sin(\omega t + \varphi)] = \\ &= 2U_m \sin\left(-\frac{\varphi}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right). \end{aligned} \quad (5.14)$$

Qarshiliklar va sig'implar R_1 va C_1 , R_2 va C_2 larning ko'paytmalari o'zaro teng va tebranish davridan katta, ya'ni $R_1 C_1 k R_2 C_2 \gg T$ bo'lishi zarur.

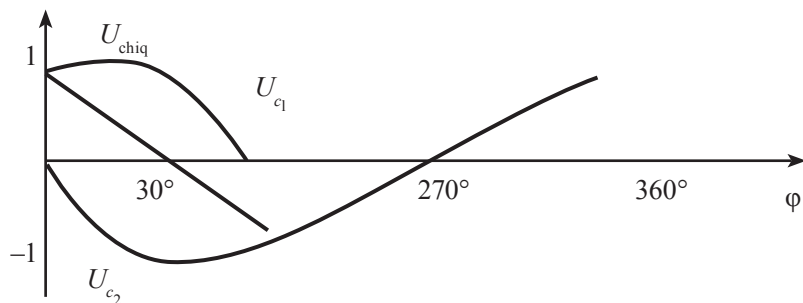
Kondensator qoplamalari orasidagi kuchlanishni topamiz:

$$\begin{aligned} U_{c_1} &= 2U_m |\cos(-\varphi/2)|, \\ U_{c_2} &= 2U_m |\sin(-\varphi/2)|. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Millivoltmetrdagi kuchlanishni topamiz:

$$U_{mv} = 2U_m |\cos\varphi/2| - |\sin\varphi/2|. \quad (5.16)$$

Faza detektorining statik xarakteristikasi 5.8-rasmda ko'rsatilgan.



5.8-rasm. Faza detektorining statik tavsifi.

Faza detektorining ishlash prinsipi T -simon sxemada (R_1, R_2, R_3) ikki garmonik $I_1(t)$ va $I_2(t)$ kuchlanishlarni 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 detektorning 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.

5.7. Faza siljishini vaqt intervaliga o‘zgartirish usuli

$$\begin{aligned} U_{c_1} &= U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1), \\ U_{c_2} &= U_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2). \end{aligned} \quad (5.17)$$

Bu ikki garmonik signal cheklovchi kuchaytirgichdan, multivibrator va differensial zinjirdan o‘tkaziladi hamda bir qutbli va o‘tkir qirrali impulslarga o‘zgartiriladi. Bu impulslar kuchlanishining manfiydan musbatga nol orqali o‘tishi paytida paydo bo‘ladi.

Kuchlanishlar orasidagi faza siljishini quyidagi ifoda bo‘yicha topish mumkin:

$$\varphi = \omega \Delta t = \frac{2\pi \Delta t}{T} \quad \text{yoki} \quad \varphi = \frac{360^\circ \Delta t}{T}. \quad (5.18)$$

I_1 va I_2 kuchlanishlarning amplitudasi teng bo‘lishi lozim. Bu usul faza siljishini 0° dan 360° gacha o‘lchash imkonini beradi va har xil turdagi fazometrlarda keng qo‘llaniladi. Ishlash diapazonining yuqori chegarasi 100–200 kHz dan ortmaydi. Bu chegaralardan chiqib ketilsa, o‘lchash xatoligi ortib ketadi, chunki impulslar orasidagi interval Δt ni aniqlash mumkin bo‘lmay qoladi.

Telemetriya va aloqa qurilmalarida fazaviy modulatsiya va manipulyatsiya keng qo'llaniladi, ulardagi faza siljishini o'lchash, sozlash jarayonida asosiy hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Fazalar siljishini o'lchovchi vositalar quyidagi turlarga bo'linadi.

F1 – bu o'lchash qurilmalari va asboblari bo'lib, fazalar siljishini o'lchovchi vositalarni tekshirish uchun ishlatiladi;

F2 – fazalar farqini o'lchovchi asboblar – fazametrlar;

F5 – impulsli fazalar farqini o'lchovchi asboblar;

F4 – kechikishning guruhiy vaqtini o'lchovchi asboblar.

Ikki fazali o'lchov generatorlari (faza kalibratorlari), faza aylantirgichlar va fazametrlar namuna o'lchash vositalaridir. Elektron fazametrlarning asosiy tavsifi quyidagilardir:

– chastota diapazoni – $1-18 \cdot 10^9$ Hz;

– o'lchash diapazoni – $0-360^\circ$ gacha;

– o'lchash xatoligi $0,03-5^\circ$ gacha.

Faza siljishini o'lchash uchun amalda, asosan, ossillografik va faza siljishini vaqt intervaliga aylantirish usullari qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. Garmonik tebranishlar deb nimaga aytiladi?
2. Faza tushunchasiga ta'rif bering.
3. Fazalar orasidagi farq deganda nimani tushunasiz?
4. Fazalar siljishini o'lchashning ossillografik usuli qanday amalga oshiriladi?
5. Fazalar farqini faza detektori yordamida o'lchash usulini tushuntirib bering.
6. Faza detektorining ish tamoyilini tushuntiring.
7. Faza siljishini vaqt intervaliga o'zgartirish usulini ta'riflang.
8. Fazalar siljishini o'lchovchi vositalarning tasnifini keltiring.
9. Raqamli fazametrlarning qo'llanilishi.
10. Diskret-hisob usulining tafsiloti.
11. Diskret-hisob usuli asosida qurilgan raqamli fazametrning ish tamoyilini izohlab bering.
12. Mikroprotessorli fazametrlar qanday ish tamoyiliga ega?

6-BOB.
RADIOTEXNIK ZANJIRLAR TAVSIFI
VA ULARNING PARAMETRLARINI
O'LGHASH

6.1. Umumiy ma'lumotlar

Radiotexnik zanjirlar ikkiqutbli, to'rtqutbli va ko'p qutblilar bilan ulash mumkin bo'lgan elementlardan tashkil topgan.

Ikkiqutbli (alohida element yoki murakkab elektr zanjiridan iborat) qutbning 2 ta chiqishiga ega, to'rtqutblining 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 biror ideal parametrlar bilan xarakterlanuvchi R qarshilik, L induktivlik, S sig'imning ba'zi ideal parametrlari bilan xarakterlanuvchi chiziqli passiv qutbli sifatida qarash mumkin.

O'lchashlarda elementning ideal ko'rinishiga mos keluvchi u yoki bu parametrning qiymatini aniqlashning imkoni yo'q.

Aktiv qarshilik rezistorning asosiy parametrlaridan biri hisoblanadi, uning yana induktivlik, induktivlik g'altagi, aktiv quvvat va parazit sig'im kabi parametrlari mavjud.

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

Komponentlarning samarali parametrlarini o‘lchash natijalarining salbiy oqibatlaridan saqlanib, ishchi chastotalarda o‘lchash 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.

6.2. Aktiv qarshilikni o‘lchash usullari

6.2.1. Volt-ampermetr usuli bilan qarshilikni o‘lchash

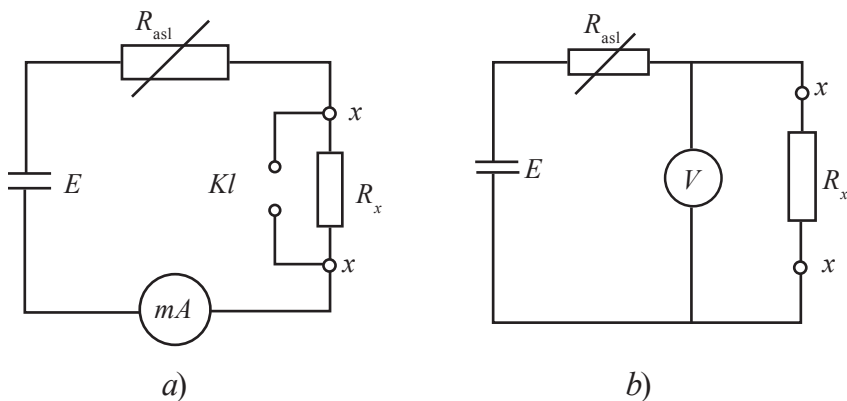
Volt-ampermetr o‘lchash usulida zanjirdagi ikki qutblining o‘lchanayotgan tok kuchi va kuchlanishi keyinchalik uning parametrlarini Om qonuniga asosan hisoblashga olib keladi.

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

6.1-rasmda aktiv qarshilikni o‘lchash usulining chizmasi berilgan.

Aktiv qarshilikni o‘lchash doimiy tokda olib boriladi, bunda o‘lchanayotgan zanjirga R_2 ta sxema bo‘yicha kiritiladi.

6.1-rasmda milliampermetri ko‘rsatishining og‘ishi tokka proporsional.



6.1-rasm. Qarshilikni o‘lchash usuli.

$$I = \frac{E}{R_{asl} + R_x}. \quad (6.1)$$

Bu sxema asosida juda katta qarshiliklarni o'lchash mumkin (10–200 mΩ).

O'lchashdan oldin K kalit orqali qisqichlar tutashtiriladi hamda R_{asl} o'zgaruvchan rezistor orqali tok shunday holatga keltiriladiki, bunda ko'rsatgich butun shkala bo'ylab og'ishi kerak, bunda 0Ω nuqtaga mos kelsin.

Kichik qarshiliklarni o'lchash uchun ($0,1 \dots 100 \Omega$) gacha voltmetrli sxemadan foydalaniladi.

(6.1-*b* rasm) uning ko'rsatishi quyidagiga teng:

$$U = E \frac{R_x}{R_{asl} + R_x}. \quad (6.2)$$

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

Bu aktiv qarshiliklarni o'lchovchi sxemaning ichki qarshiligiga 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 ($R_a - 0, R_x - 0$) (6.1-*a* rasm).

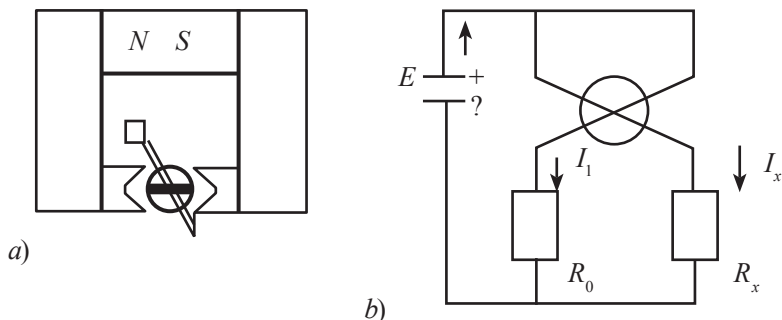
6.1-*b* rasmda voltmetrning R qarshiligi qanchalik katta bo'lsa, xatolik shuncha kam bo'ladi ($R_v - 0, R_x - 0$). Demak, 6.1-*a* rasmdagi sxemadan katta qarshiliklarni o'lchashda foydalaniladi. 6.1-*b* rasmdagi sxemadan kichik qarshiliklarni o'lchashda foydalaniladi.

Volt-Amper usuli bilan zanjir elementlari parametrlarini o'lchashda kichik chastotalarda o'lchash xatoligi 0,5%–10% gacha. Foydalanilayotgan qurilmalarning xatoligi va parametrlari parazitlarining ko'pligi bilan aniqlanadi.

Chastota ortishi bilan xatolik ham ortadi.

6.2.2. Aktiv qarshilikni logometr orqali o'lchash

Qarshilikning o'lchash aniqligiga erishish uchun E ta'minot manbayini logometr yordamida kamaytirish mumkin. Logometr, ya'ni logo o'lchagichlar magnitoelektrli va elektrodinamikli bo'ladi.



6.2-rasm. Logoo'lchagich: a) qurilma; b) yoqish sxemasi.

O'lchamlarda keng tarqalgan logoo'lchagichlar magnitoelektrli sistemalaridir. Logoo'lchagich ikkita qattiq qisilgan ramkadan iborat, ular o'zgaruvchan maydonda joylashtirilgan. Ushbu maydon qutblarning maxsus konfiguratsiyasi orqali yuzaga keladi. O'zgaruvchan maydon shuning uchun yuzaga keltiriladiki, ramkada joylashtirilgan aylanayotgan momentlar faqatgina tokka bog'liq bo'libgina qolmay, balki ramkalarining maydonda joylashishiga ham bog'liq bo'ladi.

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

bu yerda: 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:

$$\alpha = F(I_1/I_x). \quad (6.3)$$

Yoqish sxemasi uchun (6.2-*b* rasm)

$$I_1 = E/(R_r + R_0) \quad I_x = E/(R_r + R_x) \quad \alpha = F[(R_r + R_x)/(R_r + R_0)]; \quad (6.4)$$

bu yerda: R_r – ramka qarshiligi;

R_0 – namunaviy qarshilik.

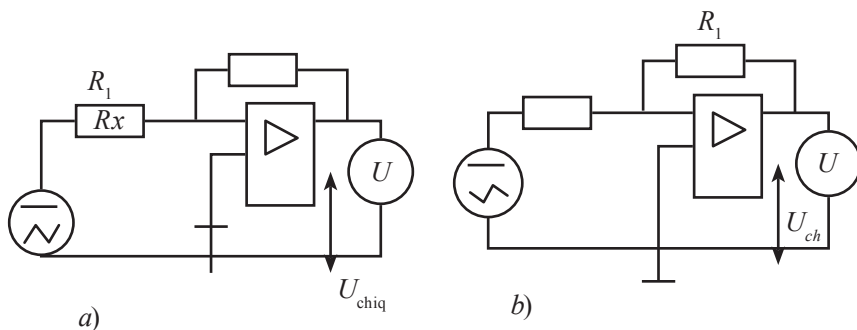
Demak, 6.4-formulaga asosan logoo‘lchagich ko‘rsatgichi tebranish kuchlanish manbayiga bog‘liq emas. Qarshilik R_x bog‘liq bo‘lgan ko‘rsatgichlar 0,5% chetlanishdan oshmaydigan laborator logoo‘lchagichlarni yaratishga imkon beradi.

6.2.3. Ommetrlar orqali qarshilikni o‘lchash

Ommetr o‘lchaydigan qurilma qarshilikni o‘lchash uchun mo‘ljallangan. Analogli elektron ommetrni invers kuchaytirgich *OU* asosida sxemasi yig‘iladi. Ommetr chiqishidagi kuchaytirilgan kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{\text{chiq}} = UR_x/R_1. \quad (6.5)$$

Chiqish kuchlanishi R_x qarshilik bilan chiziqli bog‘langanligi uchun qurilmaning shkalasi qarshilik birliklariga ega bo‘lishi mumkin. Keng chegaralarda shkala bir tekisdir. Elektron ommetr qarshiligi 2...4%. Alohida katta qarshilikni o‘lchashga mo‘ljallangan qurilmalarni, ya‘ni R_x va R_1 ni joylar bilan almashtirish kerak, bunda o‘lchanayotgan qurilma shkalasi



6.3-rasm. Ommetrning qarshiligini o‘lchash sxemasi:

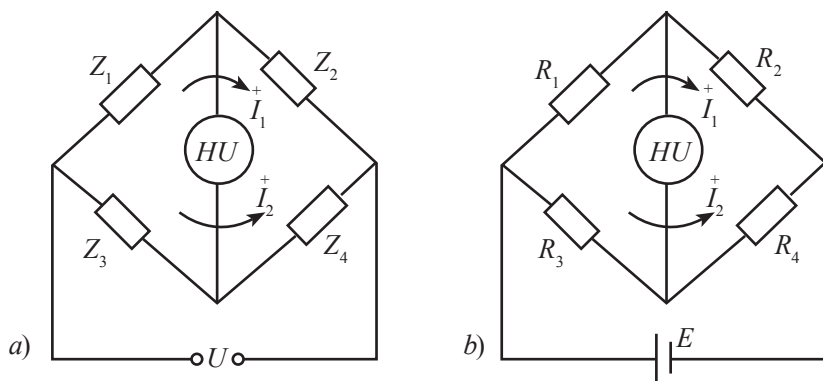
a) kichik; b) katta.

teskari bo'ladi va kuchlanish $U_{\text{chiq}} = -UR_x/R_1$ ga teng bo'ladi. Bitta qurilmada ikki xil variantdagi sxemani qo'llanilish birligi Ω dan bir necha o'nlab $M\Omega$ largachaning xatoligi 10% bo'lib, tashkil qiladigan o'lchamlar yaratish imkonini beradi. Qarshilik o'lchagichlarni, ya'ni keltirilgan sxemalar asosidagilar o'zgaruvchan toklar holida ham qarshilikni o'lchash imkonini beradi.

6.3. Element parametrlari o'lchagichlarining ko'priksimon sxemasi

Parametrlarni o'lchash uchun ko'priklarni tenglashtirish usuli qo'llaniladi. O'lchash kattaliklarini tenglashtirishni ko'priklarni yordamida o'lchash jarayoni avtomatik yoki to'g'ridan to'g'ri, doimiy yoki o'zgaruvchan toklarda amalga oshiriladi. Ko'priksimon sxemalar yuqori sezgirlikka, yuqori aniqlikka hamda keng diapazonga egadir, ya'ni o'lchanayotgan element parametrlarida R , L , C elementlarining ko'priksimon o'lchash sxemasining bir necha xillari mavjud: to'rt yelkali, teng og'irlikli, teng og'irlikli bo'lmagan 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.



6.4-rasm. To'rt yelkali ko'priksimon sxemalar:
a) umumiy; b) aktiv qarshiliklarni o'lchash uchun.

Umumiy holda to'rt yelkali ko'prik kompleks xarakterga ega:

$$\begin{aligned}Z_1 &= Z_1 e^{j\varphi_1}; \\Z_2 &= Z_2 e^{j\varphi_2}; \\Z_3 &= Z_3 e^{j\varphi_3}; \\Z_4 &= Z_4 e^{j\varphi_4}.\end{aligned}\tag{6.6}$$

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 og'irlik shartlari quyidagi tengliklar orqali aniqlanadi:

$$Z_1 Z_2 = Z_3 Z_4,\tag{6.7}$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha_3 + \alpha_4.\tag{6.8}$$

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

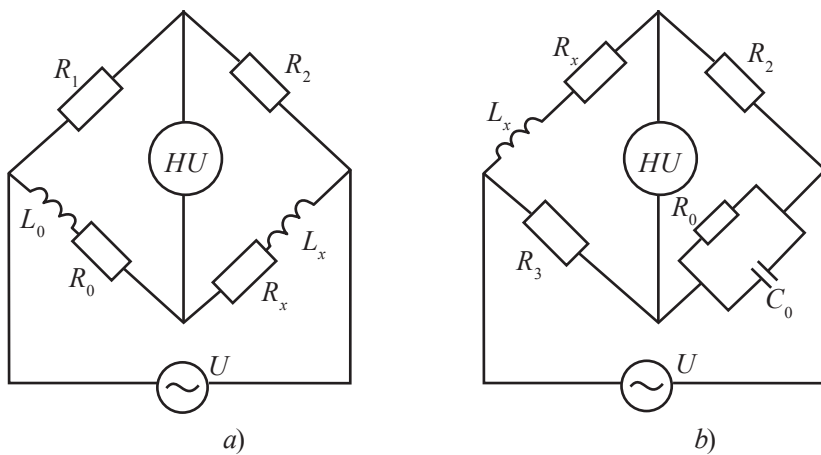
6.4. Doimiy tokdagi element parametrlarini o'lchash

To'rt yelkali teng og'irlikli doimiy tok ko'prigi aktiv qarshilikni o'lchash 6.4-b rasmda keltirilgan. Ko'prik diagonaliga aktiv qarshilikni o'lchash vaqtida tok nolga teng deb olinadi. (6.7) ga binoan, ko'prik teng og'irligi $R_x \cdot R_2 = R_3 \cdot R_4$ shart orqali bajarilishi kerak, bu yerdan noma'lum qarshilik $R_x = R_2 \cdot R_3 / R_4$. Ko'prikning teng og'irligiga erishish uchun aktiv qarshilikning bitta boshqariladigan parametriga ega bo'lsa yetarli (6.4-rasm). Bu ko'priklar uchun o'lchanayotgan qarshilik chegarasi 10^{-2} dan 10^7 Ω gacha bo'ladi. O'lchash xatoligi juda kichik foizdan bir necha foizgacha bo'ladi, o'lchash diapazoniga bog'liq holda. 6.4-b rasmda 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 navbatma-navbat o'lchanayotgan tok yelkasiga teng og'irlik hosil bo'lguncha ulanadi.

O'zgaruvchan tok ko'prigi orqali induktivlik, sig'im, asllik va burchak tangensi o'lchanadi.

To'rt yelkali ko'prikning o'zgaruvchan tokda induktivlik va asllikni o'lchashi 6.5-rasmda ko'rsatilgan.



6.5-rasm. Induktivlikni o'lchash ko'prik sxemalari:

a) g'altakli; b) sig'imli.

Ularda garmonik tok manbayi U kuchlanish va burchak chastotasi ω da qo'llaniladi. Bu to'rt yelkali ko'priklar yaxshi teng og'irlikni ta'minlaydi. Ekvivalent sxemalar ketma-ket va parallel bo'lishi mumkin.

6.5-rasmda ko'rsatilgan sxemadagi ko'priksimon tenglikni ta'minlash sharti:

$$R_1(R_x + j\omega L_x) = R_2(R_0 + j\omega L_0). \quad (6.9)$$

Bu yerda: R_x va L_x – yo'qotishning qarshilik va induktivligi;

R_0 va L_0 – namunaviy qarshilik va induktivlik.

(6.9) orqali
$$R_x = R_2 \cdot R_0 / R_1; \quad (6.10)$$

$$L_x = L_0 \cdot R_2 / R_1. \quad (6.11)$$

Bu sxema uchun quyidagi tenglik to'g'ri bo'ladi:

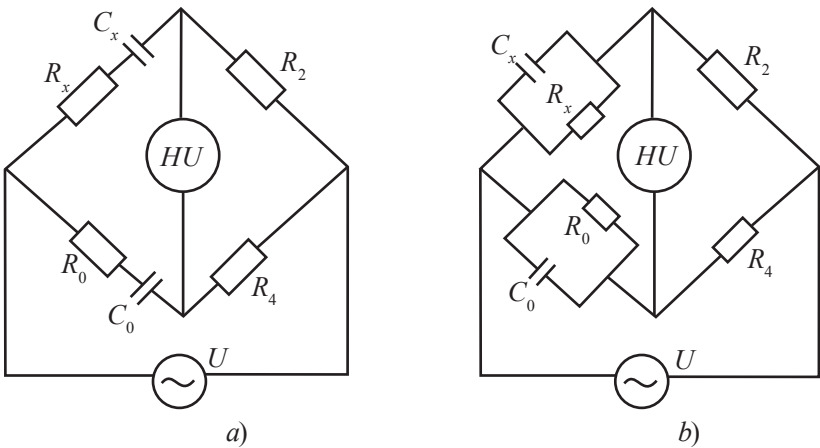
$$R_x + j\omega L_x = R_2 \cdot R_3 (1/R_0 + j\omega C_0). \quad (6.12)$$

Ba'zi bir o'zgartirishlardan so'ng induktivlik g'altagining parametri

$$R_x = R_2 \cdot R_3 / R_0; L_x = C_0 \cdot R_2 \cdot R_3. \quad (6.13)$$

G'altak asilligi: $Q = \omega L_x / R_x = R_0 \cdot \omega \cdot C_0$.

Sig'im va tangens burchagini ko'priksimon sxema orqali o'lchash 6.6-a rasmda ko'rsatilgan, kichik yo'qotishlar 6.6-b rasmda ko'rsatilgan.



6.6-rasm. Sig'im va tangens burchagini o'lchashning ko'priksimon sxemasi: a) katta; b) kichik.

Teng og'irlik sharti sxemasi 6.6-a rasmda ko'rsatilgan.

$$R_4 [R_x + 1/(j \cdot \omega \cdot C_x)] = R_2 [R_0 + 1/(j \cdot \omega \cdot C_0)]. \quad (6.14)$$

Formulaga o'zgartirish kiritganimizdan so'ng, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$C_x = C_0 \cdot R_4 / R_2 ; R_x = R_2 \cdot R_0 / R_4. \quad (6.15)$$

Yo‘qotishlar burchagi tangensi;

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega \cdot C_x \cdot R_x = \omega \cdot C_0 \cdot R_0. \quad (6.16)$$

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

$$R_4 \cdot R_x \cdot (1 + j \cdot \omega \cdot C_0 \cdot R_0) = R_2 \cdot R_0 \cdot (1 + j \cdot \omega \cdot C_x \cdot R_x). \quad (6.17)$$

Bu yerdan

$$C_x = C_0 \cdot R_4 / R_2 ; R_x = R_2 \cdot R_0 / R_4. \quad (6.18)$$

Parallel sxemada burchak tangensi

$$\operatorname{tg} \delta_x = 1 / (\omega \cdot R_x \cdot C_x) = 1 / (\omega \cdot R_0 \cdot C_0). \quad (6.19)$$

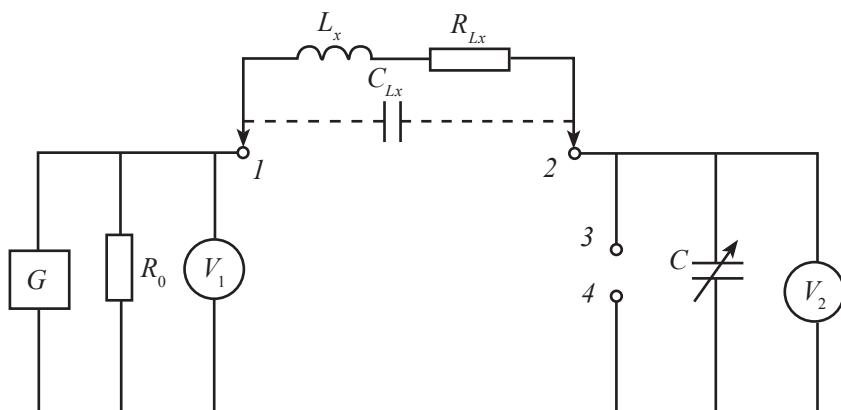
Sxemaning teng og‘irligini navbatma-navbat qarashlik yoki sig‘imning o‘zgaruvchan namunalarini tanlab beradi. Bu jarayon qadam deb yuritiladi. Yaxshi kelishuvli ko‘prik 5 qadamdan oshmaydi. O‘zgaruvchan tok ko‘priklari kichik chastotalarda (500...5000 Hz) ishlatiladi, negaki yuqori chastotalarda xatolik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

6.5. Element parametrlarining rezonansli o‘lchagichlari

Rezonansli o‘lchash metodi tebranish konturining rezonans chastotasi va uning element L va C parametrlariga asoslangan. Ular quyidagi formula orqali bog‘langan:

$$f = 1 / 2\pi \sqrt{LC} .$$

O'lchashning rezonansli metodi yuqori chastotalarda induktivlik va sig'imni o'lchashda juda qulay. Rezonansli sxemalar bilan almashinish metodi orqali o'lchashlar olib borish qulay. Bunda bitta effekt ikki marta takrorlanadi: birlamchi martasida – o'lchanayotgan element orqali, ikkinchi martasida – tabiiy fizik usuli orqali. Rezonansli sxemalar kichik qarshiliklar, sig'im, burchak tangensida kondensatorni yo'qotishlarni aniq o'lchashda qulay. O'lchashlar yuqori chastotalarda olib borilayotgani uchun rezonans sxemalari radioelement parametrlarini o'lchashda qo'llash maqsadga muvofiq. Rezonansli usul orqali zanjir parametrlarini universal qurilma kumetr orqali o'lchashdir, unda asosiy o'lchanayotgan zanjir bo'lib, ketma-ket rezonansli kontur xizmat qiladi. Kumetrning umumiy funksional sxemasi 6.7-rasmda keltirilgan. Ketma-ket rezonansli konturga sinusoidal signallarni yuboruvchi manba tok generatori G hisoblanadi, ya'ni kichik aktiv qarshilikka yuklangan $R_0 = 0,05\Omega$. Generatorning chiqishidagi tebranish chastotasi kichik chastotalarda o'zgarishi mumkin. Kirish signalining darajasini doimiy ushlab kerak.



6.7-rasm. Kumetrning umumiy funksional sxemasi.

L_x ni o'lchashda ko'rilayotgan g'altakning 1, 2-qisqichlariga ulanadi. Bu g'altak, ya'ni o'lchanayotgan induktivlik L_x aktiv qarshilik R_x va sig'im C_{L_x} shuningdek, C_e etalon kondensatoriga bog'liqdir. Konturdagi rezonans C_e etalon kondensatoriga bog'liqdir. Konturdagi rezonans C_e etalon kondensatorining o'zgarishini boshqaradi. L_x induktivlik C_{L_x} sig'im orqali ikki xil rezonans chastotalarda o'lchanadi, ya'ni:

$$fr_1 = 1/(2\pi \sqrt{L_x \cdot (C_{e1} + C_{L_x})}); fr_2 = 1/(2\pi \sqrt{L_x \cdot (C_{e2} + C_{L_x})}). \quad (6.20)$$

bu yerda: C_{e1} va C_{e2} – etalon sig'im fr_1 va fr_2 chastotalarda.

6.6. Amplituda chastota xarakteristikasi o'lchagichi

Telekommunikatsiya sistemalarida, odatda, chiziqli to'rt qutblagichdan foydalaniladi (chiziqli zanjirlar), uning eng asosiy xarakteristikalaridan biri, uzatishning chastota xarakteristikasidir (uzatish koeffitsiyenti). Zanjirni uzatish koeffitsiyenti amplituda kompleks kuchlanishi, ya'ni $U_{chiq}(j\omega) = U_{chiq}$, kirish $U_{kir}(j\omega) = U_{kir}$, bu o'zaro aloqadorlik katta chastotaning ω garmonik kuchlanganligi orqali amalga oshiriladi.

$$K(j\omega) = K(\omega) = U_{chiq}/U_{kir} = K(\omega) \cdot e^{j\alpha(\omega)}.$$

Eslatma: koeffitsiyent moduli $|K(\omega)| = K(\omega)$ ACHX deb nomlanadi, $\alpha(\omega)$ argument esa to'rtqutbli faza chastota xarakteristikasi deyiladi (FCHX).

Ayrim chastota polosalarida chiziqli to'rt qutblagichga kirishga ta'siri natijasida u kamaya boshlaydi. Buning natijasida «otkazuvchanlik polosasi» tushunchasidan foydalaniladi (ishchi polosa), bunda uzatish modul koeffitsiyenti $K(\omega)$ o'zining maksimal qiymati $1/\sqrt{2}$ ga erishadi.

Chiziqli to'rt qutblagichni o'tkazish polosasi muhitning pastdan ω_p to ω_v chastotalariga ega bo'ladi, shuning hisobiga uning

qalinligi $\Delta\omega = \omega_y - \omega_p$ ga teng bo'ladi. Amaliy hisobda aylana chastota ω emas, siklik chastota f dan foydalaniladi. Shuning uchun chiziqli to'rt qutblagichni o'tkazish polosasi:

$\Delta f = f_y - f_p$; bunda f_y – yuqori va f_p – past chegaraviy siklik chastota.

ACHX aniqlanishi uchun mo'ljallangan qurilma zanjirining chiqishidagi kuchlanish egri chiziqli aniqlashga mo'ljallangan bo'lib, uning sinusoidal chastota kuchlanganligining kirishdagi doimiy amplitudasiga bog'liqdir.

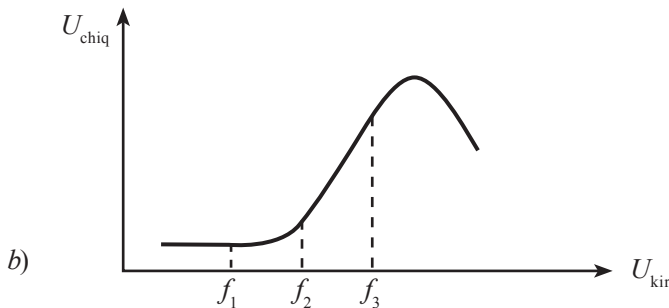
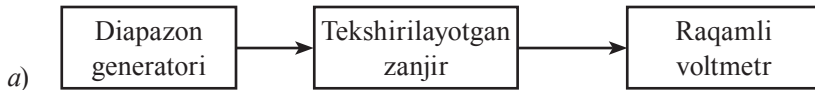
FCHXni aniqlash davomida shuni topish mumkinki, chastota fazalar o'zgarishiga bog'liqligi amaliyot o'tkazilayotgan qurilmaning kirish va chiqish sinusoidal kuchlanishi paydo bo'ladi.

ACHXni chiziqli zanjirda o'lchashga mo'ljallangan o'lchash asboblari ACHXni o'lchovchi qurilma deyiladi. Ular, odatda, sozlashda va radioappaturalarni nazorat qilishda qo'llaniladi, shuningdek, ularni kuchaytirgich va radio qabul qilgichlarda qo'llash mumkin.

ACHX o'lchagichining struktura sxemasi 6.8-a rasmda keltirilgan. Garmonik tebranishning generator diapazoni u aniqlashi kerak bo'lgan dinamik diapazon chastotalariga mos qilib sozlanadi. ACHXlarni raqamli voltmotr yordamida olish juda oson, undagi nuqtalar ketma-ket sozlangan generator chastotalari f_1, f_2, f_3 bo'ladi. Olingan natijalar asosida ACHX chiziladi. Bu usul o'ziga yarasha qiyin. Bundan tashqari, unda ACHX nuqtalar oralig'ida o'zgarishlar tushib qolishi mumkin. Usulning kamchiligi radiotexnik sxemalar sozlanganda ko'zga tashlanadi va undagi sxemalarning har bir elementidagi o'zgarishni aniqlash uchun uni qayta-qayta takrorlash lozim (ACHX topilganda).

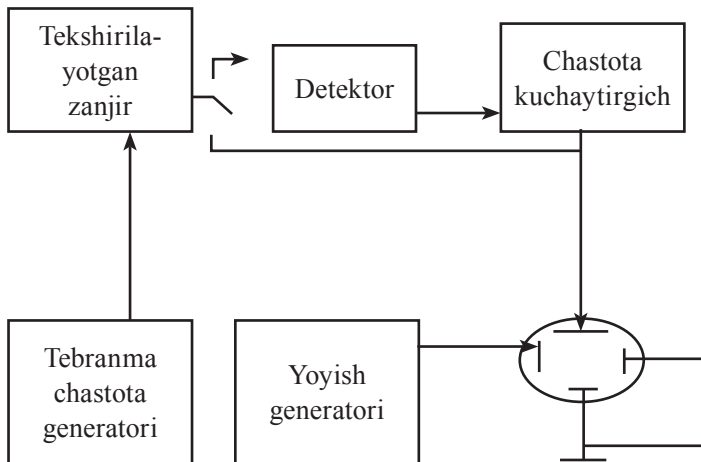
ACHXni panoram o'lchash yuqori qo'llanishga ega bo'lib, u elektron yoki zamonaviy displeyga ega hamda chastota tebranish generatori va boshqarish yoki sozlanish raqamli sxemalari asosida

tashkil topgan. Panoram o'lhagichlari geterodin analizator spektriga yaqin. Lekin bu qurilmalar orasidagi farq: analizator spektr signali parametrini aniqlasa, ACHX o'lhagichi zanjir yoki qurilmaning xarakteristikalarini o'lchashga asoslanadi.



6.8-rasm. Nuqtalar bo'yicha ACHX olish:

a) o'lhagichning tuzilish sxemasi; b) ACHXning grafik qurilishi.



6.9-rasm. ACHXni panoram o'lhagichning struktura sxemasi.

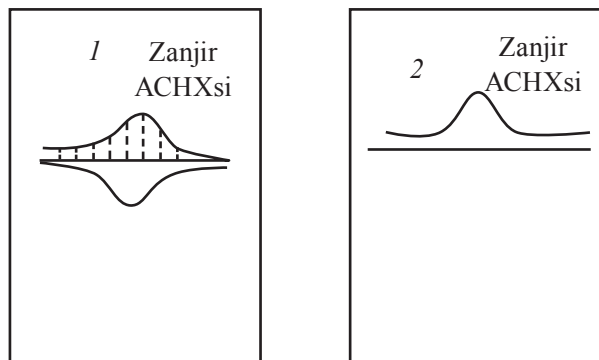
Yuqoridagi sxema ACHX panoram o'lgachigi keltirilgan (6.9-rasm). Qurilmaning asosini TCHG tashkil qiladi, davriy o'zgaruvchan chastotada yuqori chastotali kuchlanishni hosil qiladi. Chastotalar o'zgarish qonuniyati modulatsiyalaniladigan kuchlanish bilan aniqlanadi, unda arrasimon kuchlanish razvyortkasi ishlatiladi.

Chetlanuvchi-qiyamatlovchi kuchlanish zanjirning chiqishida ACHXning shaklini takrorlaydi. Agar kuchlanish vertikal chetlanuvchi plastina ELTga berilsa, unda ekranda ACHXning tasviri paydo bo'ladi.

Indikatorga kuchlanishni zanjirning chiqishidan bersa bo'ladi, bu birinchi rejim, detektordan keyingi va past chastotali kuchaytirgich ikkinchi rejim deyiladi (6.10-rasm).

Ekranda paydo bo'luvchi tasvirlar keltirilgan. Birinchi rejim chiziqli zanjirning chiqishida yuqori amplituda bo'lganda qo'llaniladi. Bunda xatolar bartaraf qilinib, ular detektor xarakteristikasining nochiziqiligi va ACHX kuchaytirgichning past chastota notekisligidan kelib chiqadi.

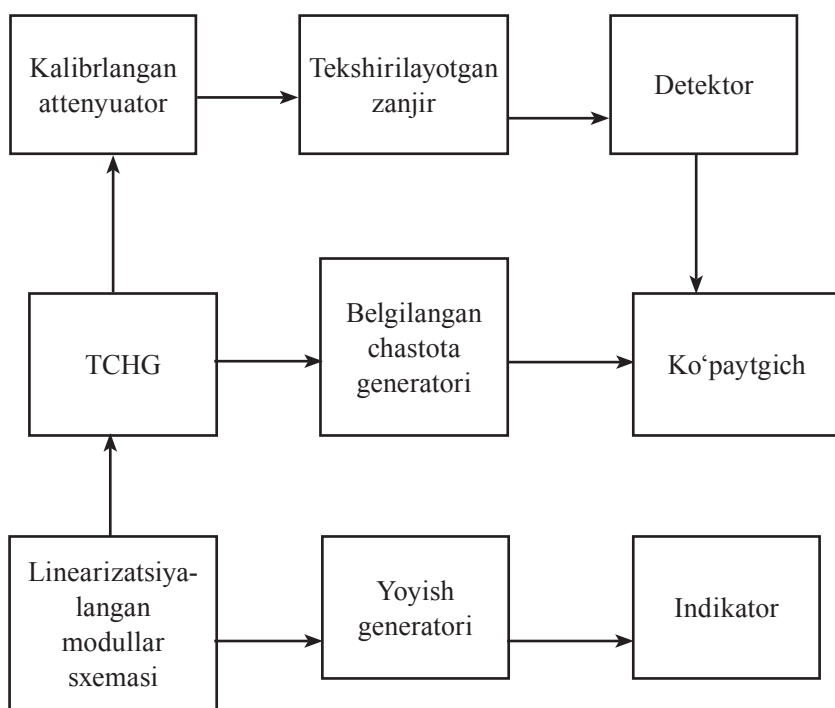
6.10-rasmda nurlarning teskari nurlanishining indikator ekranidagi gorizontall chiziqqa ega bo'lishi ko'rsatilgan. Bunda chastota generatori kuchlanishi bilan razvyortka generatorlarini berkitib qo'yadi.



6.10-rasm. Nurlarning teskari nurlanishining indikator ekranidagi tasviri.

6.11-rasmda keltirilgan ACHXning chiziqli zanjiri elementidan tashqari qo'llaniladigan o'lchagichlar keltirilgan, unda qo'shimcha qurilmalar bor bo'lib, displey ekranida ACHX aniqlikka erishishni ta'minlaydi. Bu qurilmalarning ta'sis etish qiyin, shuning uchun misol qilib struktura sxemasini keltiramiz.

ACHXning ishlash prinsipi bo'yicha elektron nurning og'ishi natijasida displey ekranida gorizontal chiziqlar chastotaga proporsional bo'lishi kerak, ya'ni sxemada razvyortka kuchlanishing qiymati va chastota TCHG orasida bog'liqlik bo'lishi kerak.



6.11-rasm. ACHX panoram o'lchagichning tuzilish sxemasi.

Bu parametrlarning yo'qolishi noxiziq chastota masshtabini keltirib, u ekranda ACHXning ko'rsatishi jarayonida buzilishlarni hosil qiladi.

Shuning uchun bu o'lchash asbobida avtomatik amplituda boshqarish kiritilishi lozim bo'lib, uning chiqishida TCHG kuchlanishni muvozanatlashtiradi.

Kuchlanishni o'zgartirish uchun o'lchanayotgan zanjirda TCHG chiqishida o'zgaruvchan kalibrangan attenuator o'rnatiladi. Chastota o'lchagichi ACHXni aniqlashda generator chastotalar orqali amalga oshiriladi. Buning o'zi TCHGdagi aralash kuchlanish orqali paydo bo'ladi, undagi spektr kalibrangan chastotalarda hosil bo'ladi. Kuchaytirilgan kuchlanish qiymatlari displeyga uzatilib, unda chastota shkalalari asbob ekranida gavidalanadi va hosil bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Jamlangan parametrlil 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.
6. Kumetrlning soddalashtirilgan funksional chizmasi asosida ishlash tamoyillarini aytib bering.
7. Raqamli qurilmalarda parametrlarni o'lchashning qaysi usullari qo'llaniladi?
8. Zanjir liniyalari ACHX tadqiq qilishi qanday amalga oshiriladi?

7-BOB.
SIGNAL SHAKLINING BUZILISHLARI

7.1. Umumiy ma'lumotlar

Bugungi kunda nohiziqli buzilishlarni o'lchash usullarini va o'lchash-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 nohiziqli buzilishlar kam miqdorda bo'lsa ham ularni nohiziqli sistemalar tabaqasiga kiritish mumkin. Kuchaytirgichlar va sinussimon tebranishli generatorlarga qo'yiladigan talablarning ortib borishi, nohiziqli buzilishlarni o'lchash zaruratini oshirmoqda. Kuchaytirgichning aktiv elementlari ko'prok nohiziqli xossalarga ega bo'lsa, ferromagnit o'zakli elementlar kamroq, kondensator va rezistorlar esa juda ham kam bunday xossalarga ega bo'ladi, chizma elementlarining nohiziqiligi kuchaytirgich chiqish kuchlanishining kirish kuchlanishiga bog'liqligi ham nohiziqli 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 nohiziqli buzilishlarni o'lchash va baholashni zaruriy shart qilib qo'yimoqda.

7.2. Nochiziqli buzilishlarni baholash

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 qilishi 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 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 xossalari baholash mumkin.

Ba'zi davriy kuchlanishlarning sinussimon kuchlanish shaklidan farqlanishi (foizlarda) garmonika koeffitsiyenti bilan xarakterlanadi.

$$K_g = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1}. \quad (7.1)$$

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'lchash zarurati bilan

bog'liqdir. Bu maqsadda spektr analizatori yoki selektiv (tanlovchi) voltmترلardan foydalanish mumkin. O'lchashning talab qilingan aniqligini ta'minlash uchun o'lchov generatorini qo'llash kerak. Generator shakllantiradigan tebranishlarning nochi-ziqilik koeffitsiyenti 5% dan ortmasligi kerak. Bu koeffitsiyent me'yorga mos kelmagan holda generator chiqishiga asosiy chastota garmonikalarini yo'qotuvchi filtrlar ulanadi.

Garmonik signalning nochi-ziqi buzilishlarini baholash maxsus asboblarda, ya'ni nochi-ziqi buzilishlar o'lchagichi bilan amalga oshiriladi.

Bu o'lchagichlarda buzilgan signalning asosiy garmonikasini (birinchi garmonika) yo'qotish usuli keng qo'llaniladi. O'lchana-yotgan kattalik garmonika koeffitsiyenti emas, balki unga mazmunan yaqin bo'lgan nochi-ziqi buzilishlar koeffitsiyenti (foizlarda) hisoblanadi:

$$K_{nb} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}} \quad (7.2)$$

Bu koeffitsiyent, ikkinchi garmonikadan boshlab, barcha yuqori garmonikalar ta'sir etuvchi kuchlanishlar yig'indisining signalni jami tashkil etuvchi kuchlanishlarning (birinchi garmonikani ham hisobga olib) nisbatiga teng. Nochi-ziqi buzilishlar koeffitsiyentini o'lchash ancha oddiyroq, chunki bunda alohida tashkil etuvchilarni, xususan, signalning birinchi garmonikasini ajratish zarurati yo'q.

(7.2) ifodadagi munosabatni olish uchun birinchi garmonikani yo'qotish yetarli. Garmonikalar va nochi-ziqi buzilishlar koeffitsiyenti quyidagi ifoda yordamida bog'langan:

$$K_g = \frac{K_{nb}}{\sqrt{1 - K_{nb}^2}} \quad (7.3)$$

Kichik nochiziqli buzilishlarda (10–15%) bu koeffitsiyentlar bir-biridan kam farqlanadi, bunday hollarda $K=K_{nb}$ o‘rinli bo‘ladi.

Telekommunikatsiya uzatish tizimlarining chiziqli va guruhliy traktlardagi nochiziqlikni baholash uchun ikkinchi, uchinchi va h.k. garmonikalar bo‘yicha «nochiziqlikning so‘nishi» tushunchasidan foydalaniladi.

$$a_3 = 20 \lg \frac{U_1}{U_3} = 10 \lg \frac{p_1}{p_3}, \quad (7.4)$$

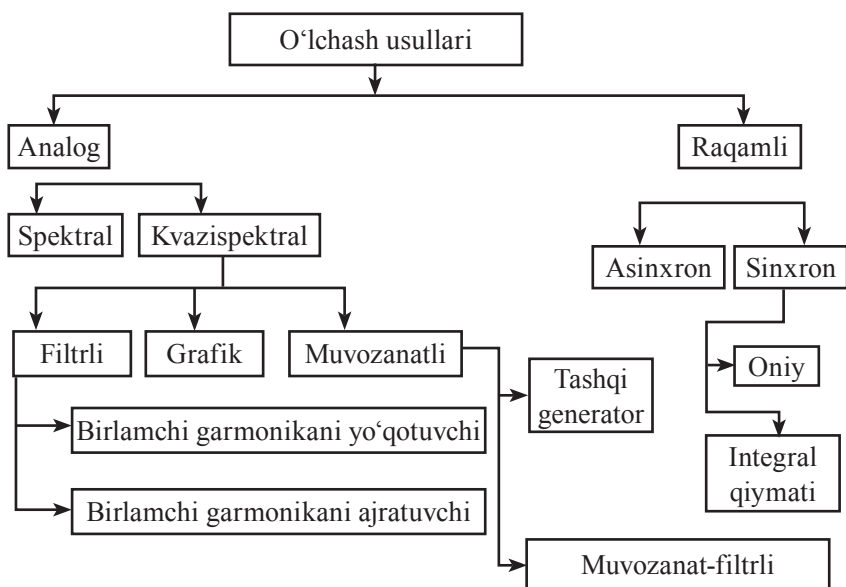
$$a_3 = 20 \lg \frac{U_1}{U_3} = 10 \lg \frac{p_1}{p_3}, \quad (7.5)$$

bu yerda: U_1, U_2 – to‘rtqutblining chiqishidagi mos kuchlanishlarning amplitudasi.

7.3. Signal shaklining buzilishlarini o‘lchash usullari

Nochiziqli buzilishlarni o‘lchash usullari apparaturaviy yechimiga, uslubiy va metrologik xarakteristikalariga ko‘ra ajratiladi. Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o‘lchash usullari axborotni ifodalash va ishlov berish uslubiga qarab ikkita katta guruhga (7.1-rasm) bo‘linadi: analog va raqamli.

Analog asboblarda o‘lchanayotgan signal hisoblash qurilmasidan axborot olingunga 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, ACHXning notekisligi sababli spektral tarkibning o‘zgarishi, kuchaytirish koeffitsiyentining dreyfi va h.k.). Bu o‘lchagichlarning umumiy xatoliklariga ta‘sir ko‘rsatadi.



7.1-rasm. Nochiziqli buzilishlarni o'lchash usullari.

Ba'zi hollarda nochiziqli buzilishlarni baholash o'zaro modulatsiya 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 ko'effitsiyentini hisoblash yo'li bilan erishiladi.

Metrologiya nuqtayi nazaridan qaralganda barcha analog usullar ikkita katta guruhchaga bo'linadi: *spektrli* va *kvazispektral*.

Nochiziqli buzilishlar ko'effitsiyentini o'lchashning spektral usullari selektiv asboblarni qo'llashga asoslangan (spektr analizatorlari, selektiv voltmetrlar va boshqalar). Ular yordamida kirish signali garmonik tashkil etuvchilarning darajasini o'lchash amalga oshiriladi, nochiziqli buzilishlar ko'effitsiyenti esa qo'lda hisoblanadi.

Spektrli usullarning afzalligiga quyidagilar kiradi:

- past darajadagi hamda kuchli xalaqitlar ta'siridagi signal-larning nohiziqli buzilish koeffitsiyentini o'lchash;
- keng chastota diapazonida o'lchash mumkinligi;
- nohiziqli buzilishlar koeffitsiyenti kichik qiymatlarining o'lchanishi (0,01–0,0001%).

Spektrli usullarning kamchiligi:

- o'lchashning qiyinligi va uncha yuqori bo'lmagan o'lchash 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'lchashning 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 nohiziqli buzilish o'lchagichlarining hamma turlari ko'rilgan. Filtr turdagi o'lchagichlarning yaxshi namunalari 600 kHz gacha bo'lgan chastota diapazonida uzluksiz ishlaydi va xatolik 3% dan ortmaydi.

Infraqisqa chastotalarda maxsus apparaturaning murakkabligi sababli grafik usul kam qo'llaniladi. Bu usulda o'lchash qiyin, xatolik esa 10 % dan kam emas.

Nohiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lchashning muvozanatli (kompensatsion) usuli o'lchanayotgan signal birinchi garmonikasini unga qarama-qarshi fazada bo'lgan hamda o'lchanayotgan signaldan nohiziqli 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 filtrlab 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 qo'yadi. Keng chastota va dinamik diapazonlarda yuqori aniqlik va tezkorlikka erishishini talab qilmagan hollarda nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lchashda hamda o'lchash texnikasining boshqa sohalarida o'lchashning raqamli usullari qo'llaniladi.

Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lchashning raqamli usullari o'lchanayotgan signalning «oniy» qiymatini davrning nolinci 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 sinxrona bo'linadi. Asinxron usulda o'lchanayotgan ($U_{o'ich}$) signalning «oniy» qiymati tanlovini amalga oshirish uchun stroblovchi impulslar yordamchi generatoridan foydalaniladi. Bu generatorning chastotasi o'lchanayotgan signal chastotasidan N marta ko'p, lekin unga karrali emas:

$$f_{str} = N(f_{o'ich} \pm \Delta). \quad (7.6)$$

Bu usulning xatoligi $K_f \geq 0,5\%$ bo'lganda $0,1\%$ dan yaxshi emas.

Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini o'lchashning sinxron usulida o'lchanayotgan signal chastotasi va strob chastota orasida barqaror sinxronlash o'rnatiladi:

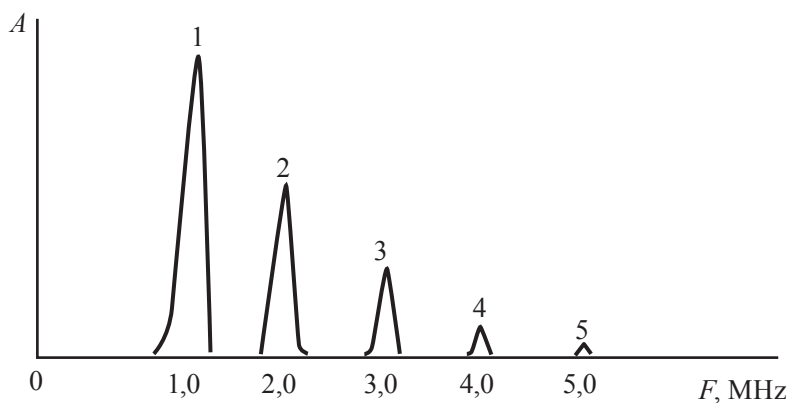
$$f_{str} = Nf_{o'ich}. \quad (7.7)$$

Signalning past boʻlgan darajalarida nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini foizning yuzdan biri boʻlgan ulushlarini oʻlchash qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi. Bu maqsadlarni amalga oshirish uchun past chastota garmonikalarining analizatorlaridan foydalaniladi, ammo garmonika analizatori 10–20000 Hz chastota diapazonida oʻz xususiy nochiziqli buzilishlar darajasiga ega boʻladi, yaʼni bu buzilishlar 1000 Hz gacha 0,1%, 1000 Hz dan yuqori boʻlgan chastotalarda esa 0,05% yoki oʻzining xususiy buzilishlari nochiziqli buzilishlar koeffitsiyentini oʻlchashda taxminan 0,1%, 2000 Hz gacha boʻlgan chastotalarda bu xatolik 10% ni tashkil qiladi.

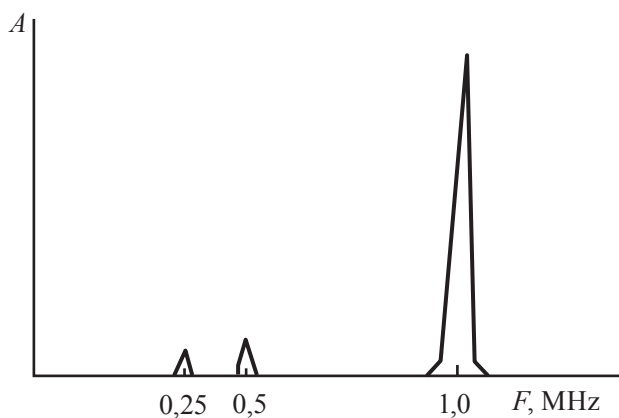
Bundan tashqari, bu asboblarda asosiy chastotadan 60 dB dan koʻproq farqli boʻlgan (birinchi garmonika) garmonik tashkil etuvchilarning amplitudasini oʻlchash imkonini bermaydi. Yuqori garmonikalarni oʻlchash uchun asbob sezgirligini oshirish kerak boʻladi, buni har doim ham amalga oshirib boʻlmaydi.

Mavjud garmonika analizatorlarida qayd etilgan chastotali rejimdan foydalaniladi. Spektral tashkil etuvchilar tahlili rezonans filtrning chastotasi boʻyicha qayta sozlab qilinadi va baʼzan bunday tahlilda qayta sozlovchi supergeterodinli qabul qilgichdan foydalaniladi. Bunda indikator ekranida chastota oʻqi boʻyicha teng turuvchi (amplituda-chastota spektri) signal garmonikasi kuzatiladi. Signalning garmonik tarkibi boʻyicha uning nochiziqli buzilishlari baholanadi (7.2-rasm).

Toʻrtqutblining nochiziqli buzilishlarini boshqa usul bilan ham oʻlchash mumkin, bunda uning kirishiga vaqt boʻyicha monoton oʻzgaruvchi, masalan, chiziqli qonun boʻyicha oʻzgaruvni chastota beriladi. Bu kvazigarmonik signal garmonikasini ajratish uchun sozlanishi chastota boʻyicha qaydlangan filtrdan foydalanish yetarlidir. Signal garmonik tartibining tipik koʻrinishi 7.3-rasmda keltirilgan.



7.2-rasm. Signalning garmonik tarkibi.



7.3-rasm. Kvazigarmonik signal garmonik tarkibining tipik ko'rinishi.

Rasmda garmonikalar teskari tartibda joylashgani ko'rinib turibdi va ular orasidagi chastota bo'yicha bo'lgan masofa bir xil emas, buni, albatta, o'lchash jarayonida e'tiborga olish kerak. Bu usul chastota xarakteristikalari 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 nohiziqliligi;
- uning inertligi;
- ichki shovqinlari;
- signalni uzatishdagi turli xalaqitlar.

Bu omillar turli fizik tabiatga ega bo'lgani bilan ularning ta'siri bir xil, shuning uchun yuqoridagi (chiziqli, nohiziqli shovqin) xalaqitlarini baholashning yagona usullari qidirilmoqda.

Turli buzilishlarni o'lchash usullari o'z yutuq va kamchiliklariga ega. Masalan: arrasimon signaldan foydalanib amalga oshiriladigan usulda ham yuqoridagi usullar uchun umumiy bo'lgan kamchiliklar bor.

O'lchashlarda real signal uning modeli bilan almashtiriladi, bu esa uzatilayotgan signalning xossalari to'liq hisobga olinishini ta'minlamaydi. Nohiziqli buzilishlarni real signal spektrini hisobga olgan holda baholovchi usul bunday kamchilikdan holidir, lekin bu usul o'lchash natijalariga qo'shimcha xatolik kiritadi.

Shovqin buzilishlarini baholovchi usul (signal/shovqin, shovqin koeffitsiyenti va h.k.) statistik usul hisoblanadi, chunki ko'plab shovqinlar fluktuatsion xarakterga ega.

Ma'lum bo'lgan usullardan faqat korrelatsion 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.

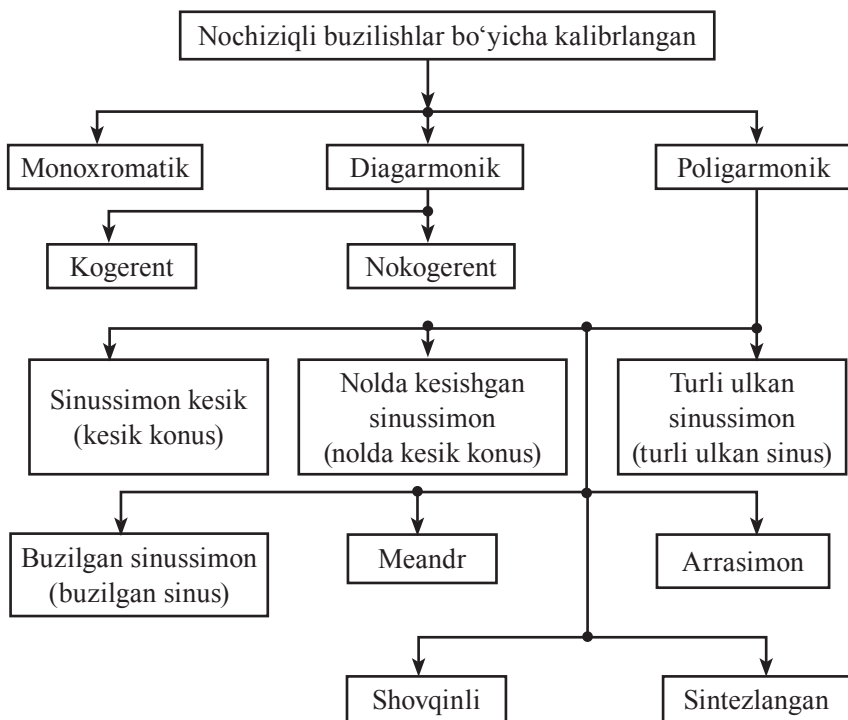
7.4. Signal shaklining buzilishlarini o'lvchovchi vositalarning metrologik ta'minoti

Signal shaklining buzilishi tavsifini o'lvchash vositalarining metrologik ta'minoti nochiziqli-buzilish koeffitsiyenti kalibrangan qiymatli signalni qayta tiklash usuliga asoslanadi. Nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti bo'yicha kalibrangan va hozirgi paytda foydalanilayotgan yoki foydalanish mumkin bo'lgan signal turlari 6.4-rasmda keltirilgan. Sinussimon shakldagi monoxromatik signaldan shovqin va fon darajasining nochiziqli buzilishlarini qaytalash uchun foydalaniladi. Amalda ideal shakldagi sinussimon signal olish mumkin emas.

Digarmonik signallar ikkita monoxromatik ko'rinishdagi signallarni sintez qilish yo'li bilan olinadi, ulardan nochiziqli buzilishlar koeffitsiyenti 0 dan 100% gacha diapazonida kalibrangan signal sifatida foydalanish mumkin, lekin ular yordamida nochiziqli buzilish o'lvchagichlarining chastotali xatoliklarini qiyoslab bo'lmasligi kamchiliklar qatoriga kiradi. Nokogerent digarmonik signaldan raqamli nochiziqli buzilishlar o'lvchagichlarini qiyoslashda foydalanib bo'lmaydi.

Poligarmonik signallarning o'z xossalariga ko'ra real signalga yaqindir. Bu turdagi signallarning ko'pchiligi nochiziqli buzilish o'lvchagichlarini kalibrlashga yaroqlidir, ular meandr yoki arrasimon shaklli kuchlanishga ega bo'ladilar. Ideal holda ikkala signal juft garmonikaga ega emas. Arrasimon va meandr shaklli signallarning tashkil etuvchi amplitudasi sekin pasayadi, shunga ko'ra meandr turdagi signal keng sohali analog nochiziqli buzilish o'lvchagichlarining diskretlash xatoliklarini baholash uchun yaroqlidir.

Poligarmonik signallarning ikkinchi guruhini sinussimon signal fragmentlaridan shakllantirilgan signallar tashkil qiladi. «Kesik sinus», «0» da «kesik sinus» va «turli yirik sinus» signal turlari shular jumlasidandir.



7.4-rasm. Nochiziqli buzilishlar ko'effitsiyenti bo'yicha kalibrlangan signal turlari.

Uchinchi guruhga sinussimon turdagi («buzilgan sinus» va «shovqinli») signallar kiradi.

Ma'lumki, o'lchash vositalarining metrologik parametrlarini aniqlash ishchi o'lchash vositalarini namuna o'lchash asboblari qiyoslash orqali amalga oshiriladi. Shunga ko'ra, qiyoslash chizmalari nochiziqli buzilishlar ko'effitsiyenti birlik o'lchamlarining etalondan ishchi o'lchash vositalariga uzatish tartibini aniqlaydi. Bu chizma etalon-nusxa va xatoligi $1 \cdot 10$ bo'lgan ishchi etalon hamda birinchi va ikkinchi razryadli namuna o'lchash vositalari sifatida digarmonik va poligarmonik signallar manbayi qo'llanib, bu signallar nochiziqli buzilishlar ko'effitsiyenti bo'yicha komparlangan kvazisinusoidal signallar

summatoridir. Ikkinchi razryadli namuna o'lchash vositalari bo'lgan nohiziqli buzilish o'lchagichlari yuqori garmonikalar kuchlanishlari o'rta kvadratik qiymatining birinchi yoki to'liq signalining o'rta kvadratik qiymatiga nisbatini o'lchash prinsipi asosida qurilgan. Chastotaga va nohiziqli buzilishlar koeffitsiyentiga bog'liq holda, birinchi razryad uchun o'lchash xatoligi 0,01% dan 0,05% gacha va ikkinchi razryad uchun esa 0,03% dan 0,05% gacha. Qiyoslash chizmasining barcha bo'g'inlarida bevosita o'lchashlar usulidan foydalaniladi.

Nazorat savollari

1. Signal shaklining buzilishlari haqida umumiy ma'lumot bering.
2. Nohiziqli buzilishlar qanday baholanadi?
3. Nohiziqli buzilishlarning o'lchash usullarini aytib bering.
4. Signal shaklining buzilishlarini o'lchovchi vositalarning metrologik ta'minoti qanday?
5. Nohiziqli buzilish va garmonik koeffitsiyent nimaga teng?
6. Analog va raqamli o'lchash usullari haqida ma'lumot bering.
7. Nohiziqli buzilishlarni baholash qanday asboblarda amalga oshiriladi?

8-BOB.
ELEKTR SIGNALLARNING CHASTOTASI
TO‘G‘RISIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR,
O‘LCHASH VOSITALARI VA USULLARI

8.1. Elektromagnit tebranishlarning chastotasiga
oid ma’lumotlar

Tebranishlar chastotasi o‘zgaruvchan tokning zaruriy xarakteristikasi bo‘lib hisoblanadi. Chastotani o‘lchash – telekommunikatsiyalar va radioelektronikada asosiy masala hisoblanadi. Vaqt birligi ichidagi to‘liq tebranishlar soniga chastota deyiladi, ya’ni

$$f = N / T_h, \quad (8.1)$$

bu yerda: T_h – vaqt intervali bo‘lib, bu oraliqda N ta tebranishlar sodir bo‘ladi. Garmonik tebranishlar uchun chastota:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (8.2)$$

bu yerda: T – tebranishlar soni.

Garmonik tebranishlar quyidagi ifoda bilan beriladi:

$$U(t) = V_m \cos(\omega t + \varphi_0) = V_m \cos\varphi(t), \quad (8.3)$$

bu yerda: V_m – amplituda;

ω – burchak chastota;

φ_0 – boshlang‘ich faza.

$\varphi(t) = \omega t + \varphi_0$ – to‘liq (joriy, oniy) faza chastotani o‘lchash ma’lum vaqt oralig‘ini talab qilganligi uchun o‘lchash natijasi

bo‘lib o‘lchash intervalidagi chastotaning o‘rtachalangan qiymati hisoblanadi. Shunga ko‘ra chastotani o‘lchash xatoligi o‘rtachalash vaqtiga bog‘liq bo‘ladi. Undan tashqari, chastotaning uzoq muddatli va qisqa muddatli nobarqarorligi tushunchalari o‘rinlidir. Ma’lumki, elektromagnit tebranishlarning chastotaviy spektri Gersning ulushli birliklaridan ming gigagersgacha bo‘lgan diapazonni egallaydi. Elektromagnit tebranishlarning spektrini ikkita: past va yuqori chastota diapazoniga bo‘lish mumkin. Past chastotalar $20 \text{ Hz} \div 200 \text{ kHz}$, yuqori chastotalar $20 \text{ kHz} \div 30 \text{ MHz}$ sohani egallaydi.

Chastotaning vaqt bo‘yicha doimiy bo‘lmagan qiymati uning nisbiy barqarorligi bilan baholanadi va $t_2 - t_1$ vaqt oralig‘idagi chastota o‘zgarishining uning ayrim oniy qiymatining ushbu intervalda tanlangan qiymatiga nisbati bilan aniqlanadi, ya’ni

$$\delta f = [f(t_2) - f(t_1)] / f(t_1) = \Delta f / f. \quad (8.4)$$

O‘xshash nisbat bilan chastotani o‘rnatishdagi nisbiy xatolikni hamda chastotani o‘lchash xatoligini baholash mumkin va bunda Δf ning qiymati chastotaning o‘rnatilgan yoki o‘lchangan qiymatining uning haqiqiy qiymatidan chetlanishini ifodalaydi.

8.2. Elektromagnit tebranishlar chastotasining nobarqarorligi

O‘zgaruvchan tokda ishlovchi qator telekommunikatsiyalar texnik vositalari va radioelektron asboblarni qiyoslash, metrologik attestatsiyalash va kalibrashning chastota diapazonining aniq nuqtalarida amalga oshirilishi chastota o‘lchashlarining zaruriy ehtiyojligini ko‘rsatadi.

Elektromagnit tebranishli signallar manbayini ikki guruhga bo‘lish mumkin. Birinchi guruhga – telekommunikatsiyalar va radioelektron apparaturaning turli komponentlarini (generatorlar, geterodinlar); ikkinchi guruhga – chastotani tiklash uchun

mo'ljallangan o'lchash vositalarini (chastota standartlari, o'lchov generatorlari) kiritish mumkin. Chastotani o'lchash amaliyotida elektromagnit tebranishlarning haqiqiy qiymatini aniqlash zarur bo'ladi va bu qiymatning asl qiymatga yaqinligi muhimdir.

Umumiy holda elektromagnit tebranishli signallar chastotasining oniy qiymati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\omega(t) = \omega_{\text{nom}} + \alpha\omega_0 t + \Delta\omega(t), \quad (8.5)$$

bu yerda: ω_{nom} – chastotaning nominal qiymati;

ω_0 – signal chastotasining boshlang'ich qiymati (manba ishlab chiqaradigan chastotaning haqiqiy qiymati);

α – manba chastotasining vaqt bo'yicha barqarorligiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent;

$\Delta\omega(t)$ – chastotaning fluktuatsion o'zgarishi.

Elektromagnit tebranishli signallarning chastota manbayida (9.5) ga ko'ra chastota nobarqarorligining ikki ko'rinishi mavjud: uzoq muddatli, davomli vaqt hisobiga chastotaning muntazam siljigani uchun (α , ω_0 , t) va qisqa muddatli, signal chastotasining fluktuatsiyali o'zgarishiga ko'ra $[\Delta\omega(t)]$. Nobarqarorlikning keltirilgan ko'rinishlarining bo'linish chegarasi shartli bo'lib, konkret chastota manbayiga bog'liq. Chastotani o'lchash jarayoni ma'lum vaqt oralig'ini egallagani uchun va bu oraliqda bir vaqtning o'zida uning sistematik va fluktuatsiyali o'zgarishlari ro'y bergani uchun chastotaning asl qiymatini aniqlab bo'lmaydi. Shunga ko'ra chastotaning haqiqiy qiymatini baholash uchun uni τ o'lchash intervalida o'rtachalangan $\omega_{\text{or}}(t)$ qiymatidan foydalaniladi va qiymat 9.6 ifodadan aniqlanadi:

$$\omega_{\text{or}}(t) = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau/2}^{t+\tau/2} \omega(t) dt. \quad (8.6)$$

(8.6) dan foydalanib, uzoq muddatli va qisqa muddatli chastotaning nobarqarorligi uchun ifodaga ega bo'lishi mumkin va bunda T vaqt intervali beriladi va bu intervalda keltirilgan

nobarqarorliklardan biri va τ o'rtachalash vaqti kafolatlanadi. Amalda T kattalik chastota manbayining yo'riqnomasida keltirilgan bo'ladi. τ esa chastota o'lchovchi asbobning tezkorligiga bog'liq. Elektron hisobli chastotomerda τ chastotalarning hisob vaqtiga teng. Yuqorida keltirilganlarga ko'ra, chastotaning uzoq muddatli, nobarqarorligi $\Delta\omega_y(t)T$ vaqt intervalining boshi va oxirida olingan chastotaning ikkita o'rtachalangan qiymatining farqi sifatida aniqlanadi:

$$\Delta\omega_y(t) = \omega_{or}(t+0,5T) - \omega_{or}(t-0,5T). \quad (8.7)$$

(8.7) dagi τ va T orasida mutanosiblik statistika tasdiqlagan quyidagi mulohazalar asosida o'rnatiladi. Minimal mumkin bo'lgan vaqt τ_{min} elektromagnit tebranishlarning bitta to'liq sikli vaqti bilan chegaralanadi. Maksimal mumkin bo'lgan τ_{max} vaqt esa $T \gg \tau$ shart bajarilishning zaruriyligiga ko'ra τ va T orasidagi tavsiyaviy munosabat (8.1) jadvalda keltirilgan. Uzoq muddatli $\omega_u(t)$ nobarqarorlikni aniqlash natijasining ishonchliligini oshirish uchun chastotaning bu nobarqarorligi N marotaba o'lchanadi va uning o'rta arifmetik qiymati (8.8) ifodadan topiladi:

$$\Delta\omega_{y.or} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [\omega_{or}(t_i + 0,5T) - \omega_{or}(t_i - 0,5T)]. \quad (8.8)$$

Chastotaning qisqa muddatli nobarqarorligini aniqlashda dastlab chastotaning τ vaqt intervalidagi o'rtachalangan qiymati (9.9) ifodadan topiladi:

$$\omega_{or}(t,\tau) = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} \omega(t) dt. \quad (8.9)$$

Keyin chastotaning qisqa vaqtli nobarqarorligi (8.10) ifoda yordamida aniqlanadi:

$$\Delta\omega_h = \omega_{or}(t,\tau) - \omega(t,T). \quad (8.10)$$

(9.8) dan farqli holda chastotaning qisqa vaqtli nobarqarorligi uchun (8.11) ifoda bilan T interval uchun hisoblangan uning o'rta kvadratik qiymatidan foydalaniladi:

$$\delta_k = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^N \omega_{kp}(t_i, T)}{N}\right)^2 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N \omega(t_i, T)}{N}\right)^2}. \quad (8.11)$$

(8.7)da $T \gg \tau$, bunda shunday T interval beriladiki, unda chastotaning sistematik o'zgarishi e'tiborga olmasa ham bo'ladigan darajada kichik bo'ladi.

8.1-jadval

T va τ orasidagi tavsiyaviy nisbat

T	1 yil	6 oy	1 sutka	1 sutka	1 soat	100 s	100 s	100 s	100 s
τ	1 sutka	1 sutka	1 sutka	1 soat	100 s	1 s	0,1 s	0,01 s	0,001 s

8.3. Raqamli chastotomerning ish tamoyili

Raqamli chastotomerning ishlash tamoyili chastotaning ta'rifidan kelib chiqadi, ya'ni vaqt oralig'ida impulsar sonini sanashdan iborat. Bu asboblarni ishlatishga qulay, keng diapazon-dagi chastotalarni o'lchaydi (bir necha gersdan yuzlab megagergacha) va yuqori aniqlikdagi natijalar oladi (nisbiy xatoligi 10^{-6} – 10^{-9}).

Raqamli 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'lchash mumkin.

Garmonik signal chastotasini raqamli usulda o'lchash prinsipi 8.1-rasmda keltirilgan. Kirish qurilmasi KQ kelgan signalni kerakli qiymatga kuchaytiradi yoki susaytiradi (8.1-a rasm). KQ dan chiqqan garmonik u_1 signal (8.1-b rasm) impuls shakllantirgich ISH ga keladi. ISH uni bir qutbli qisqa impulsar

u_1 ketma-ketligiga aylantiradi, ketma-ketlik davri $T_x = 1/f_x$ bo'lib, sanoqli deb ataladi. Bu impulslarning oldingi frontlari u_1 signalning vaqt o'qida nolinch qiyamatdan o'tish momentlariga deyarli mos tushadi. Impuls shakllantirgich kuchaytirgich-cheklagich va komparator (Shmitt triggeri)dan iborat.

u_2 sanoq impulslari 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 kalibrlangan $T_0 > T_x$ davomiylikdagi u_3 strob-impuls kiradi. T_0 vaqt intervali sanoq vaqti 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 (paketi)ni o'tkazadi. Natijada, vaqt selektoridan hisoblagichga N_x ta u_4 impulslarning 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 (8.1-b rasm).

8.1-b rasmdan kelib chiqadiki,

$$T_0 = N_x T_x - \Delta t_n + \Delta t_k = N_x T_x - \Delta t_d, \quad (8.12)$$

bu yerda: Δt_n va $\Delta t_k - T_0$ intervali boshi va oxirining tasodifiy metodik diskretlash absolut 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 absolut xatoligi.

(8.12) 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:

$$f_x = N_x / T_0. \quad (8.13)$$

Strob-impulsni shakllantirish uchun $SHBQ$ ga sxemadan T_0 davrli qisqa impulslar keladi. Sxema tarkibiga namunaviy

chastotaning kvarsli generatori va impulslar ketma-ketligining *DCHB* dekadli chastota bo'lgichi kiradi (8.1-rasmda ko'rsatilmagan).

DCHB chiqishidagi impulslar davri va strob-impuls muddati teng: $T_0 = K_d / f_{kv}$. Shu sababli (8.13) formulani quyidagicha yozish qulayroq:

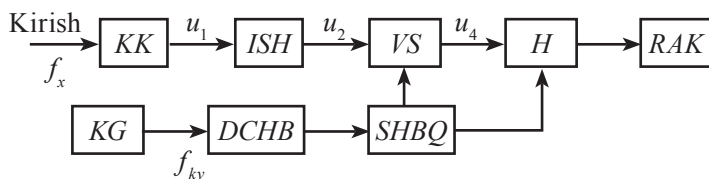
$$f_x = N_x f_{kv} / K_d. \quad (8.14)$$

Diskretli tarzda f_{kv}/K_d nisbatini o'zgartirish uchun K_d ni variatsiyalash, ya'ni *DCHB* dekadalari sonini o'zgartirish mumkin.

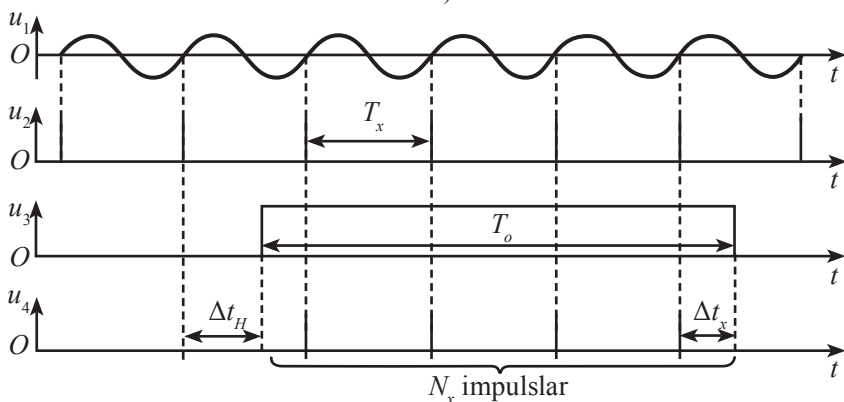
Hisoblagich N_x impulslar sonini sanaydi va tegishli kodni *RSQ* raqamli sanoq qurilmasiga beradi. f_{kv}/K_d nisbati 10^n Hz ga teng qilib olinadi, bu yerda n – butun son. Bunda *RSQ* o'lchayotgan f_x chastotaga mos keluvchi N_x sonni tanlangan birlikda ko'rsatadi. Masalan: K_d ni o'zgartirish hisobiga $n=6$ ko'effitsiyent tanlansa, *RSQ*da 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 kalibrlanadi.

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



a)



b)

8.1-rasm. Raqamli chastotomer:
a) tuzilmaviy sxemasi; b) vaqt diagrammalari.

O'lchash xatoligining tasodifiy tashkil etuvchisi diskretlash Δt_d xatoligi bilan aniqlanadi. Strob-impuls va sanoq impulslari o'zaro sinxronlanmaydi. Shu sababli, 8.1-b rasmda strob-impuls boshi va oxirining ikki qo'shni sanoq impulslari orasidagi joylashuvini aniqlovchi Δt_n va Δt_k xatoliklar bir xil ehtimolli vaqtda 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 vaqti intervalining boshi va oxirini diskretlashning maksimal $\Delta t_d = \pm T_0$ xatoligini sanoq impulslari N_x sonini ± 1 impulsga ekvivalent tasodifiy o'zgartirish orqali hisobga olish qulayroq.

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

$$\delta_{f_x} = \pm 100 \left(\delta_{kv} + \frac{1}{T_0 f_x} \right). \quad (8.15)$$

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 MHz gacha boradi va u 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 mikroprotsessorga ega raqamli chastotomerlar yuqori aniqligi, o'lchaydigan chastotalar diapazoni kengligi, ishonchliligi va avtomatlashgan o'lchash tizimlariga qo'shish qulayligi tufayli istiqbolli o'lchash asboblari bo'lib hisoblanadi.

8.4. Elektron-hisobli chastotomerning ish tamoyili

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 chas-

totomerlar qo‘shimcha qurilmalar bilan ishlatilganda ularning imkoniyatlari ortadi. Keng sohali kuchaytirgichlar bilan ishlatilganda asbobning sezgirligi oshadi. 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

$$f_x = N / T_x . \quad (8.16)$$

Elektron-hisobli chastotomerning struktura chizmasi 8.2-rasmda keltirilgan.

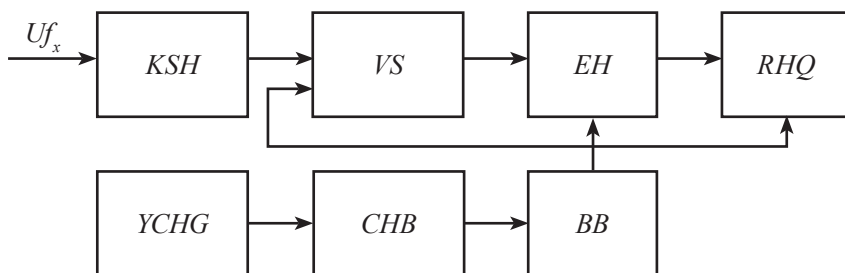
f_x chastotali signal kuchaytirgich-shakllantirgichga kiradi va chastotasi o‘lchanayotgan sinussimon kuchlanish bir qutbli impulslar ketma-ketligiga aylantiriladi. Bu impulslar ketma-ketligining chastotasi impulslar vaqt selektorining 1-kirishiga uzatiladi. Selektorning 2-kirishiga qat’iy aniq davomiylikdagi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

Kvars stabilizatsiyali generatorning chastotasi T_{kv} 1 yoki $0,3 \mu s$ ga teng. Hisob vaqtining bunday davomiyligidagi f_{kv} teng yoki kichik bo‘lgan chastotani o‘lchash mumkin emas. Shunga ko‘ra, kvars generatoridan keyin chastotani dekadlash 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

oʻrnatish mumkin. Bunda oʻlchanayotgan chastota ifodadan aniqlanadi:

$$f_x = N \cdot 10^{-n} \cdot f_{kv}. \quad (8.17)$$

Davomiyligi $T_x = 10^n / f_{kv}$ (9.18) boʻlgan impuls boshqarish blokida shakllantiriladi.



8.2-rasm. Elektron-hisobli chastotomerning struktura chizmasi:

KSH – kuchaytirgich shakllantirgich; *VS* – vaqt selektori; *EH* – elektron hisoblagich; *RHQ* – raqamli hisoblash qurilmasi; *YCHG* – yuqori chastota generatori; *CHB* – chastota boʻlgich; *BB* – boshqarish bloki.

Oʻlchanayotgan chastotali impulslar elektron hisoblagichga selektorning 2-kirishiga T_{his} davomiylikli impuls qoʻyilgandagina oʻtadi. Hisoblagich chiqishidan N impulslar soni toʻgʻrisidagi axborot, ikkilik kod koʻrinishida deshifrator orqali raqamli hisob qurilmasi (tablo)ga uzatiladi va oʻlchash natijalari chastotaning oʻlchov birliklarida raqamli koʻrinishda qayd qilinadi. Oʻlchashlar boshqarish bloki oʻrnatgan takrorlanuvchi sikllar bilan amalga oshiriladi.

Bir vaqtning oʻzida boshqaruvchi qurilma vaqt selektoriga taʼsir koʻrsatib, raqamli indikator koʻrsatishlarini avtomatik holda tashlab yuborish uchun hamda deshifrator va chastota boʻlgichni boshlangʻich holatga keltirish uchun impulslar uzatiladi.

Operator raqamli tablo boʻyicha koʻrsatishlar 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 vaqti deyiladi va operator tomonidan bir necha sekund chegarasida rostlanishi mumkin.

Chastotomerda 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 vaqti cheklanmaydi. Elektron-hisobli chastotomerning nisbiy xatoligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\delta = \delta_0 + \delta_{\text{nob}} + 1 / f_x T_{\text{his}}, \quad (8.18)$$

bu yerda: δ_0 – kvarts generatori chastotomerning nisbiy xatoligi;
 δ_{nob} – kvarts 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.

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

Hozirgi zamon elektron-hisobli chastotomerlarida 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. 8.2-jadvalda bu tashkil etuvchi qiymatining turli chastotalar uchun vaqtga bog'liqligi keltirilgan.

8.2-jadval

O'lchash vaqti $T_{\text{his}}, \text{ s}$	Xatolik $1 / f_x T_{\text{his}}$		
	0,1 Hz	100 Hz	100 kHz
10^{-3}	103	1	10^{-3}
10^{-1}	103	10^{-1}	10^{-4}
1	10	10^{-3}	10^{-3}

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 davrni o‘lchashga o‘tish zarur.

8.5. Chastotomerlarning o‘lchash xatoliklarini metrologik baholash

Chastotani o‘lchashning umumiy tamoyiliga mos holda xatoliklarning tashkil etuvchilarini uchta guruhda taqdim etish mumkin: chastotomerning xatoliklari, chastotaning o‘lchanayotgan qiymati bilan o‘lchovning taqqoslash xatoligi va sanoq impulslarini shakllantirish xatoliklari. Ma’lumki, elektron-hisobli chastotomerlarda chastotaning o‘lchovi bo‘lib kvarsli tayanch generatorining f_0 chastotasi bo‘lib hisoblanadi. Uni taqsimlash (bo‘lish) asosida vaqtning zaruriy sanoq intervali shakllantiriladi. Generator chastotasining nisbiy xatoligi (nobarqarorligi) qiymati

$$\delta_0 = \pm \Delta f / f_0 \quad (8.19)$$

bo‘yicha xuddi shunday sanoq oralig‘ining davomiyligini shakllantiruvchi nisbiy xatolikni, ya’ni unga teng bo‘lgan chastotani o‘lchash xatoligining tashkil etuvchisini yuzaga keltiradi.

Shakllantirish sistemasini ishlatib yuborish nobarqarorligiga ta’sir ko‘rsatuvchi sanoq intervalini shakllantirish xatoligi elektron-hisobli chastotomerlarda hisobga olmasa ham bo‘ladigan kichik bo‘lganligi uchun amalda bu xatolik e’tiborga olinmaydi. Xuddi shunday sanoq impulslarini shakllantirish xatoligi ham sezilarsiz darajada kam bo‘ladi, ularning ketma-ket kelish chastotasi yuqori aniqlik bilan o‘lchanayotgan chastota qiymatiga mos keladi.

Chastotani o'lchash xatoligining xarakterli tashkil etuvchisi taqqoslash xatoligi hisoblanib, vaqtning sanoq intervali hisobining diskretligi hisobiga mavjud bo'ladi. Qator mulohazalar asosida xatolikning bunday tashkil etuvchisini aniqlash mumkin. f_x chastotani vaqtning kalibrangan hisob oralig'idagi hisoblagich bilan sanaluvchi m impulslar davriga taqqoslash yo'li bilan amalga oshiriladi. Hisobning diskretligi va sanoq impulslari vaqt holatlarining sanoq oralig'iga nisbatan bog'liq emasligiga ko'ra taqqoslashning maksimal absolut xatoligi mavjud bo'lishi mumkin va u sanoq impulslarining bitta davriga teng bo'ladi:

$$\Delta t_{\text{taq}} = \pm 1 / f_x. \quad (8.20)$$

Shunga ko'ra, diskretlikka asoslangan t_{san} sanoq intervalidagi taqqoslashning nisbiy xatoligi

$$\delta f_{\text{or}} = \Delta t_{\text{or}} / t_{\text{san}} = \pm 1 / (t_{\text{san}} \cdot f_x) \quad (8.21)$$

bo'ladi. Elektron hisobli chastotomer bilan chastotani o'lchashning natijaviy nisbiy xatoligini uning chegaraviy qiymati bilan baholanishi qabul qilingan bo'lib, uning ikkita zaruriy tashkil etuvchilari yig'indi sifatida ifodalanadi:

$$\delta f_{\text{cheg}} = \pm [\delta_0 + 1 / (t_{\text{his}} \cdot f_x)]. \quad (8.22)$$

Shunga binoan quyidagi muhim natijaga ega bo'linadi: elektron-hisobli chastotomer bilan chastotani o'lchash xatoligi uning qiymatiga bog'liq. Kichik f_x larda taqqoslash xatoligining tashkil etuvchisi (sanoq xatoligi) kvart generatorining nobarqarorligiga asoslangan tashkil etuvchidan ancha ko'proq bo'lishi mumkin. Ko'rsatilgan past chastotalarni o'lchash bo'yicha xatoliklarni sanoq vaqti intervalini oshirish hisobiga kamaytirish mumkin. Yoki signalning davrini o'lchashga o'tib, elektron-hisobli chastotomer kirishiga o'lchanadigan chastota ko'paytirgichlarini ulash yo'li bilan erishish mumkin.

8.6. Chastotani o'lchash vositalarining metrologik ta'minoti

Chastotani o'lchovchi asboblarni ishlab chiqarish va foydalanish jarayonlari metrologik ta'minotni talab qiladi. Ushbu ta'minotni amalga oshirish uchun ilmiy-texnikaviy va tashkiliy tadbirlar majmuasi amalga oshiriladi va, birinchi navbatda, o'lchashlar birliligini ta'minlash masalasi turadi. Texnik tadbirlarning asosiy lari chastota o'lchovchi vositalarning qiyoslanishi va ta'mirlanishidir. Chastota standarti bo'lgan kvars generatorini qiyoslash uchun chastotaning rubidiyli standarti, chastota komparatori, elektron-hisobli chastotomer, selektiv voltmetr, spektr analizatoridan foydalaniladi. Chastotani o'lchovchi o'lchash vositalarini qiyoslashda ularni ikki guruhga bo'lish mumkin. Birinchi guruhga chastota o'lchovchi asboblarni, ikkinchi guruhga yuqori barqaror elektromagnit tebranishlarni ishlab beruvchi asboblarni kiritish mumkin. Birinchi guruh asboblari ularning kirishiga chastotasi yuqori barqaror bo'lgan signallarni uzatish va o'lchash xatoliklarini baholash orqali qiyoslanadi. Namuna chastotasining o'rnatish xatoligi va barqarorligi o'lchash vositasining o'lchash xatolidan kamida uch marotaba kam bo'lishi kerak. Shunga ko'ra, chastotomerlarni qiyoslash uchun chastota standartlari, sintezatorlar, bo'lgichlar, chastota ko'paytirgichlar qo'llaniladi. Chastotomerning o'lchash xatoligi normativ-texnik hujjatlarda reglamentlangan nuqtalari uchun aniqlanadi. Ma'lumki, qiyoslash asbob chastota diapazonining boshida, o'rtasida va oxirida o'tkaziladi. Ikkinchi guruhdagi chastota o'lchovchi asboblar ular ishlatib bergan elektromagnit tebranishlarni namuna chastotasi bilan solishtirish asosida qiyoslanadi. Bunday asboblarni qiyoslash uchun chastota standartlari, namuna chastota signallari, qabullagichlar, ossillograflardir. Qiyoslashda quyidagi tadbirlar o'tkaziladi: tashqi ko'rik; ishlatib ko'rish; chastotani o'lchashdagi asosiy

nisbiy xatolik aniqlanadi; sinussimon signalda davrni o'lchashdagi asosiy nisbiy xatolikni aniqlash. Qiyoslash dasturida namuna va yordamchi qiyoslash vositalarining nom ro'yxati ko'rsatiladi. Ishlatib ko'rish va o'zini tekshirish asbobning normativ-texnik hujjatida keltirilgan tavsiyalar asosida amalga oshiriladi. «Uzluksiz hisob» rejimida hisoblagich va sanoq qurilmasining ishi tekshiriladi. Yordamchi generator yoki chastota sintezatoridan elektron-hisobli chastotomer kirishiga 1 Hz chastotali kuchlanish beriladi va oxirgi 1 va 0 yorug'lik tablosida oxirgi razryadning ketma-ket yonishi kuzatiladi. Chastotani 10, 100, 1000 marta oshirib, oldingi razryadlarning ketma-ket ko'rsatishi tekshiriladi. Chastotani o'lchash rejimida asbob kirishiga yordamchi generatordan chastotasi 20 Hz dan ortiq bo'lmagan sinussimon signal beriladi, so'ngra, signalning bir davri o'lchanadi. O'lchangan qiymat generatorda o'rnatilgan davr bilan solishtiriladi. Chastotani o'lchashdagi asosiy nisbiy xatolik signal chastotasini bevosita o'lchash usuli asosida amalga oshiriladi. Bu signalni 8.3-rasmda keltirilgan qiyoslash sxemasidagi namuna vositalar shakllantiradi. Kvars generatorining chastotasi etalon chastotalar qabullagichi «QQ» chiqishida yoki rubidiyli chastota standarti «CHSt»dan chiquvchi signal bilan muttasil ravishda nazorat qilinadi. Chastota sintezatori yoki ko'paytirgich «K» yordamida kvars generatorining chastotasi elektron-hisobli chastotomer kirishiga uzatish darajasidagi signalga aylantiriladi. Qiyoslash elektron-hisobli chastotomerning 0,8–1,0 ga teng bo'lgan maksimal ishchi chastotasida bajariladi. O'lchash natijasi nisbiy xatolik bilan baholanadi:

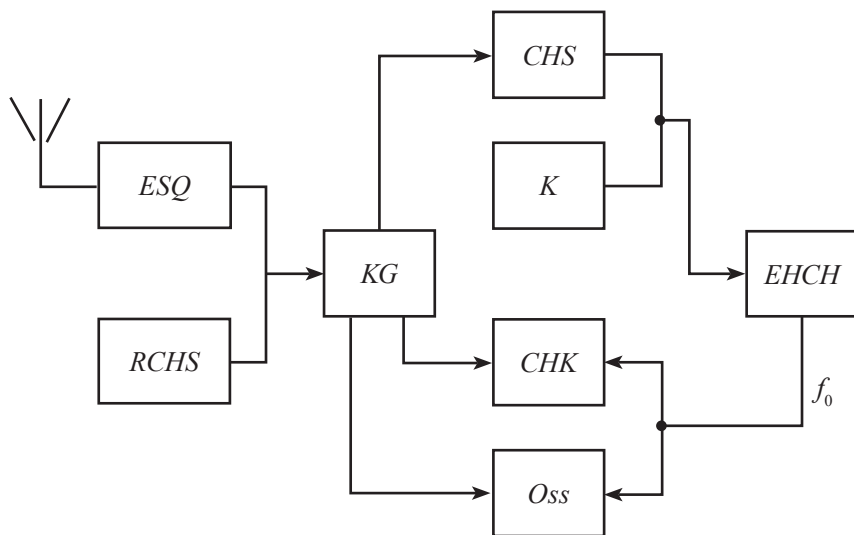
$$\delta f = (f - f_0) / f_0,$$

bu yerda: f – chastotaning o'lchangan qiymati;

f_0 – namuna o'lchash vositasi yordamida o'rnatilgan qiymat.

δf ning o'nta aniqlangan qiymatidan to'qqiztasining qiymati qiyoslanayotgan asbobning texnik tafsiloti keltirilgan me'yorlangan xatolik qiymatidan ortib ketmasligi kerak. Qiyoslanayotgan elektron-hisobli chastotomerning kvarts generatori chastotasining asosiy nisbiy xatoligini bu chastotani namuna o'lchov bilan solishtirib aniqlashga standart yo'l qo'yadi. Solishtirishni chastota komparatori yordamida «CHK» yoki «Oss» ossillografda Lissaju figuralari bo'yicha amalga oshirish mumkin.

Agar qiyoslash natijasida aniqlangan chastotani o'lchashdagi yo'l qo'yiladigan xatolik yoki kvarts generatori chastotasining asosiy xatoligi ushbu uskuna uchun yo'l qo'yiladigan qiymatlardan 0,1 ga ohsa, chastotomerning kvarts generatori sozlanadi va o'lchash xatoligi qaytadan aniqlanadi.



8.3-rasm. Elektron-hisobli chastotomerning qiyoslash tuzilmaviy chizmasi. *ESQ* – etalon signallar qabullagichi; *RCHS* – rubidiyli chastota standarti; *KG* – kvarts generatori; *CHS* – chastota sintezatori; *K* – ko'paytirgich; *CHK* – chastota komparatori; *Oss* – ossillograf; *EHCH* – elektron-hisobli chastotomer; f_0 – namuna chastota.

8.7. Elektron-hisobli chastotomer usuli

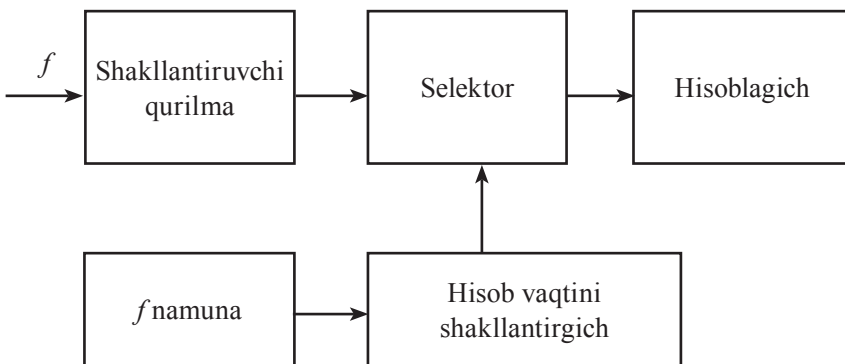
Chastotalarni taqqoslashning ushbu usuli o'lchanayotgan chastotaning davrlar sonini namuna chastota shakllantirgan vaqt intervalida o'lchashga asoslangan. Namuna chastota yordamida ma'lum davomiylikda Δt vaqt intervalini shakllantiradi. Bu vaqt intervali noma'lum f_x chastotali impulslar bilan to'ldiriladi, Δt intervalga tushgan impulslar sonining hisobi quyidagi ifoda bilan hisoblanadi:

$$n = \Delta t f_x . \quad (8.23)$$

(8.23) dan

$$f_x = n/\Delta t . \quad (8.24)$$

Δt vaqt intervaliga tushgan impulslar sonining hisobi impulslar hisoblagichi yordamida raqamli shaklda qayd qilinadi. Ko'pincha Δt vaqt 10^m ga teng, m butun son bo'lib, $3 \div -2$ gacha qiymat qabul qiladi. Shunga ko'ra, elektron-hisobli chastotomerning ko'rsatishi o'lchanayotgan chastotalarga son jihatdan mos keladi. Chastotani elektron-hisobli usulda o'lchash sxemasi 8.4-rasmda keltirilgan.



8.4-rasm. Chastotani elektron-hisobli chastotomer bilan o'lchash.

O'lchanayotgan chastotali signal shakllantiruvchi qurilmaga keladi va bu elektromagnit tebranishlar chastotasi kirish signali chastotasiga teng bo'lgan impulslar ketma-ketligiga aylantiriladi. Shakllantiruvchi qurilma chiqishidagi impulslar vaqt selektoriga uzatiladi. Namuna chastotali signal hisob vaqti shakllantirgichga o'tadi va selektor Δt vaqtga ochiladi va bu vaqt namuna chastota impulslarining davriga teng bo'ladi. Chastotaning o'lchashdagi elektron hisobli chastotomerning xatoligi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\delta_{\text{ehchx}} = \delta_{\text{tgx}} + \delta_{\text{nobl}} + \delta_{\text{nob2}} + 1/f_x \tau, \quad (8.25)$$

bu yerda: δ_{ehchx} – elektron-hisobli chastotomerning xatoligi;

δ_{tgx} – tayanch generator chastotasining o'rnatish xatoligi;

δ_{nobl} – tayanch generatorining uzoq muddatli nobarqarorligi sababli yuzaga kelgan xatolik;

δ_{nob2} – elektron-hisobli chastotomer hisob vaqti intervalida tayanch generatorining qisqa muddatli nobarqarorligi sababli yuzaga kelgan xatolik;

$1/f_x \tau$ – o'lchanayotgan τ_x signal davrini va τ sanoq vaqtini shakllantiruvchi signal davrlarining karrali emasligiga bog'liq bo'lgan xatolik.

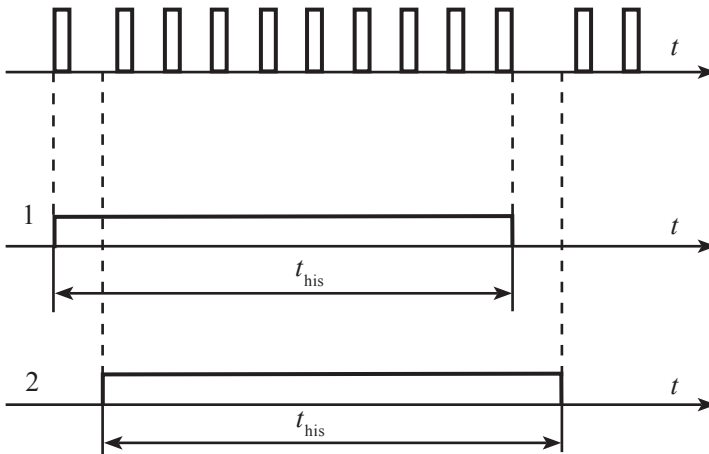
δ_{tgx} xatolik chastota namuna o'lchovining xatoligiga bog'liq. Hozirgi zamon elektron-hisobli chastotomerlarda δ_{tgx} taxminan $10 \cdot 10^{-8}$ ga teng. δ_{nobl} va δ_{nob2} vaqt intervaliga bog'liq. Bu xatoliklarning turli vaqt intervallari uchun qiymatlari 8.3-jadvalda keltirilgan.

$1/f_x \tau$ xatolik o'lchanayotgan chastotaga elektron-hisobli chastotomerning o'lchash vaqtiga bog'liq. Bu xatolikning yuzaga kelishini 8.5-rasmda keltirilgan elektron-hisobli chastotomer selektorining vaqt diagrammasida kuzatish mumkin.

Tayanch generatorlari nisbiy xatoligining vaqt intervaliga bog‘liqligi

	EHCH tayanch generatorlari chastotasining vaqt intervallari uchun nisbiy xatoligi							
Nobarqarorlik turi	1 s	10 s	10 min	1 soat	1 sutka	1 oy	6 oy	1 yil
Uzoq muddatli	–	–	–	–	$1 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Qisqa muddatli	10^{-10}	10^{-10}	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-9}$	–	–	–	–

1-holda stroblovchi impuls davomiylik vaqtida selektor 10 ta impulsni o‘tkazadi va hisoblagich 10 ta impulsni qayd qiladi. 3-holda selektor 9 ta impuls o‘tkazadi va hisoblagich 9 ta impulsni qayd qiladi. 8.4-jadvalda hozirgi zamon elektron hisobli chastotomerlar uchun $1/f_x \tau$ qiymatlari keltirilgan.



8.5-rasm. Elektron-hisobli chastotomer selektori ishining vaqt diagrammasi.

Chastotani o'lchash xatoligining o'lchash vaqtiga bog'liqligi

O'lchash vaqti	$1/f_x \tau$ chastotani o'lchash xatoligi									
	0,1 Hz	1 Hz	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz
$10^{-3}c$	104	103	10^{-3}	101	100	10^{-1}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
$10^{-3}c$	104	103	101	100	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
$10^{-1}c$	103	101	100	10^{-1}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
1 c	101	100	10^{-1}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
10 c	100	10^{-1}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}

8.8. Chastotani ossillografik o'lchash usullari

Lissaju shakllari – bir vaqtning o'zida ikkita o'zaro perpendikular yo'nalishda ikkita garmonik tebranishni amalga 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.

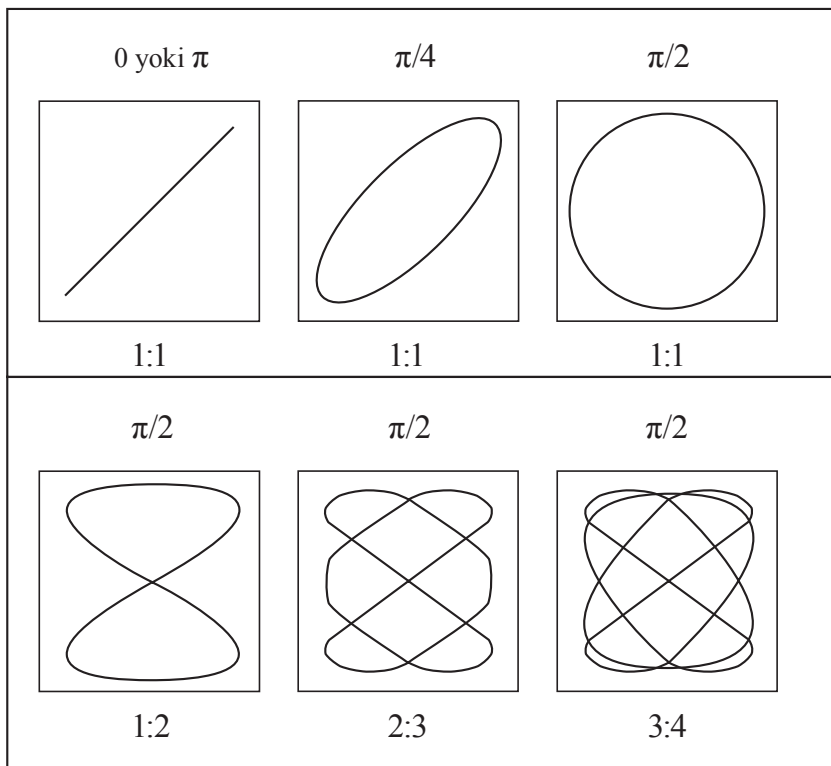
Ikki signal davrlarida farq katta bo'lsa, Lissaju shakllari kuzatilmaydi. Biroq, agar davrlar nisbati butun son bo'lsa, ikkala davrning eng kichik karralisiga teng vaqt intervalidan so'ng harakatdagi nuqta o'z holatiga yana qaytadi – murakkabroq ko'rinishdagi Lissaju shakllari yuzaga keladi.

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

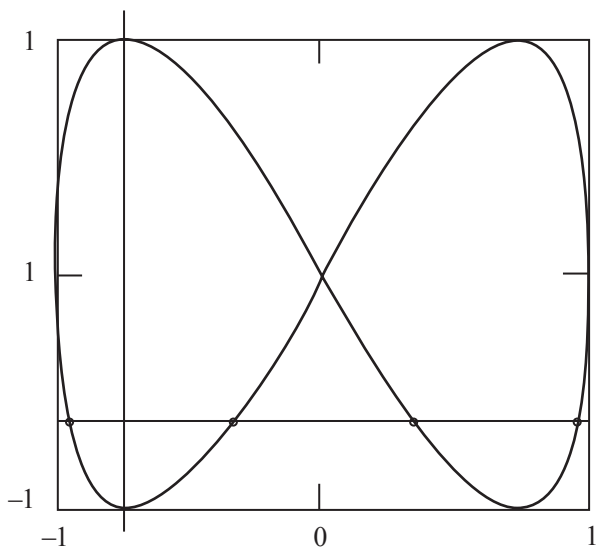
chastotasi shunday rostlanadiki, ossillograf ekranida oddiy shakl paydo bo‘ladi. Misolni 8.6-rasmda ko‘rish mumkin. Lissaju shakllarining ko‘rinishi chastotalar m/n nisbati va taqqoslana-yotgan tebranishlar boshlang‘ich fazalariga bog‘liq.

Ikki garmonik tebranish chastotalari nisbati Lissaju shak-ling vertical bo‘yicha kesishuv nuqtalari m sonining gorizon-tal kesishuv nuqtalari n soniga nisbati sifatida ifodalash mum-kin. Misol uchun, 8.7-rasmdagi ossillogrammalarda bu nisbat $f_0/f_y = m/n = 2/4 = 1/2$ tengligini ko‘rish mumkin. Bundan o‘lcha-nayotgan chastota $f_y = 2f_0$ ekanligi kelib chiqadi.

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



8.6-rasm. Lissaju ayrim shakllarining ko‘rinishlari.



8.7-rasm. Ikkita signal chastotalarining nisbatini aniqlash.

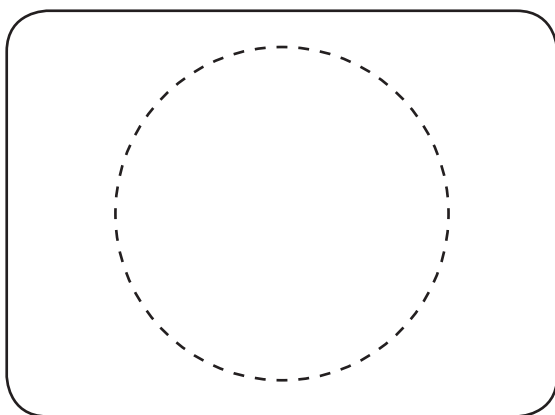
Chastota doiraviy yoyma usulida o'lchashda usulni qo'llash uchun o'lchanayotgan noma'lum f_x chastota namunaviy f_0 dan bir necha marta katta bo'lishi kerak.

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

Ossillografning nur ravshanligi modulatsiyasining 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 (8.8-rasm).

Agar T doiraviy yoyilmadagi ravshan yoylar (yoki yoylar orasidagi qorong'i oraliqlar) soni bo'lsa, unda chastota $f_x = Nf_0$.

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 MHz dan oshmaydi.



8.8-rasm. Ravshanlik bo'yicha modulatsiyalanuvchi doiraviy yoyma.

Nazorat savollari

1. Elektromagnit tebranishlarning chastotasi to'g'risidagi tushunchalaringizni aytib bering.
2. Elektromagnit tebranishlar chastotasining nobarqarorligi nima?
3. Raqamli chastotomerning ishi va o'lchash aniqligi.
4. Elektron hisobli chastotomerning ishini tavsiflang.
5. Chastotomerlarning o'lchash xatoliklari qanday baholanadi?
6. Chastotani o'lchash vositalarining metrologik tadbirlarga tortilishini izohlang.
7. Chastotani o'lchash usullarini sanab bering.
8. Chastotani o'lchashning elektron hisobli chastotomer usuli.
9. Chastotani o'lchashning ossillografik usullari va uslubiy xatoliklar hisobini keltiring.

9-BOB.
RADIOTEXNIK SHOVQIN TURLARI,
PARAMETRI VA XARAKTERISTIKALARIGA
OID TUSHUNCHALAR TAFSILOTI

9.1. Radiotexnik shovqin turlarining tasniflanishi

Radiotexnik shovqin turlari quyidagilarga tasniflanadi:

- tor sohali va keng sohali shovqinlar;
- normal yoki gauss shovqini;
- Releyev shovqini;
- logarifmik normal shovqin;
- impulsli xaotik yoki Puasson shovqinlar;
- amplitudalar taqsimotining teng ehtimolli qonunili shovqinlar;
- simsiz rezistorlarning tokli shovqinlari;
- issiqlik shovqinlari.

Quyida ularning tafsilotini keltiramiz.

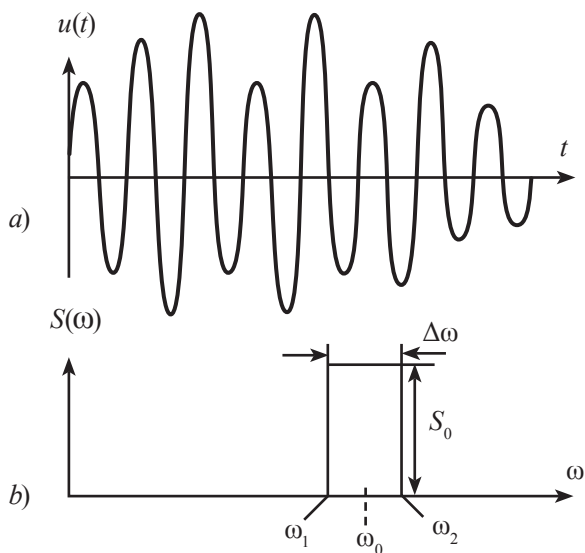
Agar shovqinning quvvat spektri nisbatan chastotalarning tor sohasida

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1,$$

ya'ni markaziy chastota sohasining yonida jamlangan bo'lsa,

$$\omega_0 = (\omega_2 - \omega_1)/2$$

va bunda $\Delta\omega/\omega_0 \ll 1$ bo'lsa, bunday shovqin tor sohali shovqin deyiladi (9.1-rasm).

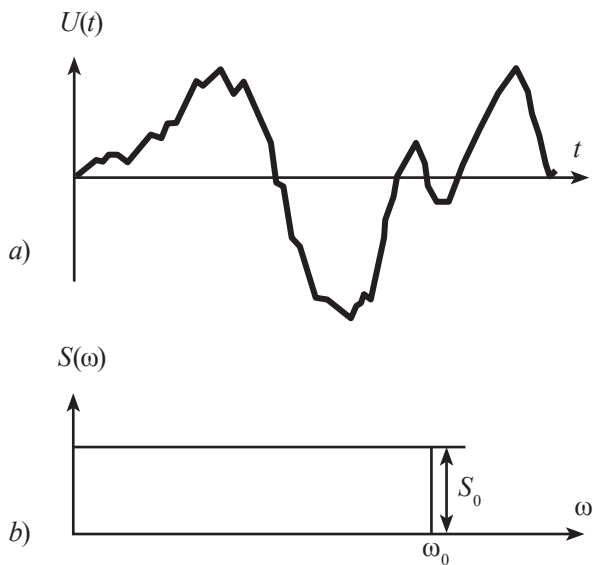


9.1-rasm. Tor sohali shovqin va quvvatning spektral zichligi.

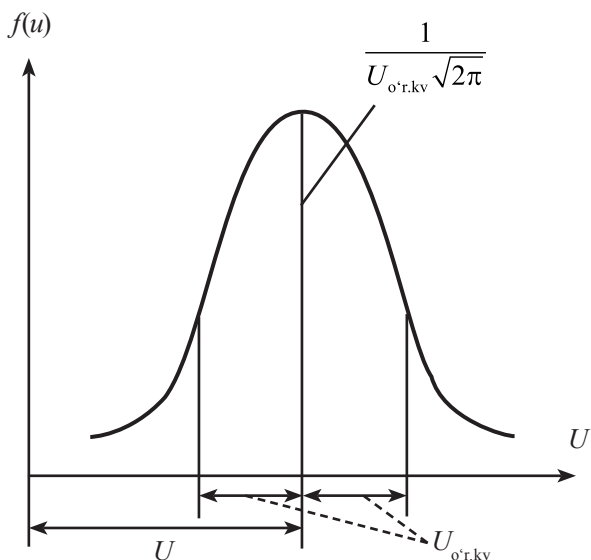
Shovqin quvvatining spektral zichligi $\Delta\omega$ sohada tekis va S_0 ga teng deb faraz qilamiz. Agar, tor sohali shovqin «xotirali» ossillografga berilsa va $\Delta\omega$ dan kichik chastotali bir karrali yoyma ulansa, u holda ekranda $\omega = \omega_0$ boʻlgan sinussimon tebranishlar chastotasini kuzatish mumkin va uning eguvchisi sekin fluktuatsiyalanadi. Soha qancha tor boʻlsa, eguvchi shuncha sekinroq fluktuatsiyalanadi. Soha 2–5 Hz boʻlganda shovqin emas «davriy» tebranish kuzatilgandek taassurot uygʻotadi, xuddi 9.1-a rasmda koʻrsatilganidek. Bunday koʻrinishga shovqin kuchlanishi ega boʻladi, masalan, yuqori asllikdagi tebranish konturida. Tebranish konturi qisqa shovqin impulslarining alohida xaotik turtkilari tomonidan silkitiladi. Bunda, uning soha oʻtkazuvchanligi qancha tor boʻlsa, oʻtish jarayoni shuncha uzoq davom etadi. Bir-biriga tartibsiz (vaqt boʻyicha) oʻtuvchan jarayonlarning tebranish konturida qoʻyilishi natijasida kuchlanish tasodifiy amplituda va fazali tebranishli koʻrinishlarga ega boʻladi.

Amaliyotda keng sohali shovqin bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Uning quvvatining spektral zichligi (9.2-rasm) chastotalarning keng sohasida doimiy bo'ladi. Bu yerda eguvchi tezroq fluktuatsiyalanadi. Keng sohali shovqinlar deb shunday shovqinlarga aytiladiki, ularda quvvat spektrining kengligi spektrning markaziy chastotasiga yaqin bo'ladi. Keng sohali shovqinning ideal misoli bo'lib «oq shovqin» hisoblanadi, uning quvvatining spektral zichligi «0» dan « ∞ » gacha bo'lgan barcha chastotalarida bir xil. Oq shovqinning zaruriy xususiyati bo'lib, uning qancha bo'lsa ham vaqtning ikkita yaqin momenti korrelyatsiyalanmagan bo'ladi. Oq shovqin – bu shovqin funksiyalarining chetki ideallashtirilishidir. Amaliyotda uni amalga oshirib bo'lmaydi.

Nabatdagi shovqin turi normal yoki gauss shovqinidir. Normal yoki gauss shovqini deb fluktuatsiyalanuvchi elektr tebranishlarga aytiladi. Uning vaqti o'qidagi ixtiyoriy nuqtadan olingan oniy qiymati, ehtimoliy zichligi bilan xarakterlanadi.



9.2-rasm. Keng sohali shovqin (a) va uning quvvatining spektral zichligi (b).



9.3-rasm. Normal yoki gauss shovqini normal taqsimot egrisining tasviri.

$$f(u) = \frac{1}{U_{o'r.kv} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(u-\bar{U})^2}{2U_{o'r.kv}^2}\right). \quad (9.1)$$

Ushbu ifodada

$$\bar{U} = M[u] = \int_{-\infty}^{\infty} u f(u) du$$

va

$$D[u] = - \int_{-\infty}^{\infty} (u-\bar{U})^2 f(u) du = \sigma^2 = U_{o'r.kv}^2. \quad (9.2)$$

Normal taqsimot egri 9.3-rasmda tasvirlangan. U o'rt qiymatga nisbatan simmetrik. O'rt qiymatning o'zgarishida egri faqat suriladi, dispersiyaning ortishida, aksincha, egri uchliroq bo'ladi. Dispersiyaning, tebranishlar amplitudasining mumkin bo'lgan qiymatlarining o'rt qiymat atrofidagi tarqoqligini xarakterlaydi. Normal shovqinning $\pm E$ interval chegaralaridagi

oniy qiymatlarini topish ehtimolligi berilgan chegaralardagi taqsimot funksiyasini integrallash bilan aniqlanadi.

Integrallash quyidagini beradi:

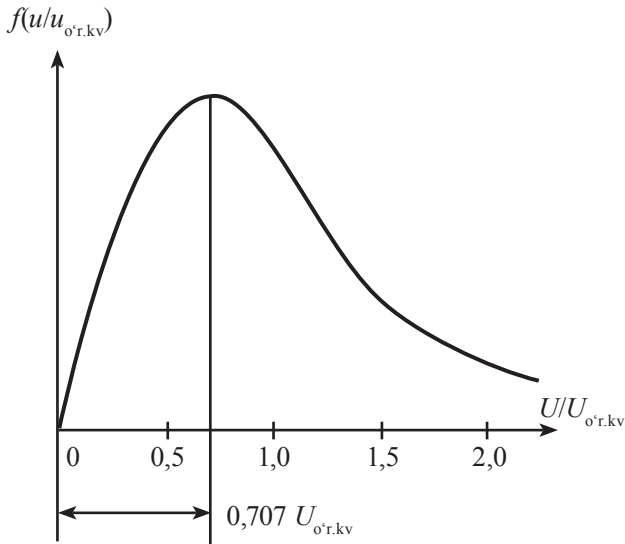
$$P\left[\bar{U} - U_{\text{o'r.kv}} < U(t) < \bar{U} + U_{\text{o'r.kv}}\right] \approx 0,68,$$

$$P\left[\bar{U} - 2U_{\text{o'r.kv}} < U(t) < \bar{U} + 2U_{\text{o'r.kv}}\right] \approx 0,95,$$

$$P\left[\bar{U} - 3U_{\text{o'r.kv}} < U(t) < \bar{U} + 3U_{\text{o'r.kv}}\right] \approx 0,997.$$

Shunday qilib, shovqin oniy qiymatlarining $95\% \pm U_{\text{o'r.kv}}$ intervalda o'rta qiymatning ikkala tomonida mujassamlangan, $\pm 3U_{\text{o'r.kv}}$ intervalda esa 99,7% da mujassamlangan. Normal shovqin hozirgi zamon radiotexnikasi va aloqa texnikasida katta ahamiyatga ega. U radiotexnik qurilmalarning ko'p elementlari tomonidan generatsiyalanadi: rezistorlar, tranzistorlar, diodlar va boshqa shunga o'xshash elementlar. Undan tashqari, boshqa taqsimot qonuniga ega bo'lgan shovqinlar chiziqli nisbatan tor sohali zanjirlardan o'tganidan so'ng, masalan, filrlar va kuchaytirgichlardan normal shovqinga aylanadi.

Navbatdagi Releyev shovqiniga doir tushunchalar ustida to'xtalib o'tamiz. Releyev shovqini deb, har bir vaqt momentidagi oniy qiymatlari Releyev taqsimot qonuniga bo'ysunadigan stansionar shovqinga aytiladi. Ko'pgina amaliy masalalarda Releyev shovqini uchraydi. Ushbu qonunga ko'ra, tor sohali ajratish tizimini chiqishida, normal shovqin egrisining oniy qiymatlari taqsimlangan. Ushbu egri chiziqli yoki kvadratli detektorning yuklanmasida ajratib olinishi mumkin. Radiolokatsiyada, ni shondan qaytgan signal amplitudasi tebranishlarini tavsiflaydi. Radioaloqada esa ionosfera yoki troposferadan sochilish asnosida qabul qilinadigan signal maydonining kuchlanganligi ham Releyev qonuni bo'yicha tebranadi, ushbu qonun bilan signalning radioreleli liniyalaridagi yo'qotilishini ham tavsiflash mumkin (9.4-rasm).



9.4-rasm. Releyev normal shovqini egrisi.

Tor sohali tasodifiy jarayon egrisining ehtimoliy zichligi ushbu ifoda bilan aniqlanadi:

$$f\left(\frac{U}{U_{o'r.kv}}\right) = \frac{U}{U_{o'r.kv}} \exp\left(-\frac{U^2}{2U_{o'r.kv}^2}\right). \quad (9.3)$$

Bu yerda: U – signalning oniy qiymati;

$U_{o'r.kv}$ – o'рта kvadratik qiymat.

Logarifmik normal shovqin tavsifini yoritamiz. Logarifmik normal qonun bilan ba'zan atmosfera xalaqitlari maydon kuchlanganligi egrisi oniy qiymatlarining o'zgarish xarakteri tavsiflanadi. Xalaqitlar U – kuchlanishi uchun ehtimoliy zichligi ushbu holda quyidagi bog'liqlik bilan ifodalanadi:

$$f(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}U^2} \exp\left[-\frac{(\log U - \log U_m)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (9.4)$$

bu yerda: U_m – o‘rtachalangan qiymat;

$f(U)$ – ehtimoliy zichligi;

σ – $\log U$ ning standart chetlanishi bo‘lib, u normal taqsimlangan.

Endi impulsli xaotik yoki Puasson shovqinlari to‘g‘risidagi tushunchalarni qarab chiqamiz.

Shovqinning shunday manbaalari mavjudki, ular uzlukli, ya‘ni vaqt bo‘yicha diskret ishlaydi. Masalan, avtomobilning yondirish tizimidan radiopriyomnik chiqishiga o‘tgan xalaqitlar shular jumlasidandir. Agar shovqin impulslari bir-biriga bog‘liq bo‘lmasligidan tashqari, shu bilan birgalikda, qancha bo‘lmasin vaqtning kichik bo‘lgan intervalida paydo bo‘lish momenti bo‘yicha kesishmaydi, ularning m soni T vaqt oralig‘ining ixtiyoriy fiksatsiyalangan oralig‘ida Puasson ehtimollik taqsimotini qanoatlantiradi. Ushbu taqsimot matematik jihatdan ifodalanadi:

$$F(m; T) = \frac{nT^m}{m!} e^{-nT}, \quad (9.5)$$

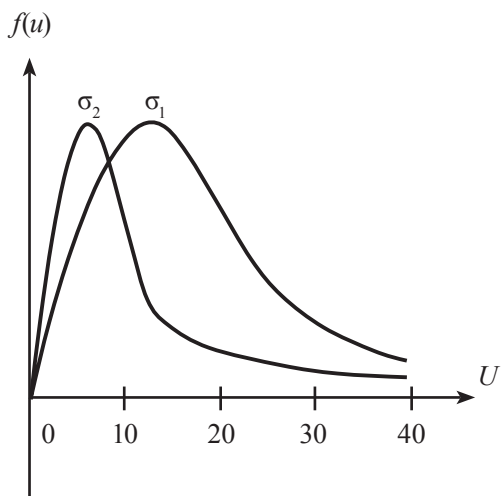
bu yerda: $F(m; T)$ – T vaqt ichida aniq m impulslarning paydo bo‘lish ehtimolligi;

n – vaqt birligida paydo bo‘ladigan impulslarning o‘rtacha soni.

Puasson shovqinlarining ajralib turadigan xususiyati bo‘lib, ularni namoyon qiluvchi impulslar paydo bo‘lishi bo‘yicha tasodifiydir, shu bilan bir vaqtda impulslar kuchlanishi va impulslar davomiyligi doimiy kattaliklar bo‘lishi mumkin.

Paydo bo‘lish momentiga ko‘ra, tasodifiy bo‘lgan impulslar kuchlanishining effektiv qiymati o‘rta quvvatdan olingan kvadrat ildizga proporsional. Vaqt birligidagi impulslarning katta miqdorida Puasson taqsimoti normal taqsimotga yaqin bo‘ladi. Puasson impulsli jarayonlari impulsli aloqa tizimlarining xalaqitdan himoyalanganligini tadqiq qilishda qo‘llaniladi.

Navbatdagi shovqin turi bu amplitudalar taqsimotining teng ehtimolli qonuniga ega bo'lgan shovqinlardir. Shovqinning ushbu turi analog signallar diskret yoki raqamli shaklga aylanganida paydo bo'ladi. O'zgartirishlar ehtimoliy zichligi 9.5-rasmda keltirilgan shovqinning paydo bo'lishini o'z ichiga oladi. Teng ehtimolli shovqin kuchlanishi nohiziqiy qurilma orqali boshqa amplitudalar taqsimotiga ega bo'lgan kuchlanishga nisbatan juda oson almashtiriladi.



9.5-rasm. Logarifmik normal shovqin uchun ehtimollik zichligining $f(U)$ xalait kuchlanishiga U bog'liqlik grafigi.

Ko'proq va eskitdan ko'p uchraydigan shovqin turi – bu issiqlik shovqinidir. Ma'lumki, issiqlik shovqini elektronlarning xaotik harakati tufayli yuzaga keladi. Harakatlanayotgan elektron-zaryad elektr tokining elementar impulsini paydo qiladi. Har bir elementar impuls boshqa impulsga bog'liq bo'lmagan holda paydo bo'ladi, musbat va manfiy impuls holati teng ehtimolli. Shuning uchun elektronlarning o'tkazgichning ko'ndalang kesimi orqali chapdan o'ngga va o'ngdan chapga o'tuvchi soni nolga teng bo'ladi. Lekin vaqtning aniq momentida

bunday balans yo‘q. Agar ossillograf ekranida olingan shovqinlar realizatsiyasi statistik ishlansa, u holda issiqlik shovqinining xarakteri to‘g‘risida quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

- tokning doimiy tashkil etuvchisi nolga teng;
- tokning oniy qiymati normal qonun bo‘yicha taqsimlangan;
- shovqin juda ham ko‘p bo‘lgan tashkil etuvchilarga yoyiladi, ularning har birining o‘rta kvadratik qiymati o‘rtacha olinganda taqqoslangan bo‘ladi, ularning birontasi cheksiz katta quvvatga ega emas;

- barcha tashkil etuvchilar statistik jihatdan bog‘liq emas;
- issiqlik shovqinlari tok eltuvchilarining xaotik harakatiga asoslanganligi sababli, ular materialga bog‘liq emas, agar rezistor bir jinsli materialdan tayyorlangan bo‘lsa;

- issiqlik shovqinlari moddaning atom qurilishiga bog‘liq.

Mikroelektronikada qo‘llaniladigan yupqa metall qatlam va plonkalarining issiqlik shovqinlari, o‘tkazgich qatlamining o‘zgarimas temperaturasida, oqib o‘tayotgan tokning kattaligiga bog‘liq. Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, issiqlik shovqinining quvvat spektri juda keng bo‘lib hisoblanadi, ya‘ni, 10^{13} – 10^{14} Hz bo‘lgan chastotalar diapazonining yuqori chegaralarini egallaydi. Quvvat spektri yaxlit va yuqori chastotalargacha teng taqsimlangan. Issiqlik shovqini spektral jihatdan oq bo‘lib, ehtimollik bo‘yicha esa normal hisoblanadi. Endi shovqin kattaligiga qisqacha to‘xtalib o‘tamiz. Rezistorning issiqlik shovqinining kattaligi uchun, Neykvist tomonidan quyidagicha oddiy ifoda topilgan:

$$U^2_{\text{o.r.kv}} = 4kTRdf. \quad (9.6)$$

Boshqa ideal (shovqinsiz) qarshilikda ajralib chiqadigan shovqinning nominal quvvatini quyidagi mulohaza bilan, ya‘ni yuklanma qarshiligi shovqin manbasi bilan moslangan yoki manba va yuklanma qarshiligi orasida tenglik mavjud deb hisoblash mumkin. Ushbu holda

$$R_y = P_{\text{maks}} = U_{\text{o.r.kv}}^2 / 4R = kTdf,$$

nominal spektral quvvat:

$$S_n(f) = P_n/df = kT.$$

Oxirgi ifodadan ko‘rinib turibdiki, shovqinning nominal spektral zichligi qarshilikning kattaligiga bog‘liq emas va temperatura bilan aniqlanadi. Ushbu ifodada P – Bolsman doimiysi. Normal temperaturada $T_0 = 290^\circ K$ rezistorlar qarshiligi bo‘yicha shovqin intensivligi bir xil bo‘ladi va $kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ [W/Hz].

Ushbu sababga ko‘ra, shovqin intensivligini shovqin temperaturasi bilan xarakterlash qabul qilingan. Umumiy holda, rezistor qarshiligi chastotaning funksiyasi bo‘lishi mumkin, u holda issiqlik shovqinlari (9.7) ifodada hisoblanishi kerak.

$$U_{\text{o.r.kv}}^2 = 4kT \int_{f_1}^{f_2} R(f) df, \quad (9.7)$$

bu yerda: f_1 va f_2 – soha o‘tkazuvchanlik chastotasining yuqori va quyisi. Agar soha o‘tkazuvchanligida $R(f) = R = \text{const}$ bo‘lsa, ya’ni rezistor qarshiligi chastotaga bog‘liq bo‘lmasa, unda

$$U_{\text{o.r.kv}}^2 = 4kTR \int_{f_1}^{f_2} df = 4kTRP, \quad (9.8)$$

bu yerda: $P = f_2 - f_1$ – soha o‘tkazuvchanlik. Qachonki, soha o‘tkazuvchanlik chegaralari aniq aniqlanmagan bo‘lsa, unda integrallash noldan cheksizlikkacha bajarilishi kerak. Masalan, ichki aktiv qarshiligi $R(f)$ bo‘lgan signal manbayi yuklanma bilan to‘rtqutblik orqali ulansa va $u|K(f)|$ uzatish koeffitsiyentiga ega bo‘lsa, unda uning chiqishidagi kuchlanishning o‘rta kvadrati quyidagicha bo‘ladi:

$$U_{\text{o.r.kv}}^2 = 4kT \int_0^{\infty} R(f) |k(f)|^2 df.$$

Issiqlik shovqini kuchlanishining oʻrta kvadratik qiymatining ifodasi (9.6), termodinamik mulohazalar asosidagina olingan boʻlib, uni ixtiyoriy passiv qurilma va sistemaga qoʻllash mumkin. Ushbu holda qurilma yoki sistema issiqlik muvozanatida boʻlishi kerak, ularning elektr xarakteristikalari esa toʻliq (kompleksli) qarshiliklar bilan ifodalanishi lozim.

Masalan, (9.6) ifoda akustik sistemalar (mikrofon va boshqa oʻzgartkichlar), sezgir elektr oʻlchash asboblari, xususan, galvanometrlar, barcha antenna qurilmalari va boshqalarga qoʻllaniladi. Neykvist ifodasini eksperimental tekshirish shuni koʻrsatdiki, rezistorning issiqlik shovqinidan shovqin quvvatining va temperaturaning birlamchi etaloni sifatida foydalanish mumkin. Radioappaturalarni qurishda qoʻllaniladigan ugle-rodli turdagi va metallashtirilgan turdagi MLT, MLP va simsiz kompozitsion va plonkali real rezistorlar shovqinini (9.6) ifoda bilan hisoblab boʻlmaydi. Konstruksiya va tayyorlanish texnologiyasiga koʻra, ular issiqlik shovqinidan sezilarli darajada katta boʻlishi mumkin va bunda ularning rezistorda tushgan kuchlanish va undan oqib oʻtuvchi tokga kuchli bogʻliqligi kuzatiladi. Qattiq yarimoʻtkazgichli va plonkali rezistordagi shovqinning yuqori darajasi ularning strukturasi xususiyatlari va shunga bogʻliq holda, ular orqali tokning oʻtishi bilan tushuntiriladi. Ushbu xususiyatlari uchun simsiz rezistordagi shovqinlar «tok shovqinlari» deb nomlangan. Simsiz rezistor toʻliq qarshiligining oʻrta kvadratini issiqlik va qoʻshimcha shovqinlar kvadratlarining yigʻindisi sifatida keltirish mumkin:

$$U_{oʻr.kv}^2 = U_{oʻr.kv\ ish}^2 + U_{oʻr.kv\ q.sh}^2 \quad (9.9)$$

bu yerda: q.sh – qoʻshimcha shovqin koeffitsiyenti boʻlib, R qarshilikli simsiz qarshilikdagi shovqin xuddi shunday simli qarshilikdagi shovqindan qancha katta ekanligini koʻrsatadi.

Drobli shovqin deb nomlangan shovqin turi ham mavjud bo'lib, u elektrovakuum asboblari uchun xarakterlidir. Bundan tashqari, ushbu shovqin yarimo'tkazgich asboblari uchun ham o'rinlidir. Yarimo'tkazgichli diodlar shovqini ustida to'xtalib o'tamiz. Yarimo'tkazgichli diodlarning ular ishidagi shovqinlari to'g'ri tokli oddiy rejimda (va teskari tokli, ammo uncha katta bo'lmagan teskari kuchlanishlarda) ularni tashuvchi (eltuvchi) zaryadlar diskretligiga, ya'ni elektron va teshiklarga asoslangan. Birinchi sabab drobli shovqinning kelib chiqishiga olib kelib chastotaga teskari proporsional bo'lgan quvvatning spektral zichligining tushishi bilan xarakterlanadi. Shovqinning ikkinchi turi past chastotalarida ustunroq bo'ladi, asosan, 1000 Hz dan ortiq chastotalarda u keskin kamayadi va faqat drobli shovqin qoladi. Issiqlik shovqini yarimo'tkazgich asboblarda kam rol o'ynaydi, chunki yarimo'tkazgichlar tok eltuvchilarining va drator tezligining nisbatan katta bo'lgan harakatchanligiga ega (tashqi elektr maydon bo'lganda) bo'lganligi uchun tok eltuvchilarining issiqlik harakati tezligidan anchagina ko'proq bo'lishi mumkin. Ajablanarliki, ushbu holda Neykvist ifodasi tashqi tezashtiruvchi elektr maydon kattaligi bilan aniqlanadi. Ko'proq intensiv shovqinlar germaniyli $n-r$ o'tishda paydo bo'ladi.

Yarimo'tkazgichli diodlarning shovqin manbai sifatidagi umumiy kamchiligi – bu ularning o'zaro almashuvchan emasligidir. Ushbu talabni qanoatlantirish uchun diodlarni nisbiy shovqin temperaturasi va o'tishning ishchi toki bo'yicha individual tanlab olish kerak. Ma'lumki, yarimo'tkazgichli diodlarning afzalliklari bo'lib, kam iste'molli, mustahkamligi, kichik vazni va o'lchami hisoblanadi.

Kam bo'lgan birliklardan minglab megagerslargacha bo'lgan diapazonda tunnelli va ko'chkili rejimdagi yarimo'tkazgichli diodlarni shovqin diodlari va gazrazryadli naychalar o'rniga qo'llash afzalroqdir.

9.2. Shovqinning parametrlari va xarakteristiklari

Shovqinning yozilgan namunalari 9.6-rasmda keltirilgan. Elektr tebranishlarning namunalari $u_1(t), u_2(t), \dots, u_k(t)$ T davomiylikka teng bo'lib, ularning vaqt bo'yicha yurishi T intervalda ham bir namunadan ikkinchisiga takrorlanmaydi. Bir-biriga bog'liq bo'lmagan shovqin tebranishlarining namunalari tanlanuvchan funksiyalar deyiladi. Shovqin generatorlari misolida qaralganda bunday tasodifiy funksiyalar bo'lib shovqin kuchlanishi va toklar hisoblanadi. Shovqin kuchlanishining parametrlaridan biri bo'lib uning o'рта qiymati hisoblanadi va u quyidagi munosabatdan aniqlanishi mumkin:

$$U(t) = M [u(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt. \quad (9.10)$$

O'рта qiymatni xuddi shunday realizatsiyalar bo'yicha o'rtachalab topish mumkin. Buning uchun T intervalning teng davomiylikni qator uchastkalarga bo'lamiz. 9.6-rasmda – $t_1, t_2, t_3, \dots, t_m$.

Kvantlanish nuqtalaridagi ordinatalar qiymatlari birinchi realizatsiya uchun mos holda:

$$u_1(t_1), u_1(t_2), u_1(t_3), \dots, u_1(t_m).$$

Ikkinchi realizatsiya uchun:

$$u_2(t_1), u_2(t_2), u_2(t_3), \dots, u_2(t_m).$$

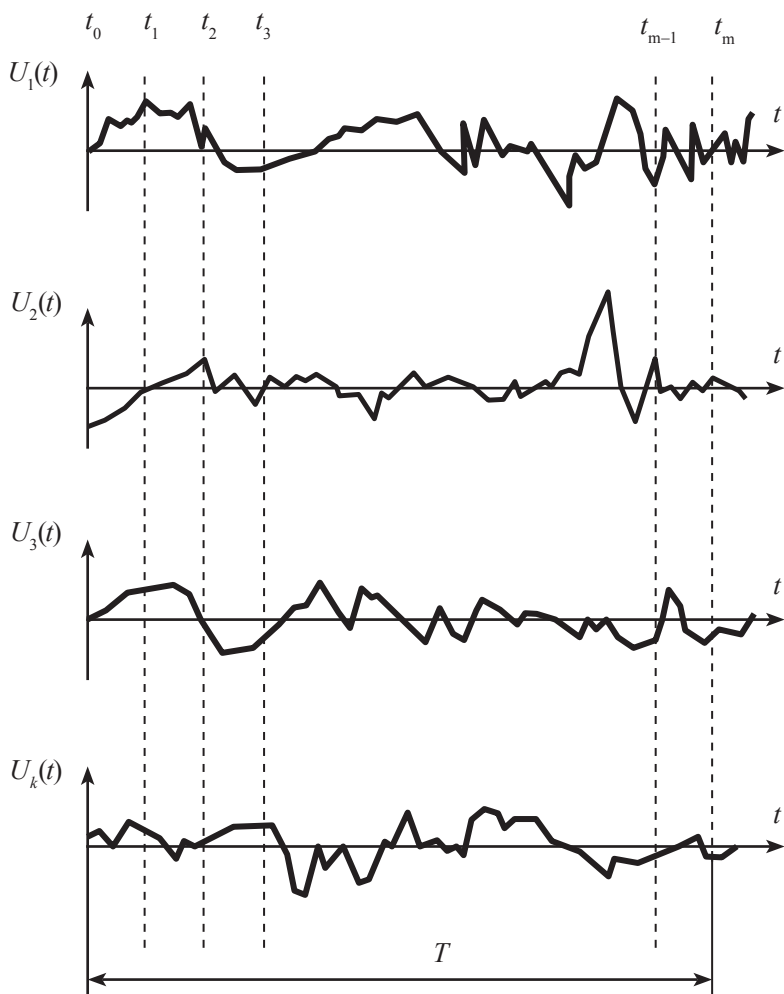
k realizatsiya uchun:

$$u_k(t_1), u_k(t_2), u_k(t_3), \dots, u_k(t_m).$$

Ansamblning barcha realizatsiyalari uchun o'rtacha teng:

$$U(t_1) = M \left[u_k(t_1)_{k_{\text{buy}}} \right] = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n u_k / t_1,$$

o'рта qiymat k ga bog'liq emas, chunki o'rtachalash k bo'yicha $t=t_1$ vaqt momenti uchun bajariladi. Xuddi shunday qilib, t_2, t_3, \dots ,



9.6-rasm. Shovqin tebranishlarining namunalari.

t_m uchun yozish mumkin. Umumiy holda $U(t_i)$ tanlangan t_i vaqt momentining funksiyasi bo'lib hisoblanadi. Ammo, ko'pchilik hollarda, masalan, zaryad eltuvchilarning issiqlik harakatida, o'rtacha qiymat vaqtga bog'liq emas. Bunday tasodifiy funksiyalar statsionar funksiyalar deyiladi. Amalda shovqinni statsionar deb hisoblanishi uchun shovqin paydo qiluvchi ho-

disaning amalga oshishidagi tashqi sharoitlar kuzatishning $u(t)$ barcha vaqti davomida o'zgarmas bo'lib qolishi, o'tish jarayonining so'nishi uchun yetarli bo'lgan vaqt oralig'ini unga qo'shish yetarli bo'ladi. Statsionar shovqinning vaqt bo'yicha statistik birjinsligi realizatsiyalar bo'yicha o'rtachalash ham vaqt bo'yicha o'rtachalash natijasidek natija beradi deyilishiga imkon beradi. Shovqin tokining vaqtning yetarlicha davomli intervalidagi o'rta qiymati:

$$I_0 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \text{const.} \quad (9.11)$$

$T \rightarrow \infty$ bo'lganda, baho yoki statistik o'rtacha ehtimollik bo'yicha shovqin funksiyasining o'rta qiymatiga mos keladi. Shunday qilib, shovqin toki $i(t)$ yoki kuchlanish $U(t)$ bo'yicha bitta realizatsiya bo'yicha o'rta qiymat bahosi mos ravishda teng bo'ladi:

$$\tilde{I}_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt, \quad (9.12)$$

$$\tilde{U}_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt. \quad (9.13)$$

Shovqin funksiyasining o'rta qiymati – o'zgarmas doimiy son bo'lib, uning doimiy tashkil etuvchisini xarakterlaydi. Shovqin funksiyasining o'rta qiymati, odatda, tok bo'yicha ampermetr bilan, kuchlanish bo'yicha o'zgarmas tok voltmetr bilan o'lchanishi mumkin.

Navbatdagi zarur o'rta qiymat – bu shovqin funksiyasining o'rta kvadrati bo'lib, tok uchun quyidagiga teng:

$$\bar{I}^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt, \quad (9.14)$$

kuchlanish uchun

$$\bar{U}^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt. \quad (9.15)$$

Shovqinning o'rtqa kvadrati – bu doimiy son. Agar tokning o'rtqa kvadrati zanjirning (R) qarshiligiga ko'paytirilsa, ko'paytma shovqinning to'liq o'rtqa kvadratini beradi:

$$P_t = I^2 R.$$

Agar shovqinning to'liq o'rtqa quvvatidan R_0 doimiy tashkil etuvchining quvvati ayirib tashlansa, qoldiq \tilde{P} shovqin funksiyasining o'zgaruvchan tashkil etuvchilarining quvvatiga teng bo'ladi:

$$\tilde{P} = P_t - P_o.$$

Soddalashtirish maqsadlarida shovqin funksiyasi doimiy tashkil etuvchiga ega emas, deb hisoblanadi.

Shovqinning o'zgaruvchan tashkil etuvchilari tokning o'rtqa kvadratik qiymati bilan o'lchanadi:

$$I_{\text{ort.kv}} = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}. \quad (9.16)$$

Kuchlanishning o'rtqa kvadratik qiymati:

$$U_{\text{ort.kv}} = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (9.17)$$

9.3. Shovqin koefitsiyenti va uni o'lchash

Chastotani o'tkazish sohasi o'zgarimas bo'lgan chiziqli to'rtqutbli uchun shovqin koefitsiyenti (K_{sh}) quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{\text{sh}} = \frac{P_{\text{s.kir}} / P_{\text{s.kir}}}{P_{\text{s.chiq}} / P_{\text{s.chiq}}} = \frac{P_{\text{s.kir}}}{P_{\text{s.chiq}}} \cdot \frac{P_{\text{sh.chiq}}}{P_{\text{sh.kir}}} = \frac{1}{G} \cdot \frac{P_{\text{sh.chiq}}}{P_{\text{sh.kir}}}, \quad (9.18)$$

bu yerda: P_s/P_{sh} – signal quvvatining shovqin quvvatiga nisbati;
 $G = P_{s.chiq}/P_{s.kir}$ – to‘rtqutblining quvvat bo‘yicha uzatish koef-
 fitsiyenti.

Kirishi shovqinning rezistiv manbayiga ulangan to‘rtqutbli uchun (9.18) ifodani

$$P_{sh} = \frac{U_{sh}^2}{4R} = kT\Delta f$$

ifodani hisobga olingan holda quyidagi ko‘rinishga ifodalash mumkin bo‘ladi:

$$K_{sh} = (1/G)(P_{sh.chiq}/kT_0\Delta f),$$

bu yerda: $T_0 = 290^\circ \text{ K}$ (17° C) – normal temperatura. Bundan chiqishdagi shovqinning umumiy quvvatini aniqlash mumkin:

$$P_{sh.chiq} = K_{sh} G k T_0 \Delta f, \quad (9.19)$$

u ikkita qo‘shiluvchidan tashkil topgan.

$P_{sh.xus}$ – to‘rtqutbli xususiy shovqinlarning quvvati va $P_{sh.m}$ – shovqin manbayi hisobidagi quvvat.

Shunga ko‘ra to‘rtqutblining xususiy shovqini $P_{sh.xus}$ ushbu farq bilan aniqlanadi:

$$P_{sh.x} = P_{sh.chiq} - P_{sh.m} = K_{sh} G k T_0 \Delta f - G k T_0 \Delta f = (K_{sh} - 1) G k T_0 \Delta f.$$

Agar, to‘rtqutbli kirishiga P_s berilsa, unda P_{chiq} chiqishdagi umumiy quvvat signal va shovqin quvvatlariga teng bo‘ladi va quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$P_{chiq} = G P_s + K_{sh} G k T_0 \Delta f. \quad (9.20)$$

Signal ulanganda chiqish quvvati ikkilanadi, deb hisoblaydigan bo‘lsak, unda (9.20) ifodadagi qo‘shiluvchilar bir-biriga teng bo‘lib qoladi:

$$G P_s = K_{sh} G k T_0 \Delta f$$

va shovqin koefitsiyenti

$$K_{\text{sh}} = \frac{P_s}{kT_0 \Delta f}.$$

Ushbu ifoda $T_0 = 290^\circ \text{K}$ bo'lgan normal temperaturada chiziqli to'rtqutblilarning shovqin koefitsiyentini o'lchashning oddiy usuli uchun asosiy hisoblanadi.

Ushbu usul quvvatni ikkilantirish usuli deyiladi. Shovqin koefitsiyentini ushbu usulda o'lchash o'z ichiga yana ikkita usulni oladi:

- sinusoidal signallar generatori yordamida;
- shovqin generatori yordamida o'lchash.

9.4. Shovqin generatorlarining ish tamoyillari

9.4.1. Shovqin generatorlarining tasniflanishiga oid ma'lumotlar tahlili

Shovqin generatorlarining sinflarga bo'linishi asosida tasodifiy signallarning turli xarakteristikalari yotadi. Signal shakllariga ko'ra shovqin generatorlari ikkita sinfga bo'linadi: uzluksiz (analog) tasodifiy signallar va diskret (impulsi) tasodifiy signallarning generatorlari. Chastotaviy diapazoni bo'yicha generatorlar quyidagi guruhlariga bo'linadi: infrapast chastotali, past chastotali, videochastotali va o'ta yuqori chastotali. Generatsiyalanadigan chastotalarning soha kengligi bo'yicha, tor sohali (o'rta chastota, chastotalar spektri kengligidan sezilarli katta) va keng sohali shovqin generatorlari.

Agar ekspluatatsiyada taqsimot qonuni hal qiluvchi bo'lsa, u holda generatorlarni qonunga muvofiq quyidagicha tasniflash kerak:

- normal yoki gauss shovqini generatorlariga. Bunday generatorlarda shovqin tebranishining oniy qiymati vaqtning har

bir berilgan momentida normal yoki gauss qonuni bo'yicha taqsimlangan bo'ladi:

– Releyev shovqini generatorlari, ularda chiqish kuchlanishi oniy qiymatlarining fluktuatsiyalari Releyevning taqsimot qonuniga taalluqli bo'ladi.

Shovqin signallarining generatorlari konstruksiyasi jihatidan sodda, chunki ularda tebranish konturlari va sozlash organlari yo'q.

Past chastotali generatorlarda shovqin manbasi sifatida gaz to'ldirilgan maxsus shovqin diodidan va fotoelektrik ko'paytirgichlardan foydalaniladi. Shovqin diodidan foydalanilganda 20 Hz–20 kHz chastotalar diapazoni ta'minlanadi, chiqish quvvati 3 VT gacha bo'ladi. Fotoko'paytirgichlardan foydalanilganda 15 Hz–6,5 MHz chastotalar diapazoni chiqish kuchlanishi 1 V gacha bo'lganda ta'minlanadi.

Yuqori chastotali generatorlarda shovqin manbai sifatida juda kichik o'lchamli vakuumli diod qo'llaniladi. Ushbu diod to'yinish rejimida ishlaydi.

O'ta yuqori chastotali signallarning shovqin generatorlarida shovqin manbalari bo'lib shovqinlovchi rezistorlar va gazozarziyadli naychalar hisoblanadi. Shovqin beruvchi rezistorlar ma'lum temperaturagacha qizdiriladi, shuning uchun rezistorlarda ishlovchi generatorlar issiqlik generatorlari deyiladi. Ushbu generator rezistordan, termostatdan, doimiy temperaturani ta'minlovchi avtomatik qurilma va uzatish liniyasidan tashkil topgan.

Shovqin signallarining generatorlari radiopriyomnik va kuchaytirish qurilmalarini tadqiq qilishda fluktuatsion xalaqitlarning imitatori sifatida, maydon kuchlanganligini yoki yerdan tashqarida kelib chiqadigan shovqinlarni o'lchashda kabelli va radioreleli aloqa liniyalarida, akustik va boshqa tadqiqotlarda to'liq signal imitatori sifatida qo'llaniladi. Issiqlik generatorlari shovqin quvvatining yoki shovqin haroratining etaloni bo'lib

hisoblanadi va kamshovqinli kuchaytirgichlar temperaturasini o'lchashda, boshqa turdagi shovqin generatorlarini va kuchsiz signal o'lchagichlarini kalibrlashda, shovqin ko'effitsiyentini radioastronomik o'lchashlarda foydalaniladi.

9.4.2. Shovqin generatorlarining ish tamoyillarini tahlil qilish

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 holatlari-dagi chiqish qarshiligi (odatda, ularning teng bo'lishi talab qilinadi, masalan, shovqin ko'effitsiyentini o'lchashda);
- chiqish qarshiligini o'rnatilgan chegaralarda rostdash imkoniyati, chunki bu talab ko'paytirgich shovqinining va boshqa to'rtqutblilarning minimal ko'effitsiyentini o'lchash uchun belgilangan;
- shovqin darajasini rostdash chegaralari;
- atrof-muhit sharoitlarining (temperatura, namlik va h.k.) o'zgarishidagi shovqin darajasining barqarorlik normasi;
- o'rnatilgan chiqish qarshiligidagi shovqin darajasining kalibrlash xatoligi normasi.

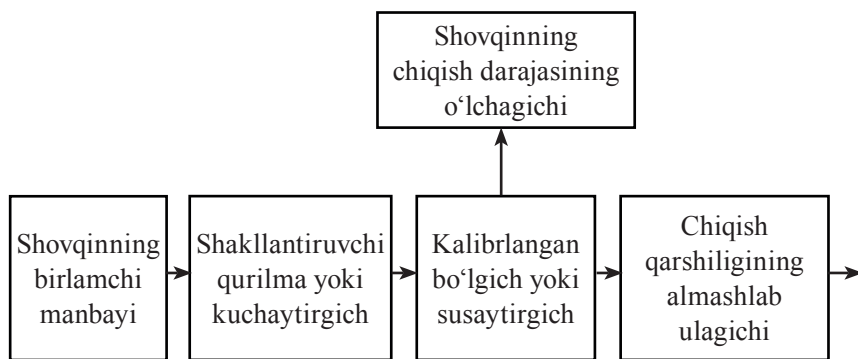
Yuqorida keltirilgan texnik talablarning bajarilishiga oid qisqacha ma'lumotlarni keltiramiz. Shovqinning zaruriy darajasini har doim ham olish mumkin, masalan, chiziqli kuchaytirgich bilan. Amaliyotda uch yoki besh kaskadli kuchaytirgichlar

o'lchash texnikasining talablarini ta'minlaydi. Ko'plab manbalar oniy qiymatlarning normal taqsimot qonunlari asosida shovqinlar beradi, ular, bundan 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 impulslarning xaotik ketma-ketligini generatsiyalashi mumkin. Shovqin oniy qiymatlarining boshqa taqsimot qonunlariga ega bo'lish uchun noxiziqli o'zgartirishlariga murojaat qilinishini taqozo etadi.

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 manbayini barqarorlashtirish zarur bo'ladi. O'rnatilgan chiqish qarshiliklarida shovqin darajasini kalibrblash xatoliklarining 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 zichlikda keng sohali shovqin ishlab berishi va shovqinning chiqish parametrlarining o'zgarmasligi (o'rta quvvatni va oniy qiymatlarining taqsimot qonunlarini), chiqish quvvatini rostlash va nazorat qilish imkoniyatining mavjudligi talab qilinadi. Sxematik jihatdan qaralsa, shovqin generatorlari 9.7-rasmda keltirilgan blok sxemaga mos keladi. Shovqinning birlamchi manbalari bo'lib turli gazorazryadli elementlar hisoblanadi, chunki ular chastotalarning yetarlicha keng sohasida shovqinning yuqori darajasiga ega bo'ladi. Shakllantiruvchi qurilma yordamida zaruriy chastotalar spektri ajratib olinadi yoki shovqinning bir turini boshqa shovqin turiga

o'zgartirish amalga oshiriladi, masalan, tor sohali normal shovqin Releyev shovqiniga almashtiriladi. Ushbu maqsadlarda filtrlardan, nochiziqli asboblardan 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 manbayining to'liq chiqish qarshiligiga bog'liq. Bu qarshilikning ayrim qiymatlarida shovqin koeffitsiyenti minimal qiymatga ega bo'ladi. Kuchaytirgichlar, chastota o'zgartirgichlar va boshqa qurilmalarni shovqinning minimal koeffitsiyenti bo'yicha solishtirish uchun signal manbayining chiqish qarshiligini o'zgartirish imkoniyati bo'lishi zarur.



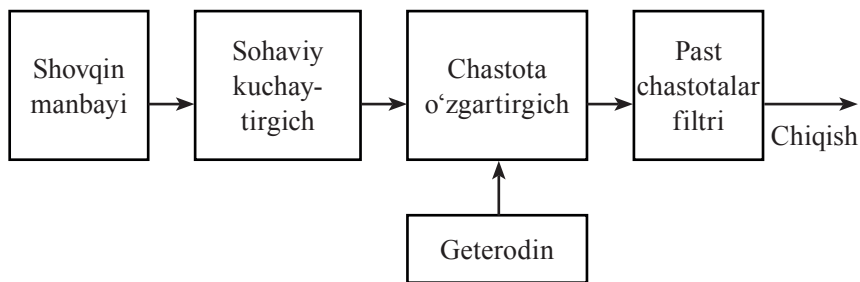
9.7-rasm. Shovqin generatorining blok sxemasi.

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 manbaning shovqinini bevosita kuchaytirish sxemasi asosida

qurilib, turli qo'shimcha quyi va yuqori chastotalarni o'tkazuvchi filtrlar va zanjirlar bilan to'ldirilgan bo'ladi. Generatorning funktsional sxemasi 9.8-rasmda tasvirlangan. Shakllantiruvchi filtrlar chastotaviy xarakteristikalarining shaklini, birlamchi manba (uning notekisligini korreksiyalash maqsadlarida) shovqin quvati 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 nolinci chastotalar sohasiga o'tkaziladi, keyin, filtrlar va kuchaytirgichlar tizimlari bilan berilgan videoshovqin spektri shakllantiriladi. Tasniflanishiga ko'ra past chastota va infrapast chastotali normal shovqin generatorlari texnikada keng qo'llaniladi. Ko'pincha, generator noldan 10–20 Hz gacha bo'lgan chastota diapazonida tekis spektr bo'lishi kerak. Infra va past chastotali 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;

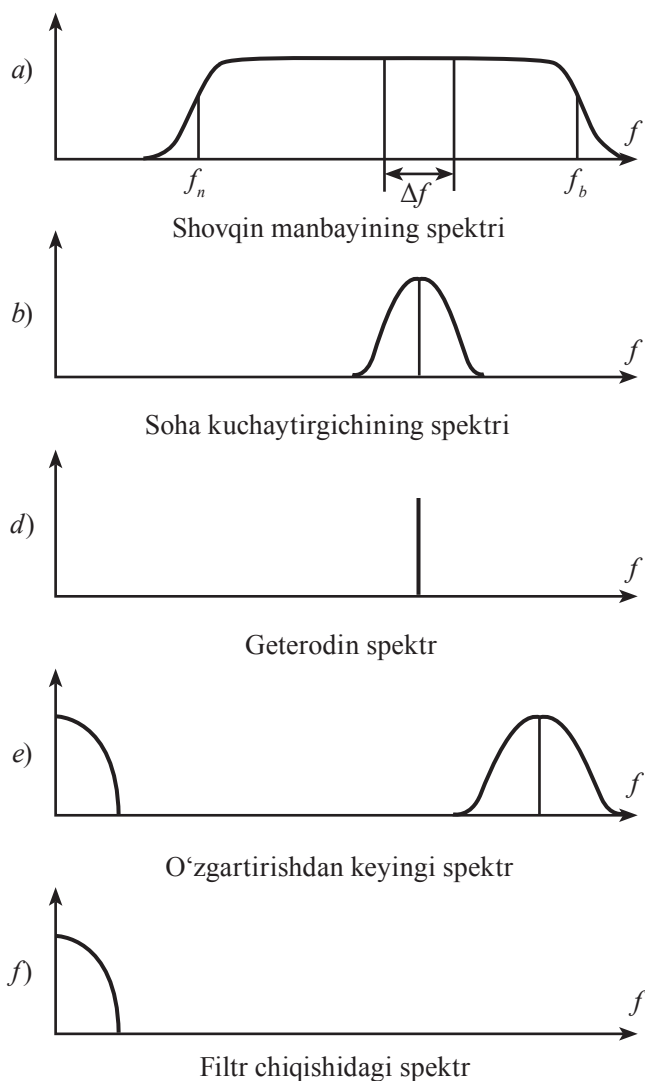


9.8-rasm. Videoshovqin generatorining sxemasi.

- keng sohali shovqinni nochiziqli o'zgartirish usuli bilan shovqin spektrini o'zgartirish;
- shovqinning boshqa turlarini kombinatsiyalash.

Ko'proq tarqalgan usul geterodinlash usulidir. Ish mohiyati 9.8-rasmda tushuntirilgan. Shovqinning keng sohali manbasi tekis spektral zichlikka ega bo'lgan geterodinlashtiriladigan 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. Bundan tashqari, sohaviy kuchaytirgich kuchaytirgichning soha o'tkazmaydigan qismida yotgan tashkil etuvchilarni filtrlash uchun zarur. Bunda kuchaytiriladigan shovqinlarning spektral xarakteristikasi tekis bo'lishi kerak. Geterodin chastotasi shunday tanlanadiki, ushbu holda, shovqin spektri nolga yaqin bo'lgan chastotalar sohasiga o'tkazishni ta'minlanishi kerakligi 9.9-rasmda ko'rsatilgan. Chastota o'zgartkichi nochiziqli qurilma 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 nolinch chastota yaqinida, qolganlari esa markaziy chastotaga karrali. Nolinch chastotalar sohasiga tushib qolgan shovqinning tashkil etuvchilarini ajratish maqsad bo'lib hisoblanadi. Buning uchun chastota o'zgartkichning chiqishidagi shovqin past chastota 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.

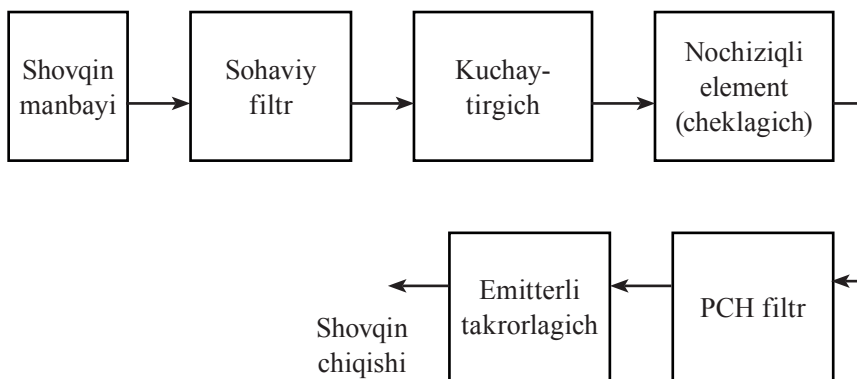


9.9-rasm. Past va infrapast chastotali shovqin generatorlari qurilmalarining spektrlari.

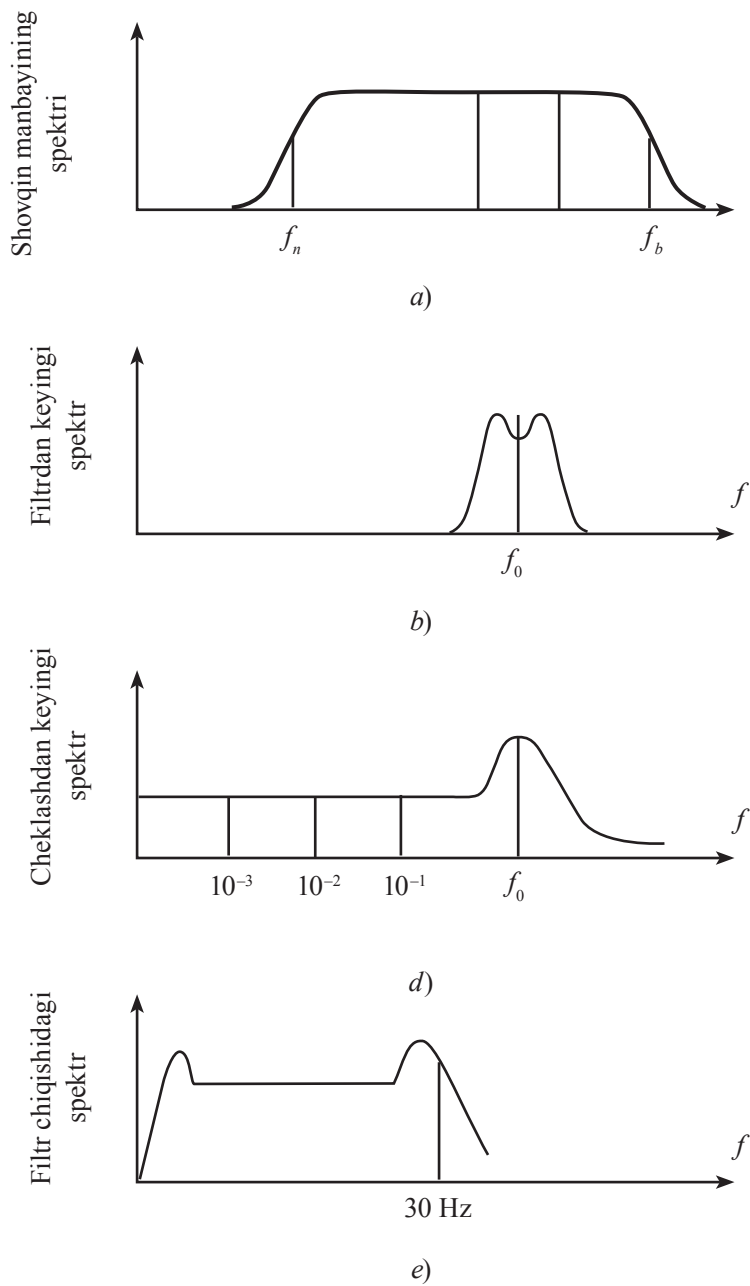
Past chastotali shovqinni generatsiyalash uchun chastota o'zgartkichidan tashqari boshqa shovqin spektrini o'zgartiruvchi qurilmalarni qo'llash mumkin. Bunday qurilma cheklagich bo'li-

shu mumkin. Shovqin, juda ko'p sonli turli chastotali va tasodifiy, fazali kichik sinusoidal tebranishlar yig'indisi sifatida qaraladi. Shovqin chegaralanganda cheklagich chiqishida spektr boyiydi, natijada, spektri nolinchii chastotalar sohasida va kirish chastotasi va spektriga karrali bo'lgan sohalarda shovqinlar paydo bo'ladi. Past chastotali shovqin olish uchun nolinchii chastota atrofidagi spektral sohadan foydalaniladi.

Shovqin quvvatining spektral zichligi berilgan chastotalar sohasida tekis bo'lgani uchun tepkilar quvvatining spektral zichligi chastotalarning nolinchigacha bo'lgan keng sohasida xuddi shunday tekis bo'ladi. Spektrini nohiziqilik bilan o'zgartiruvchi shovqin generatorining sxemasi 9.10-rasmda, mos diagrammalar 9.11-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 nohiziqili elementga soha filtridan o'tgan va o'zining tarkibida 200–350 Hz diapazonda tashkil etuvchilariga ega bo'lgan shovqin kuchlanishi beriladi.



9.10-rasm. Shovqin generatorining funksional sxemasi.



9.11-rasm. Shovqin generatorining spektral diagrammalari.

Past chastotalar filtrining chiqishida 0–30 Hz sohada normal spektral zichlikka ega boʻlgan shovqin kuchlanishi olinadi. Agarda ushbu holda, cheklagichga shunday kattalikdagi kuchlanish berilsaki, uning oʻrta kvadratik qiymati oʻrnatilgan cheklanish ostonasidan bir necha marta ortib ketsa, unda tor sohali shovqin quvvati oʻzgarmaydi, yaʼni, shovqinning olingan kuchlanishi, agar kirishdagi shovqin darajasi katta boʻlmagan chegaralarda oʻzgarsa ham, statsionar boʻladi. Amaliyotda tavsiflangan shovqin generatori kuchaytirgichlarning soni va sozlanishi boʻyicha spektrni geterodinlashtiruvchi shovqin manbayi kabi boʻladi. Past va infraqizil chastotalar sohasidagi normal shovqinni, bundan tashqari, shovqin kuchlanishini boshqa taqsimot qonunlari bilan kombinatsiyalab olish mumkin. Masalan, ikkita Releyev shovqinining yigʻindisi normal shovqinga juda yaqin boʻladi.

Nazorat savollari

1. Radiotexnik shovqin turlarining tasniflanishni bayon eting.
2. Keng sohali shovqinlar deb qanday shovqinlarga aytiladi?
3. Normal yoki gauss shovqinini tushuntiring.
4. Releyev shovqini qanday shovqin?
5. Logarifmik normal shovqinni tavsiflang.
6. Impulsi xaotik yoki Puasson shovqinlari toʻgʻrisida tushunga bering.
7. Amplitudalar taqsimotining teng ehtimolli qonunili shovqinlar qanday paydo boʻladi?
8. Issiqlik shovqini qanday yuzaga keladi?

10-BOB.
RADIOTEXNIK O'LCHOVLARGA DOIR
MASALALAR TO'PLAMI

10.1. Elektr kattaliklarning birliklari

Radiotexnik o'lchovlarning asosiy tushunchalaridan biri fizik kattaliklarning birliklaridir.

O'lchash jarayonida o'lchanayotgan kattalik shunday fizik kattalik bilan taqqoslanadiki, unga birga teng bo'lgan qiymat beriladi va u fizik kattalik birligi yoki o'lchov birligi deyiladi.

Fizik kattaliklarning birliklari «Xalqaro Birliklar Sistemasi» asosida guruhlanadi.

Radioo'lchovlarda asosan elektr va magnit fizik kattaliklardan foydalaniladi.

1961-yil yanvardan «Xalqaro Birliklar Sistemasi» qabul qilingan. U SI deb yuritiladi va 7 ta fizik kattalikdan iborat. Ular quyidagilar:

1. Vaqt – [s], sekund;
2. Uzunlik – [m], metr;
3. O'g'irlik – [kg], kilogramm;
4. Modda miqdori – [mol], mol;
5. Yorug'lik miqdori – [cd], kandela;
6. Elektr tokining kuchi – [A], amper;
7. Termodinamik temperatura – [K], kelvin.

2 ta qo‘shimcha birlikka ham ega:

1. Yassi burchak – [rad], radian;
2. Fazoviy burchak – [sr], steradian.

SI asosiy birliklaridan fizik ifodalar yordamida hosil qilingan qo‘shimcha birliklar hosilaviy birliklar deyiladi:

1. Elektr zaryad miqdori – [Kl], kulon;
2. Elektr kuchlanishi – [V], volt;
3. Elektr qarshiligi – [Ω], om;
4. O‘zaro induktivlik – [H], genri;
5. Magnit induksiyasi – [Tl], tesla;
6. Magnit oqimi – [Wb], veber;
7. Quvvat – [W], vatt;
8. Ish, energiya, issiqlik miqdori – [J], joul.

10.2. Karrali va ulushli birliklarni hosil qiluvchi old qo‘shimchalar

$$T[\text{tera}] = 10^{12}$$

$$G[\text{giga}] = 10^9$$

$$M[\text{mega}] = 10^6 \quad K > 0 - \text{karrali}$$

$$K[\text{kilo}] = 10^3$$

$$G[\text{gekto}] = 10^2$$

$$d[\text{detsi}] = 10^{-1}$$

$$s[\text{santi}] = 10^{-2}$$

$$m[\text{milli}] = 10^{-3}$$

$$\mu[\text{mikro}] = 10^{-6} \quad K < 0 - \text{ulushli}$$

$$n[\text{nano}] = 10^{-9}$$

$$p[\text{piko}] = 10^{-12}$$

Masalalar

- 1.1. Keltirilgan fizik kattaliklarning qiymatlarini karrali va ulushli birliklar ko'inishida ifodalang.
- 1.2. $0,008V$; $0,31 \cdot 10^{-4}F$; $0,15 \cdot 10^{10}Hz$; $18 \cdot 10^{-8}S$; $0,03 \cdot 10^{-7}A$.
- 1.3. $0,00000038H$; $0,05 \cdot 10^5V$; $0,8 \cdot 10^{-11}W$; $20 \cdot 10^5 \Omega$; $0,0000005 S$.
- 1.4. $2720000W$; $0,000025A$; 11500000Ω ; $1200Hz$; $0,00007 F$.
- 1.5. $0,05 \cdot 10^5W$; $4 \cdot 10^{-8}A$; $13 \cdot 10^7 \Omega$; $0,00000018 F$; $0,00000001 H$.
- 1.6. 38200000Ω ; $14300000 Hz$; $0,007 A$; $0,0000000025 F$; $0,00000008 S$.
- 1.7. $0,01 \cdot 10^7 V$; $35 \cdot 10^{-8} F$; $2 \cdot 10^{-4} A$; $0,1 \cdot 10^8 \Omega$; $0,000005 S$.
- 1.8. $12 \cdot 10^{-7} F$; $120 \cdot 10^5 \Omega$; $0,0000003 S$; $0,00000222 V$; $3 \cdot 10^{-4} H$.
- 1.9. $0,008 V$; $0,31 \cdot 10^{-4} F$; $0,15 \cdot 10^{10} Hz$; $18 \cdot 10^{-8} S$; $0,03 \cdot 10^{-7} A$.
- 1.10. $2 \cdot 10^{-8} A$; $12 \cdot 10^{-12} H$; $138 \cdot 10^8 \Omega$; $0,5 \cdot 10^{-5} W$; $0,0000000001 S$.
- 1.11. $0,00090749 F$; $0,0000848 \cdot 10^{10} V$; $1,2 \cdot 10^{-7} A$; $8 \cdot 10^8 \Omega$; $10^6 \Omega$.
- 1.12. Keltirilgan o'Ichamning karrali va ulushli birliklarini asosiy birliklarda ifodalang.
- 1.13. $50 \mu A$; $10 pF$; $1 m \Omega$; $0,05 mW$; $16 \mu S$.
- 1.14. $55 k \Omega$; $120 mH$; $40 \mu S$; $0,5 mV$; $10 pW$.
- 1.15. $33,2 kHz$; $1,73 mW$; $37 \mu S$; $27 \mu A$; $8,1 mV$.
- 1.16. $23 \mu S$; $18 k\Omega$; $1,4 mV$; $2700 mW$; $3,71 mHz$.
- 1.17. $5 k\Omega$; $120 mHz$; $40 \mu S$; $0,5 mV$; $10 kW$.
- 1.18. $U=0,5 V$ kuchlanish qiymatini millivolt (mV) va mikro-voltlarda (μV) ifodalang.
- 1.19. $S=25 nF$ sig'im qiymatini mikrofarad (μF), pikofarad (pF) va faradlarda (F) ifodalang.
- 1.20. Kuchlanishni voltlarda keltiring.

- 1.21. a) $U=6,3$ mV; b) $U=47$ μ V.
1.22. Vaqtni millisekund (mS) va mikrosekundlarda (μ S) ifodalang.
1.23. $t=0,15$ C.
1.24. Chastotani gers (Hz) va megagerslarda (mHz) ifodalang.
1.25. $f=40$ kHz.

10.3. Radiotexnik o'lashlarda uzatish darajalarini baholash

Radiotexnik o'lashlarda sistemaga kirmagan logarifmik birliklardan keng foydalaniladi.

Logarifmik birliklardan foydalanib, quvvat, kuchlanish va tok bo'yicha uzatish darajalari aniqlanadi va baholanadi.

Tizimdan tashqari bo'lgan bunday birliklar aloqa texnikasida ko'p qo'llaniladi. Bu birliklardan to'rtqutblilarning uzatish parametrlari, xalaqitlarni miqdoran baholashda, nohiziqli buzilishlar, shovqin, uzatish traktining moslik darajasini aniqlashda va uzatish tizimlarining darajalar diagrammasini qurishda foydalaniladi. 1970-yildan boshlab yagona logarifmik birlik Aleksandr Bell – telefon ixtirochisining sharafiga «Bell» kiritildi, amalda boshqa logarifmik birlik «Neper» ham ishlatiladi (ГОСТ 24204-80).

Ular orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB},$$

$$1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np}.$$

Uzatish darajasi R bilan belgilanadi va uning yordamida «Nep» va «dB» larda kuchlanish, tok va quvvat baholanadi. O'lashning absolut, nisbiy va o'lash darajalari mavjud.

«Normal» generator deb nomlangan kichik quvvatli uzatkich mavjud bo'lib, u quyidagi parametrlarga ega:

$$f=800 \text{ Hz};$$

$$P_0=0 \text{ Np}; \quad P=1 \text{ mW};$$

$$R_0=600 \text{ } \Omega; \quad \text{EYK}=1,55 \text{ V}.$$

P_0 – absolut nol inchi daraja. Bu daraja 1 mW aktiv quvvat uchun qabul qilingan.

Quvvatning absolut nol inchi darajasi P_0 , kuchlanish U_0 va tokning I_0 absolut nol inchi darajasi bilan R_0 qarshilikning standart normalangan qiymati orqali bog‘langan:

$$P_0 = U_0 \cdot J_0 = \frac{U_0^2}{R_0} = J_0^2 \cdot R_0.$$

Agar $P_0=1 \text{ mW}$ va $R_0 \approx 600 \text{ } \Omega$ bo‘lsa, kuchlanish bo‘yicha absolut nol inchi daraja: $U_0=0,775 \text{ V}$ va tok bo‘yicha absolut nol inchi daraja: $I_0=1,29 \text{ A}$ bo‘ladi. Masalan,

$$U_0 = \sqrt{R_0 \cdot P_0} = \sqrt{600 \cdot 1} = 0,775 \text{ B}.$$

Kuchlanish, tok va quvvatning absolut uzatish darajasi, absolut nol daraja hisobga olingan holda (dB), quyidagi ifodalar yordamida aniqlanadi.

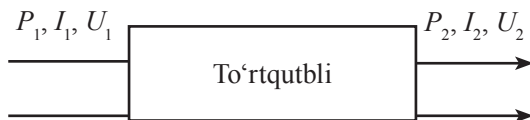
$$1 \text{ Bell} = \lg P_1/P_2 = 2 \lg F_1/F_2; [1\text{B} = 10 \text{ dB}],$$

bu yerda: P_1, P_2 – energetik kattalik (quvvat);

F_1, F_2 – kuch kattaliklari (kuchlanish, tok kuchi);

$$R_k = 10 \lg P_x/P_0; [\text{dB}], P_1 = 20 \lg I_x/I_0; [\text{dB}], P_U = 20 U_x/U_0; [\text{dB}].$$

Uzatishning nisbiy darajasi deganda ikkita bir ismli kattalikning nisbatini logarifmlash tushuniladi. Bu kattaliklarning biri to‘rtqutblining kirishida bo‘lsa, ikkinchisi uning chiqishida bo‘ladi.



$R_k = 10 \lg P_2/P_1$; [dB]; $P_k = 20 \lg U_2/U_1$; [dB]; $R_t = 20 \lg I_2/I_1$; [dB].

Masalalar

- 1.2.1. 10 mW va 2000 mW quvvatlar uchun quvvat bo'yicha absolut darajani aniqlang.
- 1.2.2. 1000 Ω rezistordan ajralib chiqadigan 1 pW quvvat uchun kuchlanish bo'yicha absolut daraja topilsin.
- 1.2.3. Qanday holda quvvat bo'yicha absolut daraja tok va kuchlanish bo'yicha absolut darajalarga teng bo'lishini isbotlang.
- 1.2.4. Agar o'lchanayotgan nuqtada $R_x = 150 \Omega$ va $R_0 = 600 \Omega$ bo'lsa, 1W quvvat uchun tokning absolut darajasi aniqlansin.
- 1.2.5. Tizimning o'lchanayotgan nuqtadagi qarshiligi 100 Ω va qarshilikning direktiv qiymati 1000 Ω bo'lsa, 1 mW quvvat uchun kuchlanish bo'yicha absolut daraja topilsin.
- 1.2.6. 150 Ω qarshiligi rezistordan ajralgan 1pW quvvat uchun kuchlanish bo'yicha absolut daraja aniqlansin.
- 1.2.7. $R_0 = 175 \Omega$ qarshilik uchun tok va kuchlanish darajasining nolinch qiymati aniqlansin.
- 1.2.8. 600 Ω rezistordan ajralgan 1 W quvvat uchun kuchlanish bo'yicha absolut daraja topilsin.
- 1.2.9. 1 pW va 1 W quvvatlar uchun quvvat bo'yicha absolut daraja topilsin.

- 1.2.10. To'rtqutblining kirishida $I_{\text{kir}} = 1 \text{ mA}$, chiqishida $I_{\text{chiq}} = 0,1 \text{ A}$. Uzatish koeffitsiyentini nisbiy logarifmik birliklarda aniqlang.
- 1.2.11. Agar kuchlanish bo'yicha nisbiy daraja 160 dB bo'lsa, to'rtqutblining chiqishidagi kuchayishi necha marta ortganini aniqlang.
- 1.2.12. Kuchaytirgich kirishidagi kuchlanish $U_1 = 100 \text{ mV}$, chiqishida 100 V. Kuchlanish bo'yicha kuchaytirish detsibel-larda qanchaga teng?
- 1.2.13. Kuchlanish bo'yicha kuchaytirgichning kirishidagi kuchlanish $U_1 = 12 \text{ mV}$, chiqishida $U_2 = 30 \text{ V}$. Agar kuchaytirgichning kirish qarshiligi va uning chiqishidagi qarshiligi teng bo'lsa, quvvat bo'yicha kuchaytirish detsibellarda qancha bo'ladi?
- 1.2.14. Kuchaytirgichning kirishidagi kuchlanish $U_1 = 1000 \text{ }\mu\text{V}$, chiqishidagi kuchlanish $U_2 = 1 \text{ V}$ bo'lsa, detsibellarda kuchlanish bo'yicha kuchaytirish qanday bo'ladi?
- 1.2.15. $R_0 = 135 \text{ }\Omega$ qarshilik uchun tok va kuchlanish darajasining nolinchi qiymati aniqlansin.

10.4. Radiotexnik o'lchash asboblarning metrologik tavsiflari va ish tamoyillari

Radiotexnik o'lchash asboblari quyidagicha tavsiflanadi: o'lchash diapazoni, xatoligi, sezgirligi, o'lchanayotgan kattalik manbayidan oladigan quvvati, ko'rsatkichlarning ta'sir etuvchi kattaliklarga bog'liqligi (o'rab turgan muhit temperaturasi, egri-ning shakli hamda o'lchanayotgan tok yoki kuchlanish chastotasi va boshqalar).

Asboblarning absolut xatoligi, bu – asbob ko'rsatkichi va o'lchanayotgan kattaliklarning haqiqiy qiymati orasidagi farqdir:

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

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 absolut xatolikning o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga nisbatidir:

$$\delta = \Delta / x_{\text{haq}}. \quad (10.1)$$

Shunga ko'ra, xatoliklarning son qiymatlari ikkitadan ortiq bo'lmagan ahamiyatli raqamlar bilan ifodalanadi va ko'pchilik hollarda absolut xatolikni o'lchash asbobining ko'rsatishi deb qarash mumkin:

$$\delta = \Delta / x_a. \quad (10.2)$$

Asbobning keltirilgan xatoligi – bu absolut xatolikning me'yorlangan qiymatga nisbatidir:

$$\gamma = \Delta / x_m. \quad (10.3)$$

Tekis yoki kvadratli shkalaga ega bo'lgan asbob uchun me'yorlangan qiymat, odatda, shkalaning ishchi qismining oxirgi qiymatida teng deb olinadi (o'lchashning 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 ampermetr, voltmeter va vattmetrlar uchun aniqlik sinfi asbob keltirilgan xatoligining asosiy yo'l qo'yiladigan chegarasiga son jihatdan teng.

Sezgirlik oʻlchash asboblarning asosiy tavsiflaridan biridir. Asbob koʻrsatkichi chiziqli va burchak siljishning shu siljishni hosil qilgan kattalik oʻzgarishiga nisbati asbobning sezgirligi deb ataladi:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta X}, \quad (10.4)$$

bu yerda: S – asbobning sezgirligi;

ΔL – koʻrsatkich siljishining oʻzgarishi;

ΔX – oʻlchanayotgan kattalik oʻzgarishi.

Oʻlchash mexanizmi va oʻlchash zanjirining xarakteriga koʻra asbobning sezgirligi, oʻlchash diapazoni barcha qismida oʻzgarmas yoki oʻzgaruvchan boʻlishi mumkin. Masalan, magnitoelektrik asboblarda koʻrsatkichning shkala boʻylab siljishi oʻlchanayotgan tokka chiziqli bogʻlangan, asbobning sezgirligi esa doimiydir.

Elektromagnit asboblarida bu bogʻlanish kvadratlidir, shunga koʻra sezgirlik oʻlchash diapazonida bir xil emas.

Bundan tashqari, bu asbobning turli kattaliklarga sezgirligi turlicha boʻlishi ham mumkin. Masalan, elektrodinamik asbob bilan quvvat oʻlchanganida sezgirligi doimiydir, yaʼni oʻzgarmasdir, tok yoki kuchlanishni oʻlchashda esa oʻzgaruvchandir.

Shuning uchun oʻlchash asbobining sezgirligi deganda uning tok yoki kuchlanish boʻyicha sezgirligi tushuniladi.

Ayrim hollarda nisbiy sezgirlik tushunchasidan foydalanish qulay:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta X/X} = \frac{\Delta X}{\Delta L}. \quad (10.5)$$

Sezgirlikka teskari boʻlgan kattalik asbob doimiysi yoki shkala boʻlinmasi qiymati deyiladi. Sezgirligi yuqori boʻlgan asboblar, asosan, aniq oʻlchashlar uchun ishlatiladi. Oʻlchanayotgan katta-

lik qiymatini asbob ko'rsatkichiga ta'sir qila oladigan eng kichik o'zgarishi sezgirlik chegarasi deyiladi.

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

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

Nisbiy uslubiy xatolik:

$$\delta_J = \frac{J - J_{\text{haq}}}{J_{\text{haq}}} = \frac{R_0}{R + R_0}. \quad (10.6)$$

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:

$$\delta_n = \frac{U_{\text{ich}} - U}{U} = \frac{R}{R + R_{\text{ich}}}, \quad (10.7)$$

bu yerda: U_{ich} – voltmotr qisqichlaridagi kuchlanish.

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

$$\delta_t = \beta_0 \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_1 + R}, \quad (10.8)$$

bu yerda: β_0 – zanjirdagi ramka qarshiligining temperatura koeffitsiyenti;

R_0 – ramkalar, prujinalar va ulagichlarning chulg'am qarshiligi;

R – shunt qarshiligi;

R_1 – qo'shimcha rezistor qarshiligi.

Muhitning temperaturasi ortganda magnitoelektrik voltmetrning temperatura xatoligi

$$\delta_t = \beta_0 \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_{\text{haq}}}, \quad (10.9)$$

bu yerda: R_{haq} – qo'shimcha rezistor qarshiligi.

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

$$\delta_t = -\frac{1}{2} \cdot \beta_\omega = \frac{R_0}{R_0 + R_1 + R} \cdot \beta_0, \quad (10.10)$$

bu yerda: β_ω – prujina momentining temperatura koeffitsiyenti (u manfiy va 10°C da 0,2–0,3% ni tashkil etadi).

(10.10) – formulaning ikkinchi hadi asbobning o'lchash chegarasiga bog'liq. Voltmetr kichik o'lchash chegarasida katta xatolikka ega bo'ladi. G'altakni ketma-ket ulash sxemasidagi elektrodinamik ampermetrlarda va elektromagnit ampermetrlarda temperatura prujinaning egiluvchan xossalari ta'sir etadi. Shuning uchun ularning temperatura xatoligi 10°C da +0,2% dan oshmaydi va maxsus kompensatsiya 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'rsatkichlarining chetlanish, induktiv qarshilik ω burchakka bog'liq.

S_{ω} xatolik o'zgaras tokdan o'zgaruvchan tokka o'tayotganda quyidagiga teng bo'ladi:

$$S_{\omega} = \frac{U_{\underline{}} - U_{\approx}}{U_{\underline{}}} = 1 - \frac{U_{\approx}}{U_{\underline{}}} = 1 - \sqrt{\frac{\omega^2 L^2 + R^2}{R_{\underline{}}^2}}, \quad (10.11)$$

bu yerda: $U_{\underline{}}$ – o'zgaras tokdagi asbob ko'rsatishi;

U_{\approx} – asbobning ko'rsatishi yuzaga keltirayotgan o'zgaruvchan kuchlanish;

$R_{\underline{}}$ – o'zgaras tokda voltmotr qarshiligi;

R_{\approx} – o'zgaruvchan tokda zanjirdagi aktiv qarshilik.

2000 Hz chastotalarda ishlaydigan bunday asboblarni, R_{\approx} ning $R_{\underline{}}$ dan farqini ma'lum hollarda kichik deb hisoblash mumkin. Agar $R_{\approx} = R_{\underline{}}$ bo'lsa:

$$S_{\omega} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\omega L}{R_{\underline{}}}\right)^2} \quad (10.12)$$

yoki

$$S_{\omega} \approx -\frac{1}{2} \left(\frac{\omega L}{R_{\underline{}}}\right)^2. \quad (10.13)$$

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

Elektromagnit voltmetrlarning chastota xatoligi ko'riyatganda 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; bun-

dan tashqari bu asboblarda juda katta kirish qarshiligiga ega va quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$X_{\text{kir}} = J/W \times C_a, \quad (10.14)$$

bu yerda: C_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 asboblarda ko‘rsatishi o‘lchanayotgan kuchlanishning yoki tokning doimiy tashkil etuvchisiga bog‘liq (agar o‘zgaruvchan tashkil etuvchining chastotasi yuqori chastotalar sohasida yotsa).

Masalalar yechish namunalari va masalalar

1. Magnitoelektrik mexanizm quyidagi parametrlari bilan berilgan. Magnit induksiyasi $B=0,09$ Tl, to‘liq og‘ish toki $I_n=5$ mA da aylanish momenti $M=34,4 \cdot 10^{-7}$ N·m ga teng. Ramkaning diametri $d=0,25$ mm, spiral prujinaning qarshiligi $2R_p=1,12\Omega$, ramkaning o‘rtacha aktiv yuzasi $S=4,4$ sm², o‘ram uzunligi $l=88$ mm.

Aniqlang:

- 1) o‘ram soni W ni, o‘ram kesimi q ni;
- 2) mexanizm uchun sarflangan quvvatni;
- 3) shkala bo‘lim qiymati 100 ga teng bo‘lgan holda tok va kuchlanish bo‘yicha mexanizm doimiysini;
- 4) kuchlanishi 30 V li bo‘lgan qo‘shimcha rezistor qarshiligining qiymatini va quvvatini.

Yechilishi. Ramkadagi oʻramlar soni quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$W = M / (B \cdot S \times J) = 34,4 \cdot 10^{-7} / (0,09 \times 4,4 \cdot 10^{-4} \times 5 \cdot 10^{-3}) = 17,5 .$$

Quyidagi bogʻlanishdan oʻram kesimini topamiz:

$$q = \omega / \omega' ,$$

bu yerda: $\omega' - 1 \text{ sm}^2$ yuzaga toʻgʻri keladigan oʻramlar soni.

Diametri 0,25 boʻlgan PEV-1 sim uchun $\omega' = 1100 \text{ oʻram/sm}^2$ ni topamiz. U holda $q = 17,5 / 1100 = 1,6 \text{ mm}^2$.

Ramkaning oʻram qarshiligini quyidagi formuladan topamiz:

$$R_{\text{o'ram}} = \omega / R' ,$$

bu yerda: $l -$ simning 1 ta oʻram soni, m;

$R' = 0,356 \Omega - 1 \text{ m}$ simning qarshiligi. Bu yerdan,

$$R_{\text{o'ram}} = 17,5 \cdot 0,088 \cdot 0,356 = 0,55 \Omega .$$

Mexanizmning zanjir qarshiligi:

$$R_0 = 2R_n + R_{\text{o'ram}} = 1,12 + 0,55 \approx 1,7 \Omega .$$

Mexanizmning qoʻzgʻaluvchan qismidagi koʻrsatkichining butun ($\alpha = \alpha_0$) shkala boʻyicha ogʻishi uchun sarflanayotgan quvvat:

$$R_n = I_n^2 \times R_0 = (5 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,7 = 4,25 \cdot 10^{-6} \text{ W} .$$

Shunga mos ravishda mexanizmning tok va kuchlanish boʻyicha doimiylari:

$$C_J = J_H / \alpha_H = 5 / 100 = 0,05 \text{ mA/bo'1} ,$$

$$C_U = C_J \cdot R_0 = 0,05 \cdot 1,7 = 0,085 \text{ mV/bo'1} .$$

Nominal kuchlanish 30 V bo'lgan voltmetr qarshiligi

$$R_B = U_H / J_H = 30 / (5 \cdot 10^{-3}) = 6 \text{ k}\Omega.$$

Qo'shimcha rezistor qarshiligi:

$$R_q = 6 \cdot 10^{-3} - 1,7 = 5998 \Omega.$$

Voltmetr uchun sarflangan quvvat quyidagiga teng bo'ladi:

$$R = J_H^2 / R_B = (5 \cdot 10^{-3})^2 \times 6 \cdot 10^3 = 0,15 \text{ W}.$$

2. Magnitoelektrik asbob mexanizmining quyidagi parametrlari berilgan: havo tirqishidagi induksiya $\beta = 0,232 \text{ Tl}$, to'liq og'ish toki $I_n = 0,094 \cdot 10^{-6} \text{ A}$, o'ramlar soni $\omega = 1200,5$, ramka PEV-1 mis simdan tayyorlangan diametri $d = 0,02 \text{ mm}$, tortkich qarshiligi $R_r = 24,5 \Omega$, ramkaning aktiv maydoni $S = 4 \text{ sm}^2$, o'ram uzunligi $l = 60 \text{ mm}$.

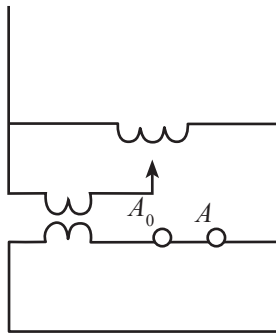
Aniqlang:

- 1) to'liq og'ish burchagiga mos keluvchi aylantiruvchi momentini;
- 2) mexanizmning xususiy iste'mol quvvatini;
- 3) 5 mV ga mo'ljallangan millivoltmetr olish uchun qo'shimcha rezistorning qarshiligini va uning xususiy iste'mol quvvatini.

Javob: 10^{-8} nm , $35,7 \cdot 10^{-12} \text{ W}$, $49,2 \text{ k}\Omega$.

3. O'zgaruvchan tok ampermetrini solishtirish usuli bilan qiyoslashda (10.1-rasm) tekshirilayotgan A asbob $I = 5,00 \text{ A}$ ni ko'rsatadi.

Namuna asbob esa, $A_0 - I_0 = 5,12 \text{ A}$. Tekshirilayotgan normalangan shkala qiymati $I_N = 10 \text{ A}$. O'lchanayotgan tokning haqiqiy qiymatiga mos kelgan namunaviy asbobning ko'rsatishini hisobga olib, tekshirilayotgan asbobning absolut va keltirilgan xatoliklarini toping. Topilgan xatolikni anchagina katta deb hisoblab, o'lchanayotgan asbob uchun aniqlik sinfini belgilang.



10.1-rasm. O'zgaruvchan tok ampermetrini qiyoslash chizmasi.

Yechilishi. Asbobning absolut xatoligi asbobning ko'rsatishi va o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati orasidagi farqni namoyon qiladi:

$$\Delta J = J - J_0 = 5,00 - 5,12 = -0,12 \text{ A.}$$

Asbobning keltirilgan xatoligi absolut xatolik modulining asbobning shkalasini normalangan qiymatiga nisbatiga tengligidan topiladi:

$$\varphi_{\text{kel}} = \frac{|\Delta J|}{J_N} = \frac{0,12}{10} = 1,2\%.$$

Asbobning aniqlik sinfi uning xossasini xarakterlaydi va asbobning keltirilgan xatoligi bilan bog'liq (keltirilgan xatolikning mumkin bo'lgan chegarasida aniqlanadi).

O'lchash asboblari uchun quyidagi aniqlik sinflari qabul qilingan: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4,0 va 5,0. Shulardan foydalanib, φ_{kel} ga yaqin sonni tanlaymiz, ya'ni $\varphi_{\text{kel}} = 1,2\%$ bo'lsa, asbobning aniqlik sinfi $K = 1,5$ bo'ladi.

4. Solishtirish usuli bilan voltmetrni qiyoslash natijasida (10.1-rasm) quyidagi jadval yuzaga keldi.

$U_0, \text{ V}$	0	30	50	75	100	150
$U, \text{ V}$	0	28,5	49,2	78	102	149

Agar voltmetrning o'lchash chegarasi $U_N = 150 \text{ V}$, o'lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati sifatida namunaviy voltmetrni ko'rsatishi V_0 deb olinsa, tekshirilayotgan voltmetr V ning aniqlik sinfini toping.

Javob: $K = 2,5$.

5. E 377 rusumli voltmetr ta'mirlangandan so'ng (aniqlik sinfi $K_V = 1,5$, o'lchash chegarasi $U_N = 150 \text{ V}$) asbobning asosiy xatoligida qiyoslash olib borildi. Kattaroq xatolik $\Delta U_{\max} = 2,1 \text{ V}$ (maksimal xatolik), $U = 120 \text{ V}$ (shkala belgisi). Ta'mirdan so'ng voltmetr o'zining aniqlik sinfini saqlab qoldimi?

Javob: Ha.

6. Ampermetr aniqlik sinfi $K = 1,5$, me'yorlangan shkala qiymati $J_N = 5 \text{ A}$ tokni ulaganda $J = 3 \text{ A}$ ni ko'rsatadi.

O'lchash xatoligini aniqlang.

Yechilishi. Umumiy holatda bu xatolik asbobning keltirilgan xatoligidan farq qiladi.

Nisbiy xatolik deganda asbobning absolut xatoligi Δ ning o'lchanayotgan A_0 kattalikning haqiqiy qiymatiga nisbati tushuniladi. Bu qiymat noaniq bo'lganligi uchun, uni A qurilmaning eng yaqin ko'rsatkichi bilan almashtiriladi. Shunday qilib, o'lchashning nisbiy xatoligi:

$$\delta = \frac{K \cdot A_N}{A} .$$

Ifoda yordamida foizlarda hisoblanadi.

Asbobning ko'rsatkichi ko'rsatayotgan qiymatlardan foydalanib, quyidagi formuladan nisbiy xatolikni hisoblab topish mumkin.

Bu holda,

$$\vartheta_{\text{kel}} = K = \frac{\Delta A \cdot 100}{A_N} \%,$$

bundan

$$\Delta A = \frac{K \cdot A_N}{100}.$$

Yuqoridagi formulalardan foydalanib, tokni o'lchashda nisbiy xatolik quyidagicha topiladi:

$$\delta_J = \frac{\Delta J}{J} = \frac{K \cdot J_N}{J} = \frac{1,5 \cdot 5}{3} = 2,5\%.$$

7. Zanjirga ikkita ketma-ket ampermetr ulangan. Birinchi ampermetr $K_1 = 0,5$ aniqlik sinfiga ega, me'yorlangan shkala qiymati $J_{N1} = 30$ A, shunga muvofiq ikkinchi ampermetr $K_2 = 1,5$ va $J_N = 5$ A. Ikkala asbob 4 A ni ko'rsatdi. Qaysi asbobda o'lchash aniqroq bajariladi?

Javob: $S_1 = 3,75\%$, $S_2 = 1,88\%$.

Ikkinchi ampermetr bilan o'lchash aniqroq bajariladi, nisbiy xatolik $S_1 > S_2$.

Izoh: birinchi ampermetrga qaraganda ikkinchi ampermetrning aniqlik sinfi past, o'lchanayotgan kattalik 4 A ikkinchi ampermetrning o'lchash chegarasi 5 A ga yaqin. Olingan natija shu orqali tushuntiriladi.

8. Ikkita parallel ulangan voltmetrlar bilan kuchlanish o'lchanmoqda. U_1 V-140 tipidagi $K_{V1} = 2,5$ aniqlik sinfi, o'lchash chegarasi esa $U_{N1} = 30$ V bo'lsin, V_2 -M 366 rusumli voltmetrning aniqlik sinfi $K_{V2} = 1,5$, o'lchash chegarasi esa $U_{N2} = 150$ V bo'lsin.

Agar birinchi voltmetr ko'rsatishi $U_1=29,2$ V, ikkinchi voltmetr ko'rsatishi $U_2=30,0$ V bo'lsa, voltmetrlardan qaysi biri aniqroq qiymatni ko'rsatadi?

Javob: Ushbu sharoitda aniqlik sinfi 1,5 bo'lgan voltmetrga qaraganda aniqlik sinfi 2,5 bo'lgan voltmetr bilan o'lchashda nisbiy xatolik taxminan ikki barobar kamroq bo'ladi.

Shuning uchun birinchi voltmetrning ko'rsatishi ikkinchi voltmetr ko'rsatishiga nisbatan aniqroq.

9. Ko'p chegarali elektromagnit asbobi (EZ77 rusumli) 300, 750, 1500 mA o'lchash chegaralarida S_1 bo'linma qiymatini aniqlang. Shkala bo'linmasining maksimal qiymati (to'liq soni) $\alpha_{\max}=75$.

Yechilishi:

Asbobning o'lchash chegarasi (shkalaning me'yorlangan qiymati) A_N ning shkala bo'linmasining maksimal qiymati (to'liq soni) α_{\max} ga nisbati asbobning shkala bo'linmasining qiymati \bar{S} deyiladi.

Bu holda milliampermetrning shkala bo'limi qiymati o'lchashning har bir uchta chegarasida quyidagiga teng:

$$S_1(300)=300/75=4 \text{ mA/bo'l};$$

$$S_1(750)=10 \text{ mA/bo'l};$$

$$S_1(1500)=20 \text{ mA/bo'l}.$$

Umumiy formulasi quyidagidan iborat:

$$S=A_N/\alpha_{\max}.$$

10. 150 V li elektrodinamik voltmetrda g'altaklar ketma-ket ulangan va qarshiligi $R_k=4565 \Omega$ li qo'shimcha qarshilikka ega, g'altakning induktivligi va aktiv qarshiligi $L=240$ mH, $R=435 \Omega$. Asbob doimiy tokka to'g'rilangan.

$f=500$ Hz chastotada asbobning nisbiy xatoligini aniqlang.

Javob: $-1,15\%$.

11. 15 V yuqori o'lchash chegarasiga ega bo'lgan magnito-elektrik voltmetrning to'la og'ish toki va qo'shimcha rezistor qarshiligini aniqlang.

Agar kuchlanishni o'lchashda $U=100$ V bo'lsa, sarflangan quvvat 66,6 mW bo'ladi. Zanjirdagi ramkaning qarshiligi $R_0=10^3 \Omega$.

Javob: 1 mA, 149 k Ω .

12. Agar qo'shimcha rezistor qarshiligi unga teng bo'lgan qarshilikli rezistor bilan almashtirilsa va bu rezistor o'zgarimas tok zanjirida ishlashi uchun mo'ljallangan bo'lsa, sanoat chastotali o'zgaruvchan kuchlanish zanjirida o'lchashlar uchun mo'ljallangan chastota kompensatsiyasiz voltmetrning to'liq og'ish toki qanday o'zgaradi?

13. $I_{\text{nom}}=30$ mA nominal tokka mo'ljallangan milliampermetr $U=75$ V normalangan kuchlanish tushishiga va 3 mA bo'lgan to'liq og'ish tokiga ega. Asbobning ichki qarshiligini aniqlang. Ushbu o'lhagichning tok bo'yicha o'lchash chegarasini $I=3$ A kengaytirish uchun tashqi muhit qanday qarshilikka ega bo'lishi kerak?

Javob: $R_a=2,5 \Omega$; $I_{\text{sh}}=2,97$ A; $R_j=25,3 \cdot 10^{-3} \Omega$.

10.5. Kuchlanishni o'lchash

Elektr kuchlanish quyidagi qiymatlar bilan tavsiflanadi: o'rta, o'rta to'g'rilangan, o'rta kvadratli va amplituda qiymatlari. Kuchlanish egrisi shaklining o'zgarishi kuchlanish qiymatining o'zgarishiga olib keladi. Voltmetrlar foydalanilgan detektor turiga ko'ra, kuchlanishning qiymatlarini o'lchaydi. «Pik» detektori asosida qurilgan voltmetr kuchlanishning amplituda, kvadratli detektorli voltmetr kuchlanishning o'rta kvadratlik, chiziqli voltmetr o'rta to'g'rilangan qiymatini o'lchashga mo'ljallangan.

Elektron voltmetrlarning shkalasi sinussimon kuchlanishning o'рта kvadratli qiymati bo'yicha darajalangan bo'ladi. Shunga ko'ra, qat'iy sinussimon shaklli bo'lmagan kuchlanishni o'lchashda xatoliklar paydo bo'ladi. Sinussimon kuchlanishning amplituda yoki o'рта kvadratli qiymatini voltmetr turiga bog'liq bo'lmagan holda olish uchun voltmetrning o'рта kvadratli qiymatdagi ko'rsatishini sinussimon kuchlanishning amplituda koeffitsiyentiga teskari bo'lgan koeffitsiyentga ko'paytirish kerak:

$$K_F = \frac{1}{K_F} = 0,9.$$

Shakl va amplituda koeffitsiyentlari quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$K_A = \frac{U_m}{U_{\text{or.kv}}}, K_m = \frac{U_{\text{or.kv}}}{U_{\text{or.kv}}}.$$

Impulsi kuchlanish voltmetrlaridan tashqari barcha voltmetrlar sinussimon kuchlanishning o'рта kvadratli qiymati bo'yicha darajalangan bo'ladi.

O'lchagichlar ko'rsatishini aniqlashda elektron voltmetr qanday kirishga ega ekanligini bilish muhim: ochiq yoki yopiq. Ochiq kirishda to'liq signal o'lchanadi, yopiq kirishda esa doimiy tashkil etuvchisiz o'lchanadi. Umumiy ko'rinishda yozish mumkin:

$$Uk = cf[u(t)], \text{ ochiq kirishda};$$

$$Uk = cf[u(t) - u_0], \text{ yopiq kirishda}.$$

Bu yerda: Uk – voltmetr ko'rsatishi;

c – darajalash koeffitsiyenti;

f – o'zgartkich turiga bog'liq bo'lgan funksional o'zgartirgich;

u_0 – o'рта qiymatga teng bo'lgan o'lchanayotgan signalning doimiy tashkil etuvchisi.

Darajalash koeffitsiyentining qiymatini aniqlash mumkin. Yopiq kirishli o'zgartkichiga va sinussimon kuchlanishning o'рта kvadrati bo'yicha darajalangan voltmetrning ko'rsatishini aniqlaymiz:

$$C = \frac{U_{\text{or.kv}}}{U_m} = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

$$U_K = \frac{U_m - U_0}{1,41}.$$

Shkalasi sinussimon kuchlanishning o'рта kvadratli qiymati bo'yicha darajalangan o'рта to'g'rilangan qiymat voltmetrining ko'rsatkichi ifodadan aniqlanadi: $U_K = U_{\text{ort}} * 1,11$.

O'zgaruvchan kuchlanishning birgina qiymatini bilgan holda qolgan ikkita qiymatini berilgan kosinussimon kuchlanishning amplituda va shakl koeffitsiyentlari bo'yicha topish mumkin.

Kuchlanishning shaklini va detektor turini aniqlagan holda, kuchlanishning ixtiyoriy qiymatini o'lchash mumkin. Lekin, bunday o'lchashlar bevosita bo'lmaydi, ya'ni voltmetr ko'rsatishini ayrim ko'paytuvchilarga ko'paytirish kerak bo'ladi.

Masalalar yechish namunalari

1. Turli tizimdagi uchta voltmetr nosinussimon davriy kuchlanish manbayiga ulangan. Elektromagnit tizimga mansub voltmetr 4,2 V ni, to'g'rilagichli voltmetr 4,0 V ni, «Pik» voltmetr 6,1 V ni ko'rsatdi. Nosinussimon kuchlanishning amplituda va shakl koeffitsiyenti aniqlansin.

Yechilishi: 1) Elektromagnit tizimli voltmetrning ko'rsatishi kuchlanish egrisining shakliga bog'liq bo'lmagan holda o'lchayotgan kuchlanishning o'рта kvadratli qiymatiga teng, shunga ko'ra $U=4,2$ V.

2) To'g'rilagichli asbob harakatlanuvchi qismining og'ishi o'lchanayotgan kuchlanish qiymatining modul bo'yicha o'rta qiymatiga teng, shkalasi sinussimon kuchlanishning o'rta kvadratli qiymati uchun darajalangan. O'lchanayotgan kuchlanishning modul bo'yicha o'rta qiymatini aniqlash uchun to'g'rilagichli asbob ko'rsatishini sinusoidalning shakl koeffitsiyentiga bo'lish kerak:

$$K_f = U / U_{o'r.mod} = 1,11;$$

O'lchanayotgan kuchlanish uchun

$$U_{o'r.mod} = 4,0 / 1,11 = 3,64 \text{ V.}$$

3) Amplituda detektorli elektron asbobning ko'rsatishi o'lchanayotgan kuchlanishning maksimal qiymatiga proporsional bo'ladi. Asbob shkalasi o'rta kvadratli qiymat uchun darajalangan. O'lchanayotgan kuchlanishning amplituda qiymatini aniqlash uchun elektron asbob ko'rsatishini sinusoidning amplituda koeffitsiyentiga $\sqrt{2}$ ko'paytirish kerak

$$K_a = \frac{U_m}{U}.$$

O'lchanayotgan kuchlanish uchun

$$U_m = \sqrt{2} \cdot 6,1 = 8,6 \text{ V.}$$

4) Tadqiqot qilinayotgan nosinusoidal kuchlanishning shakl koeffitsiyenti

$$K_m = \frac{U}{U_{o'r.mod}} = 1,15.$$

5) Amplituda koeffitsiyenti

$$K_a = \frac{U_m}{U} = 2,02.$$

Javob: $K_{sh} = 1,15$, $K_a = 2,02$.

2. Turli yarimo'tkazgichli o'zgartkichlarga ega bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanish voltmetrlarga bir xil amplitudali $U_m = 100$ V va turli shakldagi ikkita signal ketma-ket uzatilmoqda. Birinchi signal garmonik: $K_{sh} = 1,11$, $K_a = 1,41$. Shuning uchun signalning o'rta kvadratli qiymati $U_{o'r.kv} = 70,7$ V.

O'rta to'g'rilangan qiymat $U_{o'r.t} = 63,7$ V.

Ikkinchi signal meandr. O'rta kvadratlik va o'rta to'g'rilangan qiymatlar bir-biriga teng:

$$U_{o'r.kv} = U_{o'r.t}.$$

Ushbu holda shakl va amplituda koeffitsiyentlari bir-biriga teng:

$$K_a = K_{sh}.$$

Quyidagi savollarga javob berilsin.

A) Belgilangan shakldagi signallar uzatilganda voltmetrlarning ko'rsatishi bir xil bo'ladimi yoki yo'qmi?

B) Signal shaklining sinussimonligi sababli o'lchash xatoliklari qanday bo'ladi?

D) Signalning nosinussimon shakli uchun voltmetrlarning ko'rsatishi bo'yicha qanday axborotni olish mumkin?

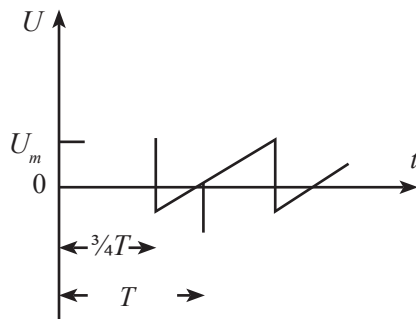
3. Tadqiq qilinayotgan qurilma chiqishida davriy kuchlanish mavjud bo'lib, uning shakli 10.2-rasmda keltirilgan. Quyidagilarni aniqlash talab qilinadi:

1. Berilgan shakldagi chiqish kuchlanishining o'rta ($U_{o'r}$), o'rta to'g'irlangan ($U_{o'r.t}$) va o'rta kvadratlik ($U_{o'r.kv}$) qiymatlari.

2. Chiqish kuchlanishining amplituda (K_a) va shakl (K_m) koeffitsiyentlari.

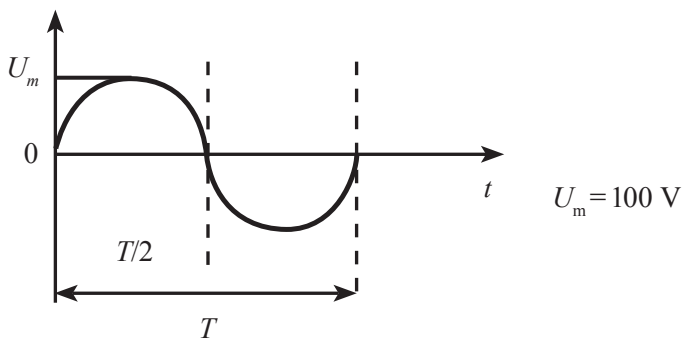
3. Yopiq kirishli «pik» voltmetri hamda o'rta to'g'rilangan va «ochiq» kirishli o'rta kvadratlik voltmetrlarning ko'rsatishi. (Barcha voltmetrlar sinussimon kuchlanishning o'rta kvadratlik qiymati uchun darajalangan.)

4. Voltmetrlarning ko'rsatishi bo'yicha hisoblangan kuchlanishlarning nisbiy xatoligi baholansin. Foydalanilgan o'lchash asboblarning aniqlik klassi $K_t=0,5$, kuchlanishning nominal qiymati $U_{\text{nom}}=20\text{ V}$, $U_m=15\text{ V}$, $U_m=5\text{ V}$, $T=100\text{ }\mu\text{S}$.



10.2-rasm. O'lchanayotgan kuchlanish shakli.

4. Manbaning chiqishida davriy kuchlanish hosil bo'ladi, uning shakli 10.3-rasmda keltirilgan.



10.3-rasm. O'lchanayotgan davriy kuchlanish shakli.

Bu kuchlanish «Pik» voltmetri, o'rta to'g'rilangan va o'rta kvadratik voltmetrlar bilan o'lchanib, ular sinussimon kuchlanishning o'rta kvadratik qiymati uchun darajalangan. Voltmetrlarning har biri «ochiq» va «yopiq» kirishga ega.

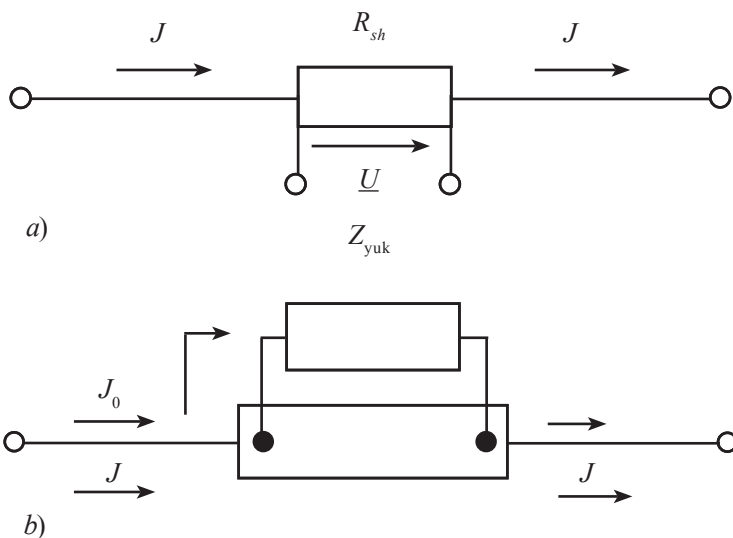
Aniqlash talab qilinadi:

1. Berilgan shakldagi chiqish kuchlanishining o'rtta, o'rtta to'g'rilangan va o'rtta kvadratik qiymatlarini.
2. Amplituda va shakl koeffitsiyentlarini.
3. Uchala voltmetrlarning ko'rsatishlarini.
4. O'lchash natijalari bo'yicha asbobning qaysi aniqlik klas-siga mos kelishini.

Absolut qiymat $\Delta U = 1,5$ V, shkala chegarasi $U_{\text{nom}} = 300$ V.

10.6. Tok va kuchlanish o'zgartkichlari

Eng oddiy o'lchash o'zgartkichi – bu tokni kuchlanishga o'zgartirib beruvchi o'zgarimas tok shuntidir. U to'rt qisqichli rezistordan iborat. J tok o'tuvchi kirish qisqichlari «tokli» deyiladi, chiqish qisqichlari esa «potensialli» qisqichlar deyiladi (10.4-rasm).



10.4-rasm. Shunt.

Nominal chiqish kuchlanish: U_H ning nominal kirish toki J_H ga nisbati nominal shunt qarshiligini bildiradi va o'zgartirish koeffitsiyentiga teng:

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

Doimiy tok shunti uchun xatolik deganda quyidagi tushuniladi:

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

O'zgarimas tok shunti uchun:

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

bu yerda: $\underline{R} = R + jX$ – to'la shunt qarshiligining haqiqiy qiymati;

R – uning aktiv qarshiligi;

X – induktiv qarshilik;

γ – qarshilik qiymatining xatoligi;

φ – fazoviy xatolik.

Shunt ulangan Z_{yuk} nagruzka berilgan tokda chiqish kuchlanishiga ta'sir etadi:

$$\underline{U}_2 = \underline{J} \frac{\underline{R} Z_{yuk}}{\underline{R} + Z_{yuk}} = \underline{J} \underline{R} \frac{1}{1 + \frac{\underline{R}}{Z_{yuk}}}.$$

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

$$\underline{U}_2 = \underline{J} \underline{R} \left(1 - \frac{\underline{R}}{Z_{yuk}}\right).$$

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

Tutashtiruvchi simlarning qarshiliklari $R_{\text{sim}} \ll R_{\text{yuk}}$ ni hisobga olgan holda, ikkinchi tartibli kichik qiymatli kattaliklarni hisobga olmagan holda, quyidagini yozish mumkin:

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

yoki

$$\underline{U}_2 = \underline{J}R_H \left(1 - \underline{\lambda} - \frac{R_H}{\underline{Z}_{\text{yuk}}} - \frac{R_{\text{sim}}}{\underline{Z}_{\text{yuk}}}\right).$$

Shuntlar manganindan tayyorlanadi va magnitoelektrik millivoltmetr yordamida toklarni o'lchash uchun hamda toklarni boshqa usulda o'lchashda qo'llaniladi. Aniq asboblardan 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 zanjiridagi tok quyidagiga teng:

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

bu yerda: $\underline{Z}_0 = R_0 + \wp X_0$ – o'lchash mexanizmidagi o'ramning to'liq qarshiligi;

$R_{K.N}$ – qo'shimcha rezistorning nominal qarshiligi;

$K = \frac{1}{(\underline{Z}_0 + R_{K.N})}$ – o'zgartirish koeffitsiyenti.

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

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

bu yerda: $R_K = R_K + jX_K$ – qo'shimcha rezistor haqiqiy qiymatining to'la qarshiligi;

R_K – uning aktiv qarshiligi;

X_K – induktiv qarshiligi;

\wp – qarshilik qiymatining xatoligi;

ϕ – faza xatoligi.

Ikkinchi tartibli kattalikning kichik qiymatini hisobga olmaganda, o'lchash mexanizmi zanjirida tok uchun ushbu munosabatni yozish mumkin:

$$\underline{J}'_0 = \frac{\underline{U}_{\text{kir}}}{Z_0 + R_{K.N}(1 + \lambda)} = \underline{U}_{\text{kir}} \underline{K}',$$

bu yerda:
$$\underline{K}' = K \left[\frac{1 + \lambda R_{K.N}}{(Z_0 + R_{K.N})} \right].$$

Qo'shimcha rezistorlar manganidan 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'zgartkich koeffitsiyent o'zgaradi. Shuning uchun nagruzka qarshiligini $|Z_2|$ 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.

$$U = U_Y \frac{C_Y + C_1 + C_2}{C_2}.$$

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, $C_Y \gg S_1$ bo'lishi kerak.

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

O'lchash transformatorining transformatsiya koeffitsiyenti bu tok transformatorining 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 kuchlanishlarning nisbati sifatida beriladi.

Transformatsiya koeffitsiyentlarining haqiqiy qiymatlari mos ravishda:

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

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 aytiladi.

Transformatorning kompleks transformatsiya koeffitsiyenti deganda quyidagi munosabat tushuniladi:

$$\underline{K}_J = -\frac{J_1}{J_2} \text{ va } \underline{K}_U = -\frac{U_1}{U_2}.$$

Tok va kuchlanish transformatorining kompleks xatoligi, mos ravishda, quyidagicha ifodalaniladi:

$$\underline{\lambda}_J = \frac{-J_2 K_{JH} - J_1}{J_1} = f_J + j\delta_J,$$

$$\underline{\lambda}_U = \frac{-U_2 \underline{K}_{UH} - U_1}{U_1} = f_U + j\delta_U,$$

bu yerda: 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 hamda 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:

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

bu yerda:

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

Z'_K – birlamchi o‘ramning kompleks qarshiligi;

Y'_X – bo‘sh yo‘ldagi o‘tkazuvchanlik;

Z'_K – transformatorning qisqa tutashuv qarshiligi;

Z'^2_K – ikkilamchi o‘ram qarshiligi.

1. Toklarning o‘lchash chegarasi 5, 20, 30 A bo‘lgan M 342 mexanizmi uchun ko‘p chegarali shuntni hisoblang (10.5-rasm). O‘lchash zanjirining qarshiligi $R_2 = 2,5 \Omega$. O‘lchashning ixtiyoriy chegarasida shuntidagi kuchlanishning eng ko‘p kamayishi 75 mV ga teng bo‘lishi kerak.

Yechilishi.

Shunt qarshiligi: $R_{SH} = \frac{R_U}{(n-1)},$

bu yerda:

$$n = \frac{J}{J_U} - \text{shuntlash koeffitsiyenti};$$

J – o‘lchanayotgan tok;

J_U – o‘lchagichdagi tok.

O‘lchagichning qismlardagi toki:

$$J_U = \frac{U_{SH}}{R_U} = \frac{0,075}{2,5} = 0,03 \text{ A.}$$

Shuntlash koeffitsiyenti va berilgan o‘lchash chegarasi uchun shunt qarshiligi 5 A tokda quyidagiga teng:

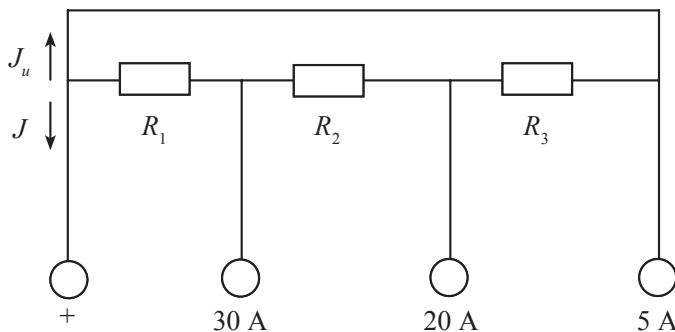
$$n = \frac{5}{0,03} = 167, \quad R_{SH} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{2,5}{(167-1)} = 0,015060 \text{ } \Omega.$$

20 A tokda:

$$n = \frac{20}{0,03} = 667,$$

$$R_{SH} - R_3 = R_1 + R_2 = \frac{(2,5 + R_3)}{(667-1)} = (0,015060 - R_3) \Omega.$$

Shu yerdan R_3 aniqlanadi. Shunday qilib, shunt qarshiliklari:
 $R_1 = 0,02516 \text{ } \Omega$; $R_2 = 0,001255 \text{ } \Omega$; $R_3 = 0,011293 \text{ } \Omega$.



10.5-rasm. Ko‘p chegarali shunt.

2. Milliampmetr uchun shunt qarshiligi R_{SH} , shunt toki J_{SH} ni aniqlang. To'la og'ish toki $J_U = 50$ mA va ichki qarshiligi $R_U = 1,5\Omega$.

$J = 10$ A tokni o'lchash uchun o'lchagichdan foydalaniladi.

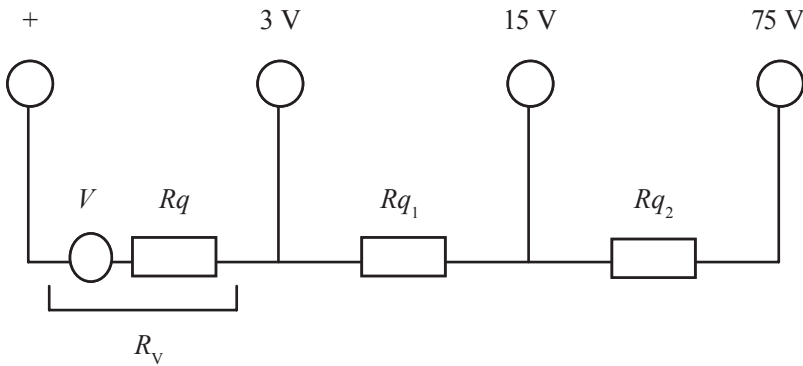
Javob: $R_{SH} = 0,00753 \Omega$; $J_{SH} = 9,95$ A.

3. O'lchash chegarasi $U_V = 3$ V bo'lgan doimiy kuchlanish voltmetri

$R_V = R_U + R_d$ ichki qarshilikka ega.

O'lchash chegarasini 15 va 75 V gacha kengaytirish uchun voltmetrga ulash zarur bo'lgan qo'shimcha rezistorlar qarshiligini aniqlang (10.6-rasm).

Ko'rsatkichning to'la og'ish tokini aniqlang.



10.6-rasm.

Yechilishi.

Rezistorning qo'shimcha qarshiligi: $R_K = R_V(m-1)$, bu yerda, $m = \frac{U}{U_V}$ – kuchlanishlar nisbatlari orqali aniqlanadigan koef-fitsiyent.

Voltmetrda ko'rsatkich to'la og'ganda tok quyidagicha:

$$J_V = \frac{U_V}{R_V} = \frac{3}{400} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

bo'ladi. Endi rezistorlarning qo'shimcha qarshiligini topishimiz kerak. Rezistorlarning qo'shimcha qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

$$R_{K1} = 400 \left(\frac{15}{3} - 1 \right) = 1600 \ \Omega;$$

$$R_{K1} + R_{K2} = 400 \left(\frac{75}{3} - 1 \right) = 9600 \ \Omega;$$

$$R_{K2} = 8000 \ \Omega.$$

4. Yuqoridagi masalaga tegishli holda rezistorning qo'shimcha qarshiligini aniqlang, agar kuchlanish 150 V bo'lsa.

Quvvat hamma o'lchash chegaralarida

$P_V = UJ_V$ ga asoslanib topiladi.

Javob: $R_{d3} = 10 \text{ k}\Omega$, $P_v = 22,5 \text{ mVt}$; $P_{v1} = 0,11 \text{ W}$;

$P_{v2} = 0,56 \text{ W}$; $P_{v3} = 1,12 \text{ W}$.

5. Nominal toki $J_{\text{NOM}} = 5 \text{ A}$ ga teng bo'lgan magnitoelektrik sistemadagi ampermetrning ichki qarshiligi $R_A = 0,015 \ \Omega$ ga teng. Asbobning o'lchash chegarasini 15 A gacha oshirish kerak bo'lgan shunt qarshiligining qiymati aniqlansin.

Javob: $R_M = 7,5 \cdot 10^{-3} \ \Omega$.

6. Ichki qarshiligi $R_B = 30 \text{ k}\Omega$ bo'lgan voltmetrga qarshiligi $R_g = 90 \text{ k}\Omega$ bo'lgan rezistor ulangan. Bunda asbobning yuqori o'lchash chegarasi 600 V. Voltmetr bilan qo'shimcha rezistorsiz kuchlanishning qanday qiymatini o'lchash mumkin?

Javob: 150 V.

RADIOTEXNIK O'LCHOVLARGA DOIR TESTLAR TO'PLAMI

1. Metrologiya (o'lchovshunoslik) – aniq o'lchashlar to'g'ri-sidagi fan bo'lib, uning vazifasiga quyidagilarni ta'minlash kiradi:

- A) Barqarorlik;
- B) Aniqlik, ishonchlilik;
- D) O'lchash birligi;
- E) To'g'ri javob B, D.

2. O'lchash amaliyotida quyida keltirilgan atamalarning qaysilari qo'llaniladi?

- A) O'lchashlar, o'lchash vositalari, fizik kattaliklar;
- B) O'lchov, o'lchash asbobi;
- D) O'lchash o'zgartkichi;
- E) To'g'ri javob yo'q.

3. Teng aniq ko'p sonli o'lchashlarda – o'lchanayotgan kattalikning o'ta ishonchli qiymati sifatida quyidagilar qabul qilinadi

- A) O'rta arifmetik qiymat;
- B) Maksimal qiymat;
- D) O'rta kvadratik qiymat;
- E) To'g'ri javob B, D.

4. O'lganayotgan kattalik qiymati tajriba natijalaridan topilsa, bunday o'lchash:

- A) Birgalikda;
- B) Birlashtirib;
- D) Bilvosita;
- E) Bevosita.

5. Sinussimon shaklli signal uchun forma koeffitsiyentining son qiymati teng:

- A) $K_f = 2$;
- B) $K_f = 1,11$;
- D) $K_f = 1,57$;
- E) $K_f = 1,16$.

6. Quyida keltirilgan qaysi ifoda kuchlanishning o'rta kvadratik qiymatini aniqlaydi?

- A) $U = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$;
- B) $U = \frac{1}{T} \int_0^T /U(t) / dt$;
- D) $U = U \cdot m$;
- E) $U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}$.

7. Turli shakldagi signallar qaysi parametrlar bilan xarakterlanadi?

- A) Oniy qiymat;
- B) Pik qiymati (amplituda);
- D) O'rta qiymat, o'rta kvadratik qiymat;
- E) Barcha javoblar to'g'ri.

8. Quyida keltirilgan qaysi munosabat yordamida kuchlanishning o'рта to'g'rilangan qiymati aniqlanadi?

A) $I_{o'rt.t} = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T U^2(t) dt}$;

B) $I_{o'rt.t} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}$;

D) $I_{o'rt.t} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt$;

E) $I_{o'rt.t} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$.

9. Kuchlanishning o'рта qiymati quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

A) $I_{o'rt.t} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}$;

B) $I_{o'rt.t} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt$;

D) $I_{o'rt.t} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T |U^2(t)| dt}$;

E) $I_{o'rt.t} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt$.

10. Kuchlanishning pik, o'рта to'g'rilangan, kvadratik qiymatlari o'zaro quyida keltirilgan qaysi koeffitsiyentlar bilan bog'langan?

A) Forma (shakl) koeffitsiyenti;

B) O'rtachalash koeffitsiyenti;

D) Amplituda koeffitsiyenti;

E) Barcha javoblar to'g'ri.

11. Signallar sinusoidal formasi uchun amplituda koeffitsiyenti son qiymati bo'yicha teng:

- A) $K_a = 1$;
- B) $K_a = 1,11$;
- D) $K_a = 1,41$;
- E) $K_a = 1,73$.

12. O'lchash asboblarning metrologik tavsiflari

- A) Sezgirligi, sezgirlik ostonasi;
- B) Asbobning o'lchash xatoligi;
- D) O'zgartirish funksiyasi;
- E) To'g'ri javob A va D.

13. O'lchash vositalarining yaroqliligini tasdiqlash uchun ... amalga oshiriladi.

- A) Kalibrovka;
- B) Tarmoq bo'yicha qiyoslash;
- D) Metrologik attestatsiya;
- E) Barcha javoblar to'g'ri.

14. Metrologiya (o'lchovshunoslik) – bu ...

- A) O'lchashlar haqidagi fan;
- B) Atrof-muhitni, tabiatni o'rganish, tekshirish faoliyati;
- D) O'lchashlar, ularning birliligini ta'minlovchi usullar va vositalar bilan shug'ullanuvchi xalq xo'jaligining alohida tarmog'i;
- E) O'lchash vositalari va usullari, o'lchash birliligini ta'minlash hamda talab etilgan aniqlikka erishish yo'llarini o'rgatuvchi fan.

15. Aprior ma'lumotlar nima?

- A) O'lchash amaligacha mavjud bo'lgan barcha ma'lumotlar;

- B) O'lchashdan so'ng olingan ma'lumot;
- D) O'lchash obyekti bo'yicha ma'lumot;
- E) O'lchash subyekti bo'yicha ma'lumot.

16. Qiyoslash ishlari o'tkazildi va voltmetrga $K_t=0,2$ klassi berildi. Kattalikning qiymati o'rinli bo'lgan quyida keltirilgan xatolik qiymatlarini tanlang:

- A. 0,1;
- B. 0,12;
- D. 0,14;
- E. 0,16;
- F. 0,18;
- G. 0,19.
- A) AB;
- B) BD;
- D) DE;
- E) FG.

17. O'lchanadigan kattalikning vaqtga bog'liqligiga ko'ra, o'lchashlar quyidagicha bo'linadi:

- A) Statik, dinamik;
- B) Statistik;
- D) Absolut;
- E) Barcha javoblar to'g'ri.

18. O'lchash usullari quyidagicha turkumlanadi:

- A) Bevosita baholash usuli;
- B) O'lchov bilan taqqoslash usuli;
- D) Differensial usuli;
- E) To'g'ri javob A, B.

19. O'lchov bilan taqqoslash usuliga quyidagilar kiradi:

A) Qarshi qo'yish usuli, differensial usuli;

B) Nol, o'rniga qo'yish;

D) Mos keltirish, qarshi qo'yish usuli;

E) Barcha javoblar to'g'ri.

20. O'lchash xatoliklari ... tasniflanadi.

A) Sonli ifodalanish bo'yicha, paydo bo'lishiga ko'ra;

B) Keltirilgan kattalikning vaqt bo'yicha o'zgarishiga ko'ra;

D) Atrof-muhit parametrlarining ta'siriga ko'ra, namoyon bo'lishiga ko'ra;

E) Barcha javoblar to'g'ri.

21. Xatoliklar sonli ifodalanishi bo'yicha quyidagilarga bo'linadi:

A) Keltirilgan, absolut, subyektiv;

B) Absolut, nisbiy, keltirilgan;

D) Subyektiv, nisbiy, uslubiy;

E) Barcha javoblar to'g'ri.

22. Xatoliklar paydo bo'lish tavsifiga ko'ra quyidagilarga bo'linadi

A) Doimiy, tasodifiy, qo'pol;

B) Obyektiv, subyektiv, dinamik;

D) Sistematik, statik, tasodifiy;

E) To'g'ri javob yo'q.

23. O'lchanayotgan kattalikka bog'liq holda xatoliklar ... bo'ladi:

A) Additiv, multiplikativ;

- B) Sistematik, tasodifiy;
- D) Qo‘pol, uslubiy;
- E) To‘g‘ri javob yo‘q.

24. Atrof-muhit parametrlarining ta‘siriga ko‘ra xatoliklar quyidagilarga bo‘linadi:

- A) Asosiy, qo‘shimcha;
- B) Tasodifiy, nisbiy;
- D) Uslubiy, absolut;
- E) To‘g‘ri javob A, B.

25. Qo‘pol xatoliklar quyidagicha namoyon bo‘ladi:

- A) O‘lchash natijalarining kutilgan qiymatdan sezilarli chetlanishi;
- B) Operator tomonidan yo‘l qo‘yilishi;
- D) Shakli buzilgan impuls ko‘rinishida;
- E) To‘g‘ri javob yo‘q.

26. Quyidagilar hisobiga asosiy va qo‘shimcha xatoliklar yuzaga keladi:

- A) Sxemadagi alohida elementlar eskirishi, parametrlarning chetlanishi;
- B) Atrof-muhitning ta‘siri, temperatura;
- D) Temperatura, bosim, nisbiy namlik;
- E) Barcha javoblar to‘g‘ri.

27. Ko‘p sonli teng aniq o‘lchashlarning matematik ishlovi natijasida quyidagilar ta‘siri kamaytiriladi:

- A) Doimiy xatoliklar;
- B) Tasodifiy xatoliklar;

- D) Qo‘pol xatoliklar;
- E) Yuqorida keltirilgan hamma xatoliklar.

28. Tasodifiy xatoliklarning normal taqsimot qonuni ikkita tushunchani o‘z ichiga oladi:

- A) Tasodifiy xatolik, muntazam xatolik;
- B) Ishonch intervali, ishonch ehtimolligi;
- D) Muntazam xatolik, qo‘pol xatolik;
- E) O‘rtacha kvadratik xatolik, o‘rta arifmetik qiymat.

29. O‘lchash natijalarining xatoliklarini baholash usuli qaysi nazariya asosi hisoblanadi?

- A) O‘lchashlarning algoritmik nazariyasi;
- B) Dinamik o‘lchashlar nazariyasi;
- D) Statistik o‘lchashlar nazariyasi;
- E) O‘lchashlar aniqlik nazariyasi.

30. Chinakam qiymat (asl qiymat) – bu ...

A) Belgilangan xatoliklar doirasidan chiqmagan holda aniqlash mumkin;

B) Uni aniq o‘lchash mumkin bo‘lmagani sababli haqiqiy qiymat bilan almashtiriladi;

D) Namunaviy o‘lchash vositalari yordamida o‘lchash mumkin;

E) Tekshiriladigan asbob yordamida o‘lchash mumkin.

31. Kattalik – bu ...

A) Atrofimizdagi o‘rab turgan muhitning xususiyati;

B) Umuman, o‘lchanishi mumkin bo‘lgan kattalik;

D) Fizik tizimlar, ularning holatlari va ulardagi jarayonlar, umumiy qabul qilingan va qonuniy asosda belgilangan, turli va umumiy bo'lgan xususiyatlar va sifatlarining tavsiflari;

E) Turli obyektlar uchun sifat jihatdan umumiy, miqdor jihatdan esa xususiy bo'lgan, umumiy qabul qilingan va belgilangan xossalar.

32. Etalon – bu ...

A) Metrologik xarakteristikalariga ega bo'lgan o'lchashning texnikaviy vositasi;

B) O'lchash ma'lumotlarini saqlovchi o'lchash asbobi;

D) Birlikning o'lchamlarini uzatuvchi texnikaviy vosita;

E) Fizik kattalik birligini saqlash va tiklash uchun mo'ljallangan va birlikning o'lchamlarini qiyoslash chizmasi bo'yicha quyida turgan o'lchash vositalariga uzatish maqsadida qonuniy yo'l bilan etalon sifatida tasdiqlangan o'lchash vositasidir.

33. O'lchashlarning subyektiv xatoligi nima?

A) Matematik modelning aniq yozilishiga bog'liq bo'lgan xatolik;

B) Operator tasnifiga bog'liq bo'lgan xatolik;

D) Tashqi faktorlar ta'siridagi xatolik;

E) O'lchash asbobining aniqlik klassi bilan bog'liq bo'lgan xatolik.

34. Agar nominal aktiv qarshilik uchun $R_0 = 600 \Omega$ qabul qilinsa, kuchlanishning absolut darajasiga qaysi qiymat mos keladi?

A) $I_0 = 1 \text{ mV}$;

B) $I_0 = 0,775 \text{ V}$;

D) $I_0 = 1,29 \text{ V}$;

E) $I_0 = 1 \text{ V}$.

35. Agar nominal aktiv qarshilik $R_0 = 600 \Omega$ bo'lsa, tokning absolut nolinchii darajasiga qaysi qiymat mos keladi?

A) $J_0 = 1 \text{ mA}$;

B) $J_0 = 1 \text{ A}$;

D) $J_0 = 0,775 \text{ A}$;

E) $J_0 = 1,29 \text{ mA}$.

36. Quyida keltirilganlardan faqat asosiy birliklarni ko'rsating:

A. Farad (F);

B. Genri (H);

D. Kandela (cd);

E. Mol (Mol);

F. Volt (V);

G. Amper (A);

H. Sekund (S);

I. Vatt (W);

J. Detsibell (dB);

K. Metr (M).

A) ABDEFG;

B) DEGHJ;

D) EGHIJ;

E) ADGHJK.

37. Agar uskuna shkalasi tekis bo'lsa, bu uskuna shkalasining qaysi qismida additiv nisbiy xatolik katta bo'ladi?

A) O'rtasida;

- B) Boshida;
- D) Oxirida;
- E) Butun shkala bo'yicha nisbiy xatolik o'zgaras.

38. O'lchash vositasining aniqlik sinfi bo'yicha ... aniqlanadi.

- A) Sezgirlik;
- B) Ishonchlilik;
- D) Maksimal absolut xatolik;
- E) Nisbiy xatolik.

39. Ko'p chegarali o'lchash asboblari uchun o'lchash o'zgartkichi bo'lib... hisoblanadi

- A) Diodlar;
- B) Qo'shimcha qarshilik;
- D) Kondensatorlar;
- E) Kuchlanish bo'lgichlar.

40. Quyida keltirilgan qaysi voltmetr chiziqli shkalaga ega?

- A) Pik;
- B) Chiziqli;
- D) Kvadratik;
- E) To'g'ri javob yo'q.

41. Statik rejimda elektromexanik o'lchash mexanizmlari uchun quyidagi munosabat o'rinli (M_{ayl} – aylantiruvchi moment, M_{aks} – aks ta'sir etuvchi moment):

- A) $M_{ayl} = M_{aks}$;
- B) $M_{ayl} \geq M_{aks}$;
- D) $M_{ayl} > M_{aks}$;
- E) $M_{ayl} \neq M_{aks}$.

42. Qaysi tizimdagi asbob chiziqli shkalaga ega?

- A) Elektromagnit;
- B) Elektrostatik;
- D) Elektrodinamik;
- E) Magnitoelektrik.

43. Elektromagnit tizimli asbobdan o'tayotgan o'zgarmas tok qutbi o'zgarsa, asbob ko'rsatkichi:

- A) Og'maydi (nolni ko'rsatadi);
- B) Qarama-qarshi tomonga og'adi;
- D) To'g'ri tomonga og'adi;
- E) Elektromagnit tizimli asbobda o'zgarmas tokni o'lchab bo'lmaydi.

44. Qaysi tizim asbobi kvadratik (nochiziqli) shkalaga ega?

- A) Elektrodinamik;
- B) Elektrostatik;
- D) Magnitoelektrik;
- E) To'g'ri javob yo'q.

45. O'lchash mexanizmining kuchlanish bo'yicha o'lchash chegarasini oshirish uchun ... ketma-ket ulanadi:

- A) Diod;
- B) Kuchlanish bo'lgichi;
- D) Shunt;
- E) Qo'shimcha qarshilik.

46. Analog o'lchash asboblari turlari:

- A) Magnitoelektrik va elektromagnit o'lchash asboblari;
- B) Elektrodinamik va induksion o'lchash asboblari;

D) Ferrodinamik va elektrostatik o'lchash asboblari;

E) Barcha javoblar to'g'ri.

47. Magnitoelektrik o'lchash asboblarning afzalliklari:

A) Shkalasi to'g'ri chiziqli, sezgirligi yuqori, o'lchash xatoligi kichik;

B) Ham o'zgarmas, ham o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlaydi, yuqori darajadagi aniqlikka ega;

D) Katta qiymatdagi toklarni ham o'lchashi mumkin, konstruksiyasi sodd;

E) Bir vaqtning o'zida ikkita kattalikni o'lchash mumkin, elektr quvvati sarfini hisoblashda qo'llanishi mumkin.

48. Elektromagnit o'lchash asboblarning afzalliklari:

A) Shkalasi to'g'ri chiziqli, sezgirligi yuqori, o'lchash xatoligi kichik;

B) Ham o'zgarmas, ham o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlaydi, yuqori darajadagi aniqlikka ega;

D) Katta qiymatdagi toklarni ham o'lchashi mumkin, konstruksiyasi sodd;

E) Bir vaqtning o'zida ikkita kattalikni tekshirish mumkin, elektr quvvat sarfini hisoblashda qo'llanishi mumkin.

49. Elektrodinamik o'lchash asboblarning afzalliklari:

A) Shkalasi to'g'ri chiziqli, sezgirligi yuqori, o'lchash xatoligi kichik;

B) Ham o'zgarmas, ham o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlaydi, yuqori darajadagi aniqlikka ega;

D) Katta qiymatdagi toklarni ham o'lchashi mumkin, konstruksiyasi sodd;

E) Bir vaqtning o'zida ikkita kattalikni tekshirish mumkin, elektr quvvat sarfini hisoblashda qo'llanishi mumkin.

50. Magnitoelektrik o'lchash asboblarning kamchiliklari:

A) Xususiy energiya sarfi katta, tashqi temperaturaga bog'liqligi kuchli, katta qiymatlarni bevosita o'lchay olmaydi;

B) Shkalasi egri chiziqli, o'lchash xatoligi biroz katta, sezgirligi yuqori emas;

D) Faqat o'zgarmas tok zanjirlaridagina ishlay oladi, tannarxi baland;

E) Bevosita katta qiymatdagi toklarni o'lchay olmaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *A.A. Abduvaliyev, R.I. Isayev* va boshq. Aloqa va axborotlashtirish sohasi bo'yicha metrologiyaga oid atamalar lug'ati. – T., 2005.
2. *M.P. Parpiyev* va boshq. Elektroradio'lchashlar fanidan ma'ruzalar matni. – T., 2003.
3. *M.P. Parpiyev*. Elektroradio'lchashlar. O'quv qo'llanma. – T.: «Aloqchi», 2012.
4. *V.I. Nefedov*. Telekommunikatsiya tizimlarida metrologiya va elektro-radio'lchashlar. – M., 2005.
5. *X. Nigmatov*. Radioelektronika asoslari. – T., 1994.
6. *P.M. Демидова-Панферова, В.Н. Малиновский, Ю.С. Солодов*. Задачи и примеры расчетов по электроизмерительной технике. – М.: «Энергоатомиздат», 1990.
7. *A.S. Karimov, M.M. Mirhaydarov, S.G. Bleyxman, V.A. Popov*. Elektrotexnika va elektronika asoslari. – T.: «O'qituvchi», 1989.
8. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. Под ред. Герасимова В.Г. – М.: «Высшая школа», 1987.
9. *A.C. Сигов, Ю.Д. Белик, В.С. Верб* и др. Метрология и электро-радиоизмерения в телекоммуникационных системах. – М.: «Высшая школа», 2005.
10. *О.Ш. Хакимов, А.А. Аъзамов*. Сборник задач и упражнений по теоретической метрологии. – Т., 2001.

MUNDARIJA

Kirish	3
--------------	---

1-BOB.

O'LCHASHLAR, O'LCHASH XATOLIQLARI VA O'LCHASH VOSITALARI TO'G'RISIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR	4
1.1. Asosiy tushuncha va atamalar	4
1.2. Fizik kattaliklar va ularning o'lchov birliklari	8
1.3. Xalqaro birliklar sistemasi	9
1.4. O'lchash xatoliklari va ularning tasnifi	14
1.5. O'lchash turlari va o'lchash usullari tasnifi	19
1.6. O'lchash vositalarining metrologik tavsiflari	25
1.7. O'zbekiston Respublikasining Davlat metrologiya xizmati	29
1.8. O'lchash vositalarining metrologik tekshiruv va nazoratga tortilishi	34

2-BOB.

SIGNALLAR	38
2.1. Elektr signali va uning turlari	38
2.2. Signal spektri. Spektral diagrammalar	40
2.3. Analog va diskret signallar	49
2.4. Signalning asosiy shakllari va parametrlari	54

3-BOB.

O'LCHOV SIGNALLARI GENERATORLARI	58
3.1. Garmonik tebranishlarning o'lchov generatorlari	61

3.2. Garmonik tebranishlarning o'lchov RC-generatorlari.....	64
3.3. O'ta yuqori chastotali generator	70
3.4. Past chastotali raqamli o'lchov generatorlari.....	71
3.5. Tebranma chastotali va maxsus shaklli signallar generatorlari.....	71
3.6. To'rtqutblilarning amplituda-chastota xarakteristikalarini o'lchash.....	74

4-BOB.

ELEKTR TEBRANISHLAR CHASTOTALARINI

VA VAQT INTERVALLARINI O'LCHASH	81
4.1. Umumiy ma'lumotlar	81
4.2. Vaqt oraliqlarini o'lchovchi raqamli o'lchagichlar	83
4.3. Raqamli faza o'lchagichlar	84
4.4. O'zgarmas tok va kuchlanishni o'lchovchi raqamli o'lchash asboblari	84
4.5. Bevosita hisob usuliga asoslangan raqamli chastota o'lchagichlar	86

5-BOB.

FAZAMETRLAR VA FAZALAR FARQINI

O'LCHASH	92
5.1. Umumiy ma'lumotlar	92
5.2. Fazaviy siljish va fazaviy parametrlarni o'lchashga doir ma'lumotlar	93
5.3. Diskret-hisob usuli asosida qurilgan raqamli fazametrlarning ish tamoyili	95
5.4. Mikroprotsessorli fazametrlarning ish tamoyili.....	100
5.5. Ossillografik usullar	103
5.6. Faza detektori bilan o'lchash usuli.....	104
5.7. Faza siljishini vaqt intervaliga o'zgartirish usuli	106

6-BOB.

RADIOTEXNIK ZANJIRLAR TAVSIFI VA ULARNING PARAMETRLARINI O'LCHASH	108
6.1. Umumiy ma'lumotlar	108
6.2. Aktiv qarshilikni o'lchash usullari	109
6.2.1. Volt-ampermetr usuli bilan qarshilikni o'lchash	109
6.2.2. Aktiv qarshilikni logometr orqali o'lchash	111
6.2.3. Ommetrlar orqali qarshilikni o'lchash	112
6.3. Element parametrlari o'lchagichlarining ko'priksimon sxemasi	113
6.4. Doimiy tokdagi element parametrlarini o'lchash	114
6.5. Element parametrlarining rezonansli o'lchagichlari.....	117
6.6. Amplituda chastota xarakteristikasi o'lchagichi	119

7-BOB.

SIGNAL SHAKLINING BUZILISHLARI	125
7.1. Umumiy ma'lumotlar	125
7.2. Nochiziqli buzilishlarni baholash	126
7.3. Signal shaklining buzilishlarini o'lchash usullari.....	128
7.4. Signal shaklining buzilishlarini o'lchovchi vositalarning metrologik ta'minoti	135

8-BOB.

ELEKTR SIGNALLARNING CHASTOTASI TO'G'RISIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR, O'LCHASH VOSITALARI VA USULLARI	138
8.1. Elektromagnit tebranishlarning chastotasiga oid ma'lumotlar.....	138
8.2. Elektromagnit tebranishlar chastotasining nobarqarorligi	139
8.3. Raqamli chastotomerning ish tamoyili.....	142

8.4. Elektron-hisobli chastotomerning ish tamoyili	146
8.5. Chastotomerlarning o'lchash xatoliklarini metrologik baholash	150
8.6. Chastotani o'lchash vositalarining metrologik ta'minoti.....	152
8.7. Elektron-hisobli chastotomer usuli	155
8.8. Chastotani ossillografik o'lchash usullari	158

9-BOB.

RADIOTEXNIK SHOVQIN TURLARI, PARAMETRI VA XARAKTERISTIKALARIGA OID TUSHUNCHALAR TAFSILOTI.....

9.1. Radiotexnik shovqin turlarining tasniflanishi	162
9.2. Shovqinning parametrlari va xarakteristikalari.....	174
9.3. Shovqin koeffitsiyenti va uni o'lchash	177
9.4. Shovqin generatorlarining ish tamoyillari	179
9.4.1. Shovqin generatorlarining tasniflanishiga oid ma'lumotlar tahlili.....	179
9.4.2. Shovqin generatorlarining ish tamoyillarini tahlil qilish.....	181

10-BOB.

RADIOTEXNIK O'LCHOVLARGA DOIR MASALALAR TO'PLAMI.....

10.1. Elektr kattaliklarning birliklari	190
10.2. Karrali va ulushli birliklarni hosil qiluvchi old qo'shimchalar	191
Masalalar.....	192
10.3. Radiotexnik o'lchashlarda uzatish darajalarini baholash	193
Masalalar.....	195
10.4. Radiotexnik o'lchash asboblarining metrologik tavsiflari va ish tamoyillari.....	196

Masalalar yechish namunalari va masalalar.....	202
10.5. Kuchlanishni o‘lchash	209
Masalalar yechish namunalari	211
10.6. Tok va kuchlanish o‘zgartkichlari.....	215
RADIOTEXNIK O‘LCHOVLARGA DOIR	
TESTLAR TO‘PLAMI	226
Foydalanilgan adabiyotlar	240

**R.I. ISAYEV, M.P. PARPIYEV,
U.N. KARIMOVA, G.S. RAHMONOVA,
Y.J. DAULATOV**

RADIOTEXNIK O'LCHOVLAR

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

Toshkent – «ILM ZIYO» – 2016

Muharrir *N. G'oipov*
Badiiy muharrir *M. Burxonov*
Texnik muharrir *F.Samadov*
Musahhah *M. Ibrohimova*

Noshirlik litsenziyasi AI № 275, 15.07.2015-yil.
Original-maketdan bosishga ruxsat etildi 22.01.2016. Bichimi 60×90^{1/16}.
«Tayms» harfida terilib, kegl 12,5, ofset usulida chop etildi.
Bosma tabogʻi 15,5. Nashr tabogʻi 14,5. 50 nusxa. Buyurtma № 4

«ILM ZIYO» nashriyot uyi, Toshkent, Navoiy koʻchasi, 30-uy.

«PAPER MAX» xususiy korxonasida chop etildi.
Toshkent, Navoiy koʻchasi, 30-uy.

И 78 R.I. ISAYEV. Radiotexnik o'lovlar.
Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'l-
lanma. – Toshkent: «ILM ZIYO», 2016. –
248 b.

UO'K: 621.37.1.08(075.32)
KBK 32.84

ISBN 978-9943-16-236-5