

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

O‘RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA‘LIMI MARKAZI

R. S. MARDONOV

**ELEKTORADIO ASHYOLAR VA
TIBBIYOT TEXNIKASINI
TA‘MIRLASH MANBALARI**

Kasb-hunar kollejlari uchun o‘quv qo‘llanma

Toshkent — «ILM ZIYO» — 2016

UO‘K: 612.014.421(075)

KBK: 32.843

M26

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

Mazkur darslikda elektroradio va tibbiyot texnikasida qo‘llaniladigan dielektrik, yarimo‘tkazgich, elektr o‘tkazgich va magnit materiallarning tuzilishi, ularda sodir bo‘ladigan hodisalarning fizik asoslari yoritilgan. Elektr xususiyatlari, ularning chastotaga bog‘liqligi ko‘rilgan, fizik-kimyoviy va mexanik tavsiflari keltirilgan. Elektroradio va tibbiyot texnikasida qo‘llaniladigan radiotexnik materiallar va ulardan turli detallar ishlab chiqarishning texnologik jarayonlari qisqa yoritilgan. Elektron asbob va qurilmalarni mikrominiatur (kichik o‘lchamlarda) tayyorlashda zarur bo‘ladigan turli materiallarning xususiyatlariga alohida e‘tibor qaratilgan.

Elektroradio va tibbiyot texnikasida elektronika passiv elementlari: rezistorlar, kondensatorlar, induktivlik g‘altaklari, transformator va drossellar, almashlab ulagichlar, filtrlarning tasniflari, asosiy parametrlari va tavsiflari haqida to‘liq ma’lumotlar to‘plangan.

O‘quv qo‘llanmada keltirilgan rasmlar va jadvallar uning matnini to‘ldiradi.

O‘quv qo‘llanma o‘rta maxsus va kasb-hunar kollejlarining «Asbob-sozlik» yo‘nalishida ta’lim olayotgan talabalar uchun mo‘ljallangan.

T a q r i z c h i : **M.I. Mahmudov** — Buxoro muhandislik texnologiyalari instituti «Elektroenergetika» kafedrası mudiri:

KIRISH

Ma'lumki, radioning kashf etilishi fan va texnika rivojlanishida yangi davrni boshlab berdi. Zamonaviy elektroradio va tibbiyot texnikasining ahamiyati radioeshittirish va aloqa bilan chegaralanmaydi, balki uning negizida boshqa yondosh sohalar ham rivojlanmoqda, misol tariqasida tibbiyot texnikalarida qo'llanishini keltirish mumkin. Ishlab chiqarish, ilmiy va kundalik hayotga axborot texnologiyalari kundan kunga ko'proq kirib bormoqda, axborot qabul qiluvchilarga ma'lumotlar yangi usullarda — elektron pochta, Internet va h.k. orqali yetkazilishi kuzatilmoqda. Axborotlar oqimini uzatishning yangi usullari axborotlarni tarqatish, optik tolali aloqa liniyalari hamda sun'iy yo'ldoshlar orqali uzatish tarmoqlaridan foydalanishni talab qiladi.

Ilgari elektroradio va tibbiyot texnikasi rivojlanishi uchun ko'plab katta detallar va qurilmalar kerak bo'lar edi. Ular qo'pol, katta hajmga ega, og'ir, yetarlicha ishonchlilikka ega bo'lmay, ishlab chiqarishda katta xarajatlar talab etar edi.

Texnikaning jadal rivojlanishi natijasida yangi yo'nalish — mikroelektronika yuzaga keldi. Mikroelektronika — integral sxemalar va ular asosida radioelektron qurilmalarni tadqiq etish, konstruksiyalash va ishlab chiqarishni o'z ichiga olgan elektronikaning zamonaviy yo'nalishidir. Mikroelektronikaning asosiy vazifasi ishonchliligi va takrorlanuvchanligi yuqori, arzon, kam energiya talab qiladigan va yuqori funksional murakkablikka ega mikrominiatur qurilmalar hosil qilishdan iborat. Bu jarayonni faqat elektron sxemalardagi energetik jarayonlarni minimizatsiyalash asosidagina amalga oshirish mumkin. Bu masalani hal

qilishning bir necha usullari mavjud: detal va elementlar o'lchamlarini kichraytirish; yangi elementlar yaratish (yarimo'tkazgichlar, aktiv dielektriklar, ferritlar); elementlarni ratsional joylashtirish; osma bog'lanishlarni bosma montajlari bilan almashtirish (fotolitografiya, vakuumli purkash va boshqa usullar bilan), elementlarga bir xil shakl va o'lchamlar berish yo'li bilan (modullar va mikromodullar); pardali texnologiya yoki yarimo'tkazgich material sirtini qayta ishlash — qattiq sxema hosil qilish asosida elementlar, qismlar va yaxlit (integral) sxemalar yaratish.

Mikroelektronikaning ko'pgina masalalari yarimo'tkazgich va dielektrik moddalar yordamida hal qilinadi. Chunki ularda elektr o'tkazuvchanligi turlicha bo'lgan kontakt sohalarni olish imkoniyati mavjud.

Radioelektronikaning barcha materiallarining konstruktiv belgilariga binoan: elektrotexnik, konstruksion va maxsus elektrotexnik materiallarga; elektr maydonidagi xususiyatlariga binoan: elektr o'tkazgich, dielektrik va yarimo'tkazgich; magnit maydonidagi xususiyatlariga binoan esa magnit va nomagnit materiallarga ajratish mumkin.

Elektroradio va tibbiyot texnikasining rivojlanishi yuqori texnologiya asosida radiotexnik materiallar ishlab chiqarish bilan bog'liq. Zamonaviy texnik tizimlar yaratish uchun nochiziqlik xususiyatiga, kuchaytirish va xotiraga ega bo'lgan element bazasi zarur. Ilgari bu maqsadda yarimo'tkazgich va dielektrik materiallar qo'llanilgan vakuum lampalar, keyin esa yarimo'tkazgich asosidagi elementlar bazasi, hozirgi kunda esa qattiq jism, gaz, plazma va hatto yadro hamda elementar zarrachalar fizikasi, kimyosi kabi butun klassik va yangi ishlab chiqarish yo'nalishlari qo'llanilyapti.

I BOB. ELEKTORADIO ASHYOLARNING ASOSIY XUSUSIYATLARI VA TAVSIFNOMASI

1.1. Elektoradio ashyolarning elektr tavsifnomasi

Elektoradio ashyolar radioelektron axborot tizimini yaratishda qo'llaniladi. Hisoblash texnikasi, televideniye, ishlab chiqarishning avtomatik tizimlari va boshqalar mazkur tizimga misol bo'la oladi.

Radioelektron axborot tizimida axborot signallari qabul qilinadi, saqlanadi, qayta ishlanadi va uzatiladi. *Axborot signali* ko'p hollarda elektr maydon yoki elektromagnit nurlanish yordamida shakllanadi. Elektr maydonida elektoradio ashyolar (moddalar) o'zini tutishiga ko'ra uch sinfga: o'tkazgichlar, yarimo'tkazgichlar va dielektriklarga bo'linadi.

Moddaning elektr maydonga nisbatan asosiy xossasi *elektr o'tkazuvchanlik*, ya'ni elektr maydon ta'sirida elektr toki o'tkazish xususiyati hisoblanadi. Modda elektr o'tkazuvchanligini miqdor jihatdan baholaydigan asosiy parametr — solishtirma elektr o'tkazuvchanlik hisoblanadi. *Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik* σ — bu Om qonunining differensial ifodasi bilan aniqlanadigan kattalik:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E},$$

bu yerda, $\vec{j}$ — tok zichligi vektori, ya'ni maydon kuchlanganligi vektori $\vec{E}$ ga perpendikular ravishda birlik yuzadan birlik vaqt ichida olib o'tiladigan elektr zaryadi.

Elektr zaryadini faqat erkin zaryad tashuvchilar (EZT) olib o'tishlari mumkin. Metallarda faqat elektronlar erkin harakatlanishi mumkin. Shu sababli metallardagi elektr toki — bu erkin elektronlarning harakitidir. O'tkazuvchi eritmalarda erkin elektronlar mavjud emas, shu sababli harakatchan zaryadlangan zarralar bo'lib ionlar hisoblanadi. Gazlarda ionlar ham, elektronlar ham harakatda bo'lishi mumkin, o'tkazgichlarda esa elektronlar va kovaklar.

Umuman, moddada bir vaqtning o'zida turli (turli kattalik, ishora, massa va boshqalarga ega bo'lgan) erkin zaryad tashuvchilar mavjud bo'lishi mumkin. Bu turdagi EZT konsentratsiyasini (birlik hajmdagi EZTlar soni) n_i orqali belgilaymiz. Berilgan kuchlanganlik $\vec{E}$ ga ega bo'lgan elektr maydoni ta'sirida mazkur zaryad tashuvchilar tartibli siljiy boshlaydi. Ularning tezligini $\vec{v}_i$ orqali ifodalaymiz. Bu holda elektr toki zichligi quyidagiga teng:

$$\vec{j} = \sum q_i n_i \vec{v}_i,$$

bu yerda, q_i — i -turdagi zaryad tashuvchi.

(1.1) va (1.2) larni solishtirib,

$$\sigma = \frac{\sum q_i n_i \vec{v}_i}{\vec{E}}$$

ga ega bo'lamiz.

Solishtirma elektr o'tkazuvchanlikka teskari bo'lgan kattalik —

$\rho = \frac{1}{\sigma}$ solishtirma elektr qarshilik deb ataladi. σ sm/m larda, ρ esa $\Omega \cdot m$ larda o'lchanadi.

Turli elektroradio ashyolarning ρ va σ qiymatlari bir-biridan katta farq qiladi. Agar o'ta o'tkazuvchanlik holatida moddaning solishtirma qarshiligi deyarli nolga teng bo'lsa, zaryadsizlangan

gazlarda esa cheksizlikka intiladi. Qattiq moddalar uchun normal sharoitda ρ qiymati 25 darajani egallaydi: $-\rho = 10^{-8} \Omega \cdot m$ dan (mis, kumush, aluminium) $\rho = 10^{17} \Omega \cdot m$ gacha (polimerlar).

Hozirgi vaqtda moddalarni elektr o'tkazuvchanligiga binoan uch turda tasniflash qabul qilingan.

Normal sharoitda (xona temperaturasi, atmosfera bosimi) ρ qiymatiga binoan solishtirma qarshiligi $10^{-5} \Omega \cdot m$ dan kichik bo'lgan moddalar *o'tkazgichlar*, $\rho = 10^7 \Omega \cdot m$ dan katta bo'lgan moddalar *dielektriklar*, $\rho = 10^{-6} - 10^9 \Omega \cdot m$ ga teng bo'lgan moddalar *yarimo'tkazgichlar* hisoblanadi.

Moddalarning bunday sof son jihatdan tasniflanishi shartli ravishda hisoblanadi, chunki solishtirma qarshilik faqat modda turiga emas, balki uning holati, xususan, temperaturaga ham bog'liq bo'ladi. Tuzilishi va tashqi sharoitlarga ko'ra ρ turlicha bo'lishi mumkin. Masalan, uglerod ikkita sodda modda — olmos va grafit ko'rinishida uchrashi mumkin. Aslida esa, olmos — dielektrik, grafit — o'tkazgich. Germaniy va kremniy kabi yarimo'tkazgichlar esa yuqori bosim ta'sirida o'tkazgichlarga, juda past temperaturalarda esa — dielektriklarga aylanadilar.

Solishtirma qarshilik ρ temperaturaga bog'liq. Bu bog'liqlik mazkur moddaning *qarshilikning temperatura koeffitsiyenti* bilan xarakterlanadi:

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}.$$

Bu kattalik temperatura bir gradusga ortganda qarshilikning nisbiy ortishini bildiradi. Mazkur modda uchun qarshilikning temperatura koeffitsiyenti turli temperaturalarda turlichadir, ya'ni temperatura o'zgarishi natijasida qarshilikning o'zgarishi chiziqli qonuniyatga mos ravishda emas, balki ancha murakkab ko'ri-

nishdagi bog‘liqlikka ega. Qarshilikning temperatura koeffitsiyenti ham musbat, ham manfiy qiymatga ega bo‘lishi mumkin.

Agar absolut nol temperaturada moddaning elektr o‘tkazuvchanligi nolga teng bo‘lib, temperatura ortishi bilan bu kattalik qiymati ham ortib borsa, bunday moddalar yarimo‘tkazgichlar sinfiga mansub bo‘ladi. Dielektrlklarda elektr o‘tkazuvchanlikning temperatura koeffitsiyenti keng temperatura intervalida nolga teng.

O‘tkazgichlarda esa elektr o‘tkazuvchanlik noldan farqli, temperatura koeffitsiyenti esa manfiy bo‘ladi.

Shu vaqtgacha biz sof, ya’ni kiritmasiz moddalarning elektr o‘tkazuvchanligi haqida gap yuritgan edik. Elektr o‘tkazuvchanlikni moddaga boshqa moddaning juda kichik miqdorda kiritma atomini kiritish bilan ham keng diapazonda o‘zgartirish mumkin. Yarimo‘tkazgichlarga elektr jihatdan aktiv kiritma kiritilganda elektr o‘tkazuvchanlik ortadi. O‘tkazgichlarda esa kiritma kiritilishi bilan elektr o‘tkazuvchanlik kamayadi. Dielektrlklarda kiritma kiritilishi bilan elektr o‘tkazuvchanlik yuzaga kelmaydi, faqat ularning rangi o‘zgaradi.

Boshqa elektr izolatsion materiallar berilgan sig‘imga ega bo‘lgan elektr kondensatorlarda dielektrlklar sifatida qo‘llaniladi.

Dielektrlk materiallarga *aktiv dielektrlklar* ham kiradi. Ular oddiy dielektrlklardan (elektr izolatsion materiallardan) shu jihati bilan farqlanadiki, ularning xossalarini tashqi ta’sirlar yordamida boshqarish mumkin. Aktiv dielektrlklar o‘zlariga xos xususiyatlarga mos ravishda o‘z nomlariga egadir.

Segnetoelektrlklar elektr maydoni ta’sirida, pyezoelektrlklar — tashqi mexanik kuchlanish, piroelektrlklar — issiqlik yoki sovuq ta’sirida qutblarini o‘zgartiradi. Elektrlklar elektrlanish yoki qutblanish hisobiga qutblarini o‘zgartiradi va saqlab qoladi. Elektr optik dielektrlklarda sinish ko‘rsatkichi tashqi elektr maydon kuch-

langanligi, nohiziqli optik dielektrlarda esa yorug'lik nuri tushayotgan elektr maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'ladi. Aktiv dielektrlarga lazer va mazerlar tayyorlashda qo'llaniladigan materiallar kiradi.

Barcha aktiv dielektrlar elektr signallarni generatsiyalash, kuchaytirish yoki modulatsiyalashda qo'llaniladi, ya'ni o'zgartirish uchun u yoki bu sxemalarning tashkil etuvchisi hisoblanadi.

1.2. Elektroradio ashyolarning issiqlik tavsifnomasi

Qattiq jismlarning qattiq holatdan suyuq holatga o'tish jarayoni erish deyiladi. Erish jarayonida qattiq jism kristall panjarasi parchalanadi. Erish, ma'lum erish temperaturasida sodir bo'ladi. Ko'pgina qattiq jismlarda erish jarayoni ular hajmining ortishi bilan kechadi.

Moddaning suyuq holatdan qattiq kristall holatiga o'tishi *kristallashish (qotish)* deb ataladi. Barcha sof kimyoviy suyuqliklar uchun bu jarayon o'zgarmas kristallashish temperaturasida sodir bo'ladi, u esa o'z navbatida erish temperaturasiga son jihatdan teng bo'ladi.

Amorf materiallarda (shisha, smola va boshqalar) keskin ko'rinishdagi erish temperaturasi mavjud emas, balki *yumshash darajasi* mavjuddir. Yumshash darajasi turli sharoitlarda turlicha aniqlanadi. Mahsulotlarning temperaturasi yumshash darajasiga yaqinlashgach ularning mexanik mustahkamligi kamayadi va natijada ular deformatsiyalanadilar.

Issiqlik o'tkazuvchanlik. Issiqlik o'tkazuvchanlik deganda, o'tkazgich va magnit o'tkazgich materiallardan ajralib chiqayotgan issiqlikning izolatsiya qatlamidan o'tib, atrofga tarqalishi tushuniladi.

O'tkazgich va magnit o'tkazgichlarning qizishi elektr izolatsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligiga bog'liq. Yuqori kuchlanish qurilmalarida qalin izolatsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligi alohida e'tiborga loyiq.

Materiallarning issiqlik o'tkazuvchanligi son jihatdan *issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti* λ bilan ifodalanib, temperatura gradiyenti 1 K/m bo'lganda birlik vaqt ichida birlik yuzadan o'tayotgan issiqlik miqdorini bildiradi.

Ba'zi dielektriklarning solishtirma issiqlik o'tkazuvchanlik qiymatlari 1.1-jadvalda keltirilgan.

1.1-jadval

Modda	λ , W/(m·K)	Modda	λ , W/(m·K)
Havo (kichik oraliqlarda)	0,05	Farfor	1,6
Bitumlar	0,07	Steatit	2,2
Qog'oz	0,10	Titan ikki oksidi	6,5
Lok mato	0,13	Kristall kvars	12,5
Getinaks	0,35	Aluminiy oksidi (Al ₂ O ₃)	36
Suv	0,58	Magniy oksidi (MgO)	36
Eritilgan kvars	1,25	Berilliy oksidi (BeO)	218

Issiqlik kengayishi. Ixtiyoriy moddaning issiqlik kengayishi K^{-1} birlikda o'lchanadigan kattalik bilan baholanadi:

$$TKIP = \alpha l = \frac{1}{l} \times \frac{dl}{dT},$$

bu yerda, l — berilgan materialdan tayyorlangan mahsulotning ixtiyoriy chiziqli o'lchami.

Kichik α l qiymatiga ega bo'lgan materiallar, odatda, ancha yuqori issiqlikka chidamlilik qiymatiga ega bo'ladilar va aksincha. Ba'zi elektr izolatsion materiallarning 20 dan 100°C gacha bo'lgan temperatura oralig'idagi chiziqli kengayishning temperatura koeffitsiyenti qiymatlari 1.2-jadvalda keltirilgan.

1.2-jadval

Material	$\alpha l \cdot 10^{-6}$	Material	$\alpha l \cdot 10^{-6}$
Polivinilasetat	265	Polivinilformal	64
Polivinilxlorid	160	Epoksid smolalar	55
Polietilen	145	Sluda	37
Selluloza asetati	120	Silikat	9,2
Neylon	115	Keramika	7
Politetraftoretlen	100	Steatit	6,6
Polimetilmetakrilat	70	Farfor	3,5
Polistirol	68	Eritilgan kvars	0,55

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, organik dielektriklar chiziqli kengayishining temperatura koeffitsiyenti noorganik dielektriklarnikiga nisbatan keskin ravishda yuqori bo'ladi. Shuning uchun noorganik materiallardan yasalgan detallarning o'lchamlari xona temperaturasida yuqori barqarorlikka ega bo'ladi.

Issiqlikka chidamlilik. Elektr izolatsion materiallar va mahsulotlarning qisqa va uzoq vaqt yuqori temperatura ta'sirida ham elektr izolatsion xossalarini yo'qotmaslik xususiyati *issiqlikka chidamlilik* deb ataladi. Elektrotexnikada izolatsion materiallarning issiqlik xossalari materiallarning agregat holatiga bog'liq bo'ladi.

Noorganik qattiq dielektriklar (farfor, kvars, shisha, minerallar va boshqalar) elektr xossalariining o'zgarishi boshlanishidan aniqlanadi. Masalan, $\text{tg}\delta$ ning sezilarli ortishi yoki solishtirma elektr qarshilik ρ ning kamayishi.

Organik qattiq dielektriklar (smolalar, bitumlar, loklar, kompaundlar, tabiiy kauchuk, sun'iy kauchuk, plastik massalar, tolali materiallar)ning issiqlikka chidamliligi cho'zilish yoki siqilish kabi mexanik deformatsiyalar boshlanishidan aniqlanadi.

Suyuq dielektriklar (neft, o'simlik moylari va sun'iy organik suyuqliklar)ning issiqlikka chidamliligi chaqnash va yonish temperaturasi bilan aniqlanadi.

Chaqnash temperaturasi deganda — uncha katta bo'lmagan alanga yaqinlashtirilganda suyuqlik temperaturasi ortishi bilan uning bug'lari havo bilan aralashishi natijasida chaqnash sodir bo'ladigan temperatura tushuniladi. *Yonish temperaturasi* deganda, alanga yaqilashtirilganda suyuqlik yonib ketadigan, yanada yuqori temperatura tushuniladi.

Yuqori temperaturaning qisqa yoki uzoq vaqt ta'sir etishi natijasida elektr izolatsiya sifati yomonlashishi mumkin. Bu jarayon *izolatsiyaning issiqlik eskirishi* deyiladi. Bu vaqtda sekin kechadigan kimyoviy reaksiyalar natijasida yoki oksid mahsulotlar (transformator moylari) yuzaga keladi yoki mahsulotlarning (lokli va boshqa pardali izolatsion qoplamalar) qattiqligi, mo'rtligi ortadi, yoriqlar hosil bo'ladi va asosdan ortda qolishi kuzatiladi.

Eskirish temperaturasi o'rtacha 10 K (Kelvin)ga orttirilsa, ko'p materiallarning eskirish muddati ikki martaga qisqaradi.

Temperaturadan tashqari eskirish tezligiga havo bosimi yoki kislorod konsentratsiyasining ortishi, azonning mavjudligi sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Namunaga ultrabinafsha nurlar, elektr maydon, mexanik yuklamalar va boshqalar ta'sir etganda issiqlik eskirishi tezlashadi.

Elektr qurilmalarda (uzoq vaqt issiqlik ta'sir ettirilganda) elektr jihatdan izolatsiyalashda qo'llaniladigan materiallar, issiqlik chidamliligiga binoan 7 sinfga ajratiladi (1.3-jadval).

1.3-jadval

Issiqlikka chidamlilik sinfi	Y	A	E	B	F	H	C
Ishchi tempe- ratura, °C	90	105	120	130	155	180	180 dan yuqori

Ishchi temperatura deganda, elektr qurilmalarda elektr izo-
latsion materiallar qo'llanganda, uzoq vaqt mobaynida normal
ekspluatatsiya sharoitida ishlashi mumkin bo'lgan maksimal
temperatura tushuniladi.

Y izolatsion materiallar sinfiga selluloza va ipak asosida (qo-
g'oz, taxta, karton, mato, lentalar, paxta tolali mato, polivinil-
xlorid va vulqonlangan tabiiy kauchuk) tayyorlangan, suyuq
dielektrikka botirilmagan va shimdirilmagan materiallar kiradi.

A sinfiga yuqorida ko'rib o'tilgan tolali materiallar kiradi,
lekin ular moy yoki boshqa loklar, kompaundlar yoki suyuq
elektroizolatsion materialga botirilgan bo'ladi. Natijada ular kislorod
bilan birikishdan, ya'ni issiqlik hisobiga eskirishning tezlashishi-
dan saqlangan. A sinf tarkibiga polivinilxlorid loklar va poliamid
pardalarda yasalgan emallangan simlarning izolatsiyasi ham kiradi.

E sinfiga qatlamli plastiklar va organik to'ldirgich, termore-
aktiv bog'lovchi (getinaks, tekstolit va boshqalar), polietilente-
reftalat parda, suyuq loklar asosida emallangan simlarning izola-
tsiyalari kiradi.

Demak, issiqlikka chidamlilikning Y, A va E sinflariga,
asosan, sof organik elektroizolatsion materiallar kiradi.

B sinfini noorganik materiallar: sluda, shisha tola, organik bog‘lovchilar va shimdiriladigan materiallar bilan aralashgan asbest hamda politrifyorxloretilen, noorganik to‘ldirgichlarga ega epoksid kompaundlar va boshqalar tashkil etadi.

F sinfiga sluda, shisha tola va ancha yuqori issiqlikka chidamli bog‘lovchilar va shimdiriladigan materiallar bilan aralashgan asbest hamda poliefiremid va poliefirstianurat loklar asosidagi emallangan simlarning izolatsiyalari kabi materiallar kiradi.

H sinfiga mansub materiallar sluda, shisha tola va tarkibida maxsus yuqori issiqlikka chidamli bo‘lgan kremniy organik smola kabi bog‘lovchilari bor va shimdiriladigan asbest asosida olinadi.

C sinfini umuman bir-biriga yopishmaydigan yoki organik birikmalar (sluda, elektrotexnik keramika, kvars, asbest, mika-leks va boshqalar) shimadigan sof noorganik materiallar tashkil etadi. C sinfiga barcha organik elektroizolatsion materiallardan — politetrafitoretillen va poliamid materiallar: pardalar, tolalar, emallangan simlarning izolatsiyasi kiradi.

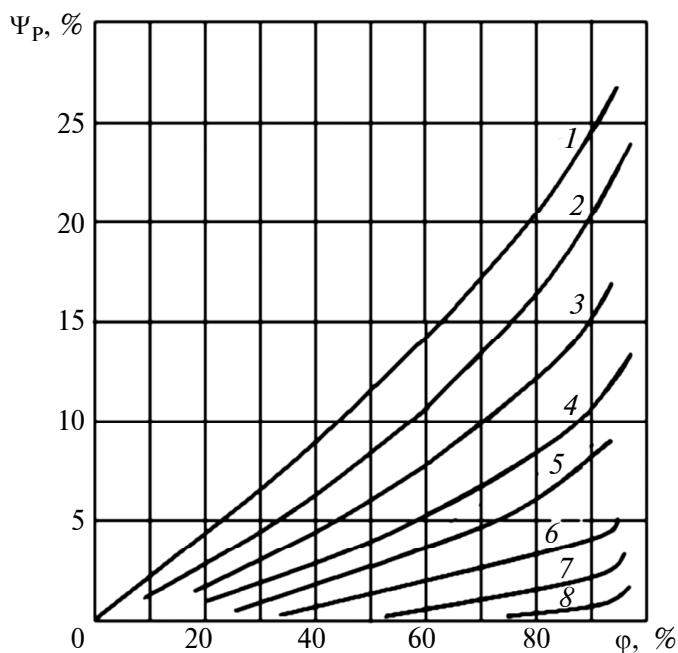
Elektr izolatsion materiallar va mahsulotlarning past temperatura — (60—70°C) hamda juda past (kriogen) temperaturalarda ham ekspluatatsion ishonchliligini saqlab qolish qobiliyati *sovuqqa chidamlilik* deb ataladi. Sovuqqa chidamli materiallar samolyotlarning elektr va radio uskunalarida, aloqa uzatish liniyalarida qo‘llaniladi. Past temperaturalarda, odatda, izolatsion materiallarning xossalari yaxshilanadi. Lekin normal sharoitlarda egiluvchan va elastik materiallar past temperaturalarda mo‘rtlashadi va dag‘allashadi. Natijada izolatsiya sifati yomonlashadi.

Namlik xossalari. Ko‘pgina elektroizolatsion materiallar *gigroskoplik* xossasiga, ya’ni tashqi muhitdan namlik yutish va namlikni singdirish, ya’ni o‘zidan namlik o‘tkazish xossasiga egadir.

Atrof-muhitning o'zgarmas nisbiy namlik va temperaturasi Ψ da gigroskopik materiallar teng namlik qiymatiga, ya'ni materialning birlik massasida bir xil namlik darajasi ϕ ga egadir.

Agar namunaning birlamchi namligi Ψ materialning teng namlik qiymati Ψ_p dan ortsa, namlik kamayib boradi va o'zining teng namlik qiymati Ψ_p ga yaqinlashib boradi va aksincha. Turli materiallar uchun atrof-muhit namligi bir xil bo'lgan sharoitda teng namlik kattaligi qiymati keskin farqlanadi (1.1-rasm).

Materialning gigroskopligi uning tuzilishiga bog'liq. G'ovaklari ko'p bo'lgan, xususan, tolali materiallar, zichligi yuqori bo'lgan tekis tuzilishga ega bo'lgan materiallarga nisbatan gigroskopligi yuqori bo'ladi. Materialning gigroskopligi qaysidir ma'noda elektroizolatsion material nam bo'lganda uning elektr xossalari



1.1-rasm. Turli materiallarning bir xil namlik qiymatida havoning nisbiy namligi.

qay darajada o'zgarishi mumkinligini aks ettiradi. Agar yutilgan namlik izolatsiya ichida elektrodlar orasidan o'tuvchi ip yoki parda hosil qilish imkoniyatiga ega bo'lsa, u holda juda kichik miqdorda yutilgan namlik izolatsiya sifatining kuchli ravishda buzilishiga olib kelishi mumkin. Qog'oz xuddi shunday xususiyatga ega. Masalan, 3 % namlikka ega bo'lgan qog'ozning solishtirma qarshiligi absolut darajada quruq qog'ozning solishtirma qarshiligidan million marta kichik bo'ladi. Boshqa elektroizolatsion materiallarda namlik hajm bo'ylab alohida, bir-biri bilan bog'liq bo'lmagan kichik qismlar ko'rinishida taqsimlanadi. Bu vaqtda namlikning material elektr xossalariga ta'siri sezilmaydi. Bunday materiallarga kauchuk misol bo'la oladi.

Unda namlikning ortishi faqat solishtirma qarshilikning sezilarsiz kamayishiga olib keladi.

Nam yutish yoki o'zidan suv bug'larini o'tkazish qobiliyati materialning asosiy xossalaridan biri hisoblanadi. Bu xossa qoplama (kabel shlangalari, kondensatorlarning kompaundlari, elektr mashinalarning lok qoplamalari va b.) sifatida qo'llaniladigan materiallarning sifatiga baho berishda alohida hisobga olinadi. Shisha, keramika va metallardan tashqari materiallar sezilarli nam yutish xossasiga egadir.

Elektr apparatura uzoq vaqt ishlatilganda namlik organik dielektrlarga singib, mog'or (materialga singib, uning parchalanishiga olib keladigan fermentlar ajratadigan qo'ziqorin iplari) bosishga olib keladi. Mog'orning paydo bo'lishi dielektrik yuzasi qarshiligini kamaytiradi, yo'qotishlarning ko'payishiga olib keladi, izolatsiyaning mexanik mustahkamligining kamayishiga hamda unga birikkan metall qismlarning yemirilishiga ham sabab bo'ladi. Selluloza materiallar, jumladan, shimdirilganlari (getinaks, tekstolit), konifol, moy loklari va boshqalar mog'or bosishiga molik

hisoblanadi. Noorganik dielektriklar: keramika, shisha, sluda, kremniy organik materiallar va ba'zi organik moddalar, masalan, epoksid smola, ftoroplast-4, polietilen, polistirollar mog'or bosishiga chidamlilikka egadir.

G'ovakli izolatsion materiallarning gigroskoplik va nam yutish xossalarini yo'qotish emas, kamaytirish uchun ularni shimdirish keng qo'llaniladi. Gap shundaki, shimdirilgan moddalarning molekulari suv molekulariga nisbatan (suv molekulasi diametri $2,5 \cdot 10^{-10}$ m ni tashkil etadi) ancha katta o'lchamlarga ega bo'lib, materialdan umuman nam o'tmasligini ta'minlay olmaydi.

1.3. Elektroradio ashyolarning mexanik va fizik-kimyoviy tavsifnomasi

Kimyoviy xossalari. Dielektriklarning kimyoviy xossalarini yaxshi bilish ularni uzoq vaqt turli kimyoviy aktiv moddalar (gaz, suv, kislota, ishqor, suyuq eritmalar va b.) ta'siriga chidamliligiga baho berishda muhim hisoblanadi. Turli dielektriklarda bu ta'sirlarga chidamlilik turlichadir.

Detallar ishlab chiqarishda elektroradio ashyolar turli kimyoviy-texnologik usullar yordamida qayta ishlanadi: yopishtiriladi, eritmalarda lok hosil bo'lishi bilan eritiladi va boshqalar. Qattiq materiallarning eruvchanligi eritma yoki to'yingan eritma konsentratsiyasi bilan ta'sirga uchraydigan material yuzasida (sirtida) birlik vaqt ichida eritma holiga o'tayotgan material soni bilan baholanadi.

Odatda, kimyoviy tabiati eritmaga o'xshash bo'lgan va molekularida o'xshash atom guruhlariga ega bo'lgan moddalar (qutbli moddalar — qutbli suyuqliklarda, neytral moddalar — neytral suyuqliklarda) oson eriydi. Masalan, qutbsiz yoki kuchsiz qutblangan uglevodorodlar (parafin, kauchuk) suyuq uglevodorod

(benzin)larda, gidrooqsil guruhlarga ega bo'lgan qutbli smolalar (fenolformaldegid smolalar) spirt va boshqa qutbli eritmalarda oson eriydi. Molekular massaning qutblanish darajasi ortgan sari eruvchanlik kamayadi. Temperatura ortgan sari, odatda, eruvchanlik ortadi. Keyingi boblarda materiallarning ancha xavfli tashqi ta'sirlarga nisbatan kimyoviy chidamliligi batafsil yoritilgan.

Radiatsiyaga chidamlilik. Zamonaviy sharoitlarda qisqa yoki uzoq vaqt radioaktiv nurlanish yoki turli energiya zarralari (atom elektr stansiyalari, reaktorlar va b.) ta'sirida ishlay oladigan materiallar va radioelektron mahsulotlar soni ortib bormoqda. Bu vaqtda materiallarning nurlanish ta'sirlariga chidamlilik, o'zlarining elektr va mexanik xossalarini saqlab qolish xususiyatlari darajasini, ya'ni *radiatsiyaga chidamliligi*ni bilish talab qilinadi.

Qattiq va yumshoq radiatsion nurlanish, yuqori chastota elektronlari, og'ir zaryadlangan zarrachalar (protonlar, alfa-zarrachalar) va neytronlar modda tomonidan yutilib, turli radiatsion nuqsonlarning (bo'sh tugunlar va tugunlar orasidagi xususiy ionlar, yoki kristall panjarada begona atomlarning) yuzaga kelishiga sabab bo'ladi.

Rentgen va gamma nurlari, yuqori energiya elektronlari, protonlar, alfa-zarrachalar va neytronlar modda tomonidan yutiladi. Bu vaqtda materiallarning nurlanish ta'siriga chidamliligi, ularning elektr va mexanik xossalarini saqlab qolish xususiyati, qisqasi radiatsiyaga chidamlilik darajasini bilish muhim.

Radiatsion nuqsonlar soni vaqt o'tishi bilan yig'ilib boradi. Shu sababli radiatsiyaga chidamlilik modda tomonidan yutilayotgan nurlanish dozasining yig'indisi bilan aniqlanadi.

Yutilayotgan rentgen va gamma-nurlari dozalari rentgen (R) va K1/kg ($1 \text{ rentgen} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ K1/kg}$), korpuskular nurlanish — rad i Dj/kg ($1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Dj/kg}$) birligida o'lchanadi.

Boshqa tomondan, radiatsion ta'sir natijasida material strukturasini o'zgartirish yoki unda yangi xususiyatlar (polimerlarni radiatsion ulash, yarimo'tkazgichlarni legirlash va h.k.) yuzaga keltirish mumkin.

Ion legirlash (yarimo'tkazgich sirtiga kiritma ionlarini kiritish) yordamida integral mikrosxema (IMS) larning tranzistorli strukturalari yaratiladi. Buning uchun maxsus manbadan elektr maydon ta'sirida ionlar tezlatiladi va IMS plastinasi tomon yo'naltiriladi.

Materialda nurning yutilishi material tabiati va nurlanish sifatiga bog'liq bo'ladi. Masalan, yarimo'tkazgich materiallar 10^{18} neytron/m² dozadagi reaktor nurlanishida buziladi. Ko'pgina dielektriklar esa yuqoriroq radiatsiyaga chidamlilikka ega. Ular 10^{22} neytron/m² dozagacha chidamlilikka ega.

Muayyan qo'llanilishi uchun mo'ljallangan radiomaterial tanlashda faqat uning elektr xossalari emas, balki mexanik va issiqlik xossalari, namlik, radiatsiyaga va boshqa tashqi ta'sirlarga chidamliligi ham hisobga olinishi zarur.

Mexanik xossalari. Jismga tashqi mexanik ta'sir ko'rsatish atomlarni muvozanat holatidan chiqaradi, jism shakli va hajmini o'zgartiradi, ya'ni uni deformatsiyalaydi. Deformatsiyalangan qattiq jismda deformatsiyani yuza keltiruvchi, tashqi kuch ta'siriga teskari yo'nalishda bo'lgan ichki elastik kuch F_{elast} yuzaga keladi.

Jism kesimining birlik yuzasiga mos keluvchi, son jihatdan elastik kuchga teng bo'lgan fizik kattalik mexanik kuchlanish σ deb ataladi:

$$\sigma = \frac{F_{elast}}{S},$$

bu yerda, F_{elast} — elastiklik kuchi, S — kesim yuzasi.

Kesim yuzasi bo‘ylab kuchlanish o‘zgaras deb faraz qilinadi.

Deformatsiya birligi bo‘lib, nisbiy deformatsiya $\frac{\Delta l}{l}$, ya’ni jism uzunlashishining Δl uning dastlabki uzunligi l ga nisbati hisoblanadi.

Guk qonuniga binoan, nisbiy deformatsiya kuchlanishga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{K},$$

bu yerda, K — elastiklik moduli.

Bir tomonlama cho‘zilish deformatsiyaning sodda turi hisoblanadi. Bu vaqtda elastiklik moduli K — *Yung moduli* ($K=E$) deb ataladi. Yung moduli son jihatidan jism uzunligi 2 baravarga uzunlashishi (qisqarishi) yuz beradigan kuchlanishga teng bo‘ladi: $\Delta l = l$ bo‘lganda $E = \sigma$.

Mustahkamlik. Kuchlanishning deformatsiyaga chiziqli bog‘liqligi, ya’ni Guk qonuni faqat ma’lum chegaralarda saqlanib qoladi. Ma’lum σ_T qiymatga yetganda, deformatsiya chiziqli qonunga nisbatan tezroq o‘zgara (orta) boshlaydi. $\sigma < \sigma_T$ bo‘lganda, kuchlanish ta’siri to‘xtatilgach namuna shakli tiklanmaydi. σ_T kuchlanish *sizilish chegarasi* deb ataladi. Mexanik kuchlanishning yanada kuchaytirilishi namunaning buzilishiga olib keladi. Bu jarayon *mustahkamlik chegarasi* σ_{must} deb ataluvchi kuchlanish qiymatida sodir bo‘ladi. Shisha, keramika kabi materiallarda plastik deformatsiya kuzatilmaydi va namuna shu zahotiyiq buziladi: $\sigma_{must} = \sigma_T$. Bunday moddalar *mo‘rt* deb ataladi. Mo‘rt materiallar qisqa vaqtli yuklamalar ta’sirida ham oson buziladi. Ko‘pgina polimerlarda esa, aksincha, plastik deformatsiya oralig‘i juda keng bo‘lib, $\sigma_T = \sigma_{must}$ bir necha o‘n martaga yetishi mumkin. Shuning uchun ular *plastik moddalar* deb ataladi.

Har bir material *cho'zilganda* (σ_{ch}), siqilganda (σ_s), egilganda (σ_e) o'zining mustahkamlik chegarasiga ega bo'ladi. Metallarda bu uch turdagi mustahkamlik chegarasi bir xil tartibga ega bo'ladi. Dielektrlklarda esa ular kuchli ravishda farqlanadi: $\sigma_s \ll (\sigma_{ch}, \sigma_e)$. Mustahkamlik chegarasi mexanik kuchlanish birligi — paskallarda (Pa) o'lchanadi.

Mexanik mustahkamlik moddadaagi molekula bog'lanish turiga bog'liq bo'ladi: kovalent bog'lanishga ega kristallar (olmos, kremniy, germaniy) eng katta va molekular bog'lanishga ega kristallar (parafin) eng kichik qiymatga ega bo'ladi.

Metall o'tkazgichlarning mexanik xossalari ko'p darajada mexanik va temperatura jihatidan ishlov berishga, kiritma mavjudligiga va boshqalarga bog'liq bo'ladi. Kuydirish (keyingi sovitish yo'li bilan bir necha yuz darajagacha qizdirish) σ_p qiymati $\frac{\Delta l}{l}$ ning sezilarli kamayishi va ko'payishiga olib keladi.

Uyushqoqlik. Uyushqoqlik (yoki ichki ishqalanish) deganda suyuqlik (va gazlar) ning suyuqlikning bir qismi ikkinchisiga nisbatan siljiganda qarshilik ko'rsatish xossasi tushuniladi. Suyuqliklarning bu xossasi son jihatidan uyushqoqlik koeffitsiyenti η (yoki oddiy uyushqoqlik) bilan aniqlanadi. Uyushqoqlik Paskal's (Pa·s) birligida o'lchanadigan *dinamik uyushqoqlik* hamda kvadrat metrning sekundga nisbati (m^2/s) bilan o'lchanadigan η ning suyuqlik zichligiga nisbati bilan aniqlanadigan *kinematik uyushqoqlik* turlariga bo'linadi. Masalan: suv va spirtning uyushqoqligi glitserin va surtiladigan hamda shimdiriladigan moylarning uyushqoqligiga nisbatan ming marta kichik.

Temperatura ortgan sari uyushqoqlik kuchli ravishda kamayadi. Temperatura 0°C dan 100°C gacha o'zgartirilganda moylarning uyushqoqligi yuz martaga kamayadi. Shuning uchun surtiladigan

va shimdiriladigan izolatsion materiallar qizdirilgan holatda, ular juda kichik g'ovaklarni ham to'ldira oladigan holatda quyiladi.

Nazorat savollari

1. Elektoradio ashyolarning qanday asosiy turlarini bilasiz?
2. Elektoradio ashyolar qanday asosiy parametrlar bilan baholanadi?
3. Moddaning elektr o'tkazuvchanligi va solishtirma elektr o'tkazuvchanligi deganda nimani tushunasiz?
4. O'tkazgich materiallarga ta'rif bering va misollar keltiring.
5. Yarimo'tkazgich materiallarga ta'rif bering va misollar keltiring.
6. Dielektrik materiallarga ta'rif bering va misollar keltiring.
7. Elektoradio ashyolarning issiqlik tavsifnomalari.
8. Elektoradio ashyolarning mexanik va fizik-kimyoviy tavsifnomalari.

II BOB. YARIMO‘TKAZGICH MATERIALLAR

2.1. Yarimo‘tkazgichning fizik modeli

Yarimo‘tkazgich deb xona temperaturasida solishtirma o‘tkazuvchanligi 10^4 — 10^{-10} sm/sm ni tashkil qiladigan, ya’ni o‘tkazgichlar (metallar) va dielektriklar solishtirma o‘tkazuvchanligining oralig‘ida joylashgan moddalarga aytiladi.

Amaliyotda keng qo‘llanilayotgan yarimo‘tkazgich materiallarni quyidagi guruhlarga bo‘lish mumkin: *oddiy (sodda) yarimo‘tkazgichlar* (elementlar), *yarimo‘tkazgichli kimyoviy birikmalar* va *yarimo‘tkazgich komplekslar* (masalan, keramik yarimo‘tkazgichlar).

Sodda yarimo‘tkazgichlarga bo‘r, kremniy, germaniy, fosfor, margimush, oltingugurt, selen, tellur va yod kiradi. SiC, InSb, GaAs, GaP, InP, InAs, GaSb, CdS, CdSe, PbS lar yarimo‘tkazgichli kimyoviy birikmalar hisoblanadi. Keng tarqalgan yarimo‘tkazgichli kompleks bo‘lib tirit — gil tuproq bilan mahkamlangan SiC urug‘lari va silit — suyuq shisha bilan bog‘langan SiC urug‘lari hisoblanadi.

Yarimo‘tkazgichli materiallar kristall va amorf, qattiq va suyuq bo‘lishi mumkin. Ko‘p yarimo‘tkazgichlar kristall qattiq jismni tashkil etadi. Tuzilishidagi va kimyoviy tarkibidagi farqlariga qaramasdan barcha yarimo‘tkazgichli materiallar tashqi energetik ta’sir natijasida o‘z elektr xossalarini kuchli ravishda o‘zgartirishlari mumkin.

Qattiq jismlarning elektr xossalari erkin elektronlarning konsentratsiyasi bilan aniqlanadi. Potensiallar farqi ta’sirida ma’lum

[illegible]

24

Vertikal o'q bo'ylab energiya W qo'yilgan. Metallarda o'tkazuvchanlik zonasida valent zonasiga kirishib ketgan bo'ladi.

Dielektriklarda esa taqiqlangan zona kengligi bir necha elektron-voltni (elektron-volt, bu elektron 1 V potentsiallar farqidan olgan energiyasi) tashkil etadi. Eng keng qo'llaniladigan yarimo'tkazgichlarning taqiqlangan zona kengligi $0,5 \div 2,5$ eV ni tashkil etadi.

Energetik sathlarning egallanganlik holati kristallarning elektr o'tkazuvchanligida namoyon bo'ladi. Tashqi manba hisobiga kristalda elektr tokni yuzaga keltirish uchun elektr maydon hosil qilinadi. Bu maydon elektronlarni tezlatadi va ularning energiyasini oshiradi. Zona diagrammasi tilida bu jarayon *elektronlarning qo'zg'atilishi* deyiladi. Bunda elektronlar dastlabki egallab turgan energetik sathidan zonaning boshqa yuqoriroq sathiga ko'chadi. Elektronlar bilan butkul to'lgan zonadagi elektronlar o'z energiyalarini o'zgartira olmaydilar va shu sababli elektr toki hosil qilishda ishtirok eta olmaydilar. Demak, $T=0$ K da yarimo'tkazgichning elektr o'tkazuvchanligi nolga teng.

2.2. Xususiy yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi

Xususiy yarimo'tkazgichlarda, noldan farqli temperaturada elektronlarning bir qismi valent zonadan yuqoriroq sathlarga — o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi. Bunday o'tishga yetarli bo'ladigan energiya taqiqlangan zona kengligi bilan aniqlanadi. O'tkazuvchanlik zonasining biror energetik sathiga mos energiyaga ega elektronlar, *erkin elektronlar* deb ataladi. Chunki ular elektr maydon ta'sirida kristall ichida harakatlanishlari mumkin. O'tkazuvchanlik zonasiga o'tgan elektronlar valent zonada to'lmagan

energetik sathlarni — kovaklarni qoldiradilar. Bu sathlar valent zonaning boshqa elektronlari bilan to'ldirilishi mumkin. Bu kovaklarning harakatini bildiradi. Kovaklar elektronlarga teng musbat zaryadga egadir. Elektronni valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish jarayoni *elektron-kovak juftligining generatsiyasi* deb ataladi. Elektronlarning o'tkazuvchanlik zonasidan valent zonasiga qaytishi — *elektron va kovak rekombinatsiyasi* (yo'qolishi)ga olib keladi.

Termogeneratsiya natijasida xususiy yarimo'tkazgichda yuzaga keladigan erkin elektronlar konsentratsiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$n_i = N_C \exp\left(\frac{-\Delta W}{2KT}\right),$$

bu yerda, ΔW — taqiqlangan zona kengligi; N_C — o'tkazuvchanlik zonasidagi effektiv zichlik holati (germaniy uchun $N_C=5 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$, kremniy uchun $N_C=2 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$).

Kovaklar soni erkin elektronlar soniga teng:

$$p_i = n_i.$$

Elektron va kovaklarning konsentratsiyasidagi i indeksi (intrinsic — «xususiy» so'zidan olingan) xususiy zaryad tashuvchilar ekanini bildiradi.

Elektr o'tkazuvchanlik son jihatidan solishtirma elektr o'tkazuvchanlik kattaligi bilan xarakterlanadi. Xususiy yarimo'tkazgichlar uchun

$$\sigma = qn_i\mu_n + qp_i\mu_p,$$

bu yerda, μ_n , μ_p — mos ravishda elektron va kovaklarning harakatchanligi.

Elektron — kovak juftlarining generatsiyasi yarimo'tkazgich yorug'lik nuri bilan yoritilganda ham sodir bo'ladi. Agar yorug'lik

nuri fotonlari energiyasi $h\nu = \frac{1,23}{\lambda}$ taqiqlangan zona kengligidan ortib ketsa, u holda foton valent elektronni qo'zg'atishi mumkin. Natijada elektron valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tadi. Bu hodisa *ichki fotoeffekt* deb ataladi. Demak, yarimo'tkazgichga yorug'lik nuri tushirilganda uning zaryad tashuvchilar konsensiyasi va solishtirma elektr o'tkazuvchanligi ortadi:

$$\sigma' = q\mu_n (n_i + \Delta n) + q\mu_p (p_i + \Delta p),$$

bu yerda, $n_i = p_i$ — berilgan temperaturadagi xususiy konsensiyasi.

Shunday qilib, yorug'lik signallari elektr signaliga aylantiriladi. Bu turdagi sodda yarimo'tkazgich asbob — fotorezistor deb ataladi.

Fotorezistor uchun dastlabki material bo'lib turli elementlarning sulfidlari, selenidlari va telluridlari hamda PbS, PbSe, PbTe, InSb, CdS lar xizmat qiladi.

2.3. Kiritmali yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi

Ko'p yarimo'tkazgich asboblarda kiritmali yarimo'tkazgichlar qo'llaniladi. Kiritmalar erkin zaryad tashuvchilarni yuzaga keltirishi kerak. Sodda yarimo'tkazgichlarda begona atomlar kiritma bo'lib xizmat qiladi. Agar kiritma atomlari kristall panjarada joylashgan bo'lsa, ular *almashinish kiritmalari*, agar tugunlar orasida joylashgan bo'lsa — *kiritish (joriy etish) kiritmalari* deb ataladi.

Almashinish natijalari kiritma atomining valentligiga bog'liq. Bunda, yarimo'tkazgichning taqiqlangan zona oralig'ida diskret energetik sathlar hosil qiladigan atomlarga ega kiritmalar

ishlatiladi. Agar ularning sathlari asosiy yarimo‘tkazgichning o‘tkazuvchanlik zonasi tubida joylashgan bo‘lsa, hatto uncha katta bo‘lmagan temperaturada ham elektronlar kristall bo‘ylab erkin harakatlanish imkoniyatiga ega bo‘lib, bu zona sathlariga o‘tishlari mumkin.

Kiritma atomlari elektronlaridan ajralib, musbat zaryadlangan ionlarga aylanadi. Demak, elektr o‘tkazuvchanlikda ishtirok etmaydilar. Kiritmali erkin elektronlar xususiy erkin elektronlarga qo‘shilib boradilar. Shuning uchun yarimo‘tkazgichning o‘tkazuvchanligi ko‘p hollarda elektron ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bunday yarimo‘tkazgichlar *elektron* yoki *n-turdagi* (*n*-negative) yarimo‘tkazgich deb ataladi. Kiritmalar esa *donor kiritmalar* deb ataladi. Ularga besh valentli fosfor, margimush va surma atomlari kiradi.

Boshqa kiritmalar asosiy yarimo‘tkazgich taqiqlangan zonasi ichida — valent zona shipi yaqinida chala to‘ldirilgan sathlarga ega bo‘lishi mumkin. Issiqlik yordamida qo‘zg‘atilishi hisobiga kiritma atomi qo‘zg‘almas manfiy zaryadlangan ionga aylanadi. Bundan tashqari, kristall bo‘ylab harakatlana oladigan kovak yuzaga keladi.

Kiritma holdagi kovaklar xususiy kovaklarga qo‘shilishi mumkin, demak, o‘tkazuvchanlik ko‘p hollarda kovak ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bunday yarimo‘tkazgichlar *kovak* yoki *p-turdagi* (*p*-positive) yarimo‘tkazgich deb ataladi. Kovak o‘tkazuvchanlikni yuzaga keltiruvchi kiritmalar *akseptorlar* deb ataladi. Ularga uch valentli bo‘r, aluminiy, galliy va indiy atomlari kiradi.

Elektron-kovak o‘tish. Yarimo‘tkazgich asboblarning ko‘pchiligi bir jinsli bo‘lmagan tuzilishga ega. Bunday tuzilmalarning ikki asosiy turi: *p-n* o‘tish deb ataluvchi (*n*- va *p*-turdagi

yarimo'tkazgichlarning kontakti) o'tish va metall-yarimo'tkazgich o'tish mavjud.

Turli tuzilishga ega bo'lgan yarimo'tkazgich sathlarning kombinatsiyasi bir tomonlama elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi: u bir tomonga ikkinchi tomonga nisbatan ancha yaxshi tok o'tkazadi.

Agar yarimo'tkazgich bir sohasida elektron elektr o'tkazuvchanlik, ikkinchi sohasida — kovak elektr o'tkazuvchanlik mavjud bo'lsa, bu sohalar orasidagi chegara elektron-kovak yoki p - n o'tish deb ataladi. Bunday yarimo'tkazgich *bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgich* deb ataladi, uning elektr o'tkazuvchanligi esa kuchlanish manbayiga ulanishiga bog'liq bo'ladi.

Agar kuchlanish manbayining musbat qutbi p -sohaga, manfiy qutbi n -sohaga ulangan bo'lsa, tok kuchi juda katta bo'ladi va kuchlanish ortgan sari ortib boradi. Teskari kuchlanish berilganda (p -sohaga kuchlanish manbayining manfiy qutbi berilsa) tok kuchi juda kichik bo'ladi va kuchlanishga bog'liq bo'lmaydi. Shunday qilib, p - n o'tish bir tomonlama o'tkazuvchanlikka ega. Oldingi asrning o'rtalarida tranzistor — elektron lampa funksiyasini bajara oladigan yarimo'tkazgich asbob yaratildi. Unda bir jinsli bo'lmagan yarimo'tkazgich ikkita p - n o'tishga ega bo'lgan. p - n o'tish bir va undan kichik mikrometr ga teng qalinlikka ega ekan. Demak, tranzistor juda kichik o'lchamlarga ega bo'lishi mumkin. Zamonaviy murakkab elektron qurilmalar, masalan, shaxsiy kompyuterlar millionlab diod va tranzistorlardan tashkil topadi. Ular bir vaqtning o'zida yagona yarimo'tkazgich kristall sirtida birvarakayiga tayyorlanadi. Tranzistorlarni o'zaro elektr ulash yo'li bilan integral mikrosxemalar (IMS) olinadi. IMSlar ishlab chiqarishda kremniy juda keng qo'llaniladi. Ba'zi hollarda galliy arsenidi va fosfidi hamda boshqa yarimo'tkazgich birikmalar ham qo'llaniladi.

2.4. Yarimo'tkazgichlar tayyorlash texnologiyasi

Tabiatda kremniy faqat oksidlangan holda uchraydi. Texnik kremniy, kremniy ikki oksidini (SiO_2) elektr yoyida tiklash yo'li bilan olinadi. Bu kremniy 1 % kiritmaga ega bo'lib, yarimo'tkazgich sifatida qo'llanilishi mumkin emas. U sof kremniyli yarimo'tkazgich olish uchun dastlabki xomashyo hisoblanadi. Yaroqli yarimo'tkazgich asboblarning chiqish foizi, asosan, yarimo'tkazgichni begona kiritmalardan tozalash darajasiga bog'liq. Ko'pchilik yarimo'tkazgich asboblarni yasashda (tranzistorlar, diodlar) maxsus tozalangan monokristall materiallar qo'llaniladi. Foto- va termorezistorlarda yarimkristall amorf moddalar qo'llaniladi.

NiCa, Cu, Mn va boshqalardan tozalash uchun quyma holdagi texnik kremniy (germaniy) kvars shishali (grafit) kemaga joylashtiriladi va yuqori chastotali generator yordamida ingichka eritilgan zona hosil bo'ladi.

Kiritmalar qattiq holatidagiga ko'ra, suyuq fazada ko'proq eruvchanlikka ega. Shuning uchun erigan zonani asta-sekin tozalanayotgan namuna bo'ylab harakatlantirilsa, u holda kiritmalar quymaning bir boshiga kelib qoladilar. Quymaning ifloslangan qismi olib tashlanadi. Tozalashning bunday usuli *zonali eritish* deb ataladi.

Monokristall olish uchun eritmadan sug'urib olish usuli (Choxralskiy usuli) qo'llaniladi. Kiritmalardan yaxshilab tozalangan yarimo'tkazgich tigelda eritiladi. So'ngra eritmaga xuddi shu materialdan monokristall o'sish markazi kiritiladi va aylantirib turib, u sekin ko'tariladi. O'sish markazi bo'ylab, sirt taranglik bilan ushlab turiladigan eritmaning suyuq ustuni hosil bo'ladi. Ustun ancha past temperatura sohasiga tushib qotadi va mono-

kristall hosil bo‘ladi. Bu monokristall diametri eritma temperaturasiga bog‘liq ravishda 40 mm gacha uzunlikda 20—80 mm atrofida bo‘ladi.

Nazorat savollari

1. Yarimo‘tkazgichlarning o‘ziga xos xususiyatlarini aytib bering.
2. Yarimo‘tkazgichlarning zona diagrammasini tushuntirib bering.
3. Erkin zaryad tashuvchi (EZT) deganda nimani tushunasiz?
4. Elektron va kovak o‘tkazuvchanlikka ta’rif bering.
5. Xususiy elektr o‘tkazuvchanlik nima? Xususiy yarimo‘tkazgichlarda EZT konsentratsiyasi.
6. Yarimo‘tkazgichlarga qanday kiritmalar ta’sir ko‘rsatadi?
7. Donor va akseptor kiritmalar nima?
8. Elektron va kovak yarimo‘tkazgichga ta’rif bering.
9. Qanday EZT asosiy va qandaylari asosiy bo‘lmagan deb ataladi?
10. Nima sababli temperatura o‘zgarganda yarimo‘tkazgichdagi EZT konsentratsiyasi o‘zgaradi va qanday o‘zgaradi?

III BOB. O‘TKAZGICH MATERIALLAR

3.1. Yuqori o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan o‘tkazgich materiallar

Yuqori o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan eng keng tarqalgan materiallar bo‘lib mis va aluminiy, integral sxemotexnikada esa oltin, nikel, qo‘rg‘oshin, kumush va Cr bilan Au, Ti va Au tizimlari, molibden va boshqalar hisoblanadi.

Mis. Elektrotexnika va metallurgiya mis eng ko‘p ishlatiladigan sohalar hisoblanadi. Elektrotexnikada, asosan, mis o‘tkazgich materiallar ishlab chiqarishda, metallurgiyada esa turli materiallar bilan qotishmalar olishda qo‘llaniladi.

Mis quyidagi parametrlar bilan tavsiflanadi:

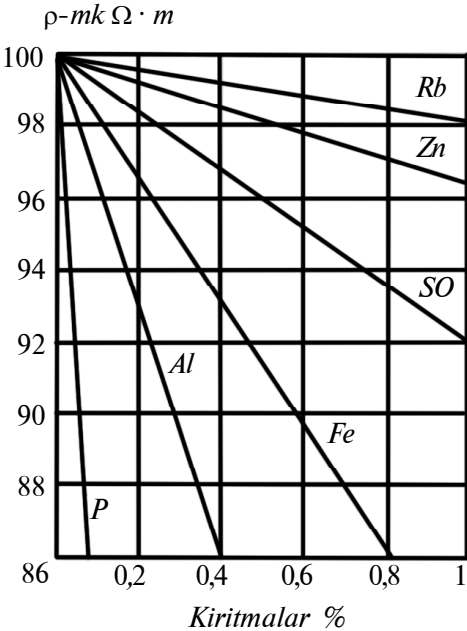
- kichik solishtirma qarshilik;
- yetarli darajada mexanik mustahkamlik;
- qoniqarli ravishda yemirilishlarga chidamlilik;
- yaxshi ishlov beriluvchanlik: mis list va lentalarga tekislanadi, millimetrning mingdan bir qismi qalinligidagi sim ko‘rinishida cho‘ziladi;
- payvand ishlarining nisbatan osonligi.

Mis maxsus konvertorlarda uning oltingugurtli birikmalaridan ajratib olinadi. Eritilgan qora mis tarkibida 95—98% Cu bo‘ladi. Undagi aralashmalarning ko‘p qismi pechlarda qayta eritish natijasida olib tashlanadi. Bu vaqtda 99,7% Cu bo‘lgan mis olinadi. Yanada sof mis olish uchun mis elektrolit tozalanadi.

O‘tkazgich material sifatida M1 (9,99 % Cu) va MO (99,95 % Cu) markali mis ishlatiladi. Misning solishtirma o‘tkazuvchanligi boshqa metallar kabi kiritma mavjudligiga va uning turiga

kuchli ravishda bog‘liq bo‘ladi. Kiritmalar metallarda solishtirma qarshilikning ortishiga sabab bo‘ladi. Ayniqsa, kiritma va qotishmali metall bir-biri bilan *qattiq eritma* hosil qilganda ρ keskin ortadi, ya’ni qotish vaqtida birgalikda kristallashadi va bir metall atomlari ikkinchisining panjarasiga kiradi. Mis tarkibida Zn, Cd, Ag, Ni, Sn, Al, Be, As, Si va P kiritmalari bo‘lishi mumkin.

Mis solishtirma o‘tkazuvchanligiga ba’zi metall kiritmalarining ta’siri 3.1-rasmda keltirilgan. Elektrolit tozalashdan so‘ng misning katod platinalari 80—90 kg li bolvankalarda eritiladi, ya’ni talab qilinayotgan kesim yuzasiga ega bo‘lgan mahsulot tekislanadi va cho‘ziladi. Sovuq holatda cho‘zish natijasida *qattiq mis* (QM) hosil qilinadi. Naklyop natijasida mis cho‘zilishda yuqori mustahkamlik chegarasiga va uzilish oldidan nisbatan



3.1-rasm. Mis elektr o‘tkazuvchanligiga kiritmaning ta’siri.

Sof misning solishtirma o‘tkazuvchanligi 100 % deb qabul qilingan.

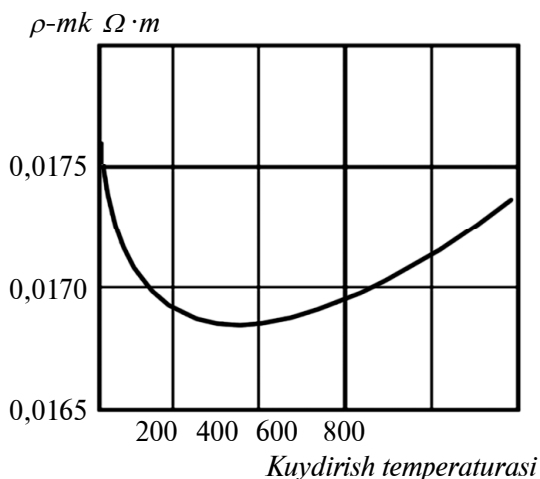
Kiritmalar egri chiziqlar oldida ko‘rsatilgan.

kichik uzunlashishga hamda bukilganda qattqlik va egiluvchanlikka ega bo‘ladi. Qattiq misdan tayyorlangan sim prujina xossasiga ega bo‘ladi. Naklyop — sovuq holatda deformatsiya ta’siri o‘zgarishi natijasida metall deformatsiyasining o‘zgarish jarayoni. Natijada metallning mustahkamligi ortadi va elastikligi pasayadi.

Agar mis kuydirilsa, ya’ni keyingi sovitish yo‘li bilan bir necha yuz gradusgacha qizdirilsa, *yumshoq mis* (YM) hosil bo‘ladi. Bu mis nisbatan egiluvchan, kam qattqlikka va uncha katta bo‘lmagan mutahkamlikka ega. Uzilishtan oldin kuchli ravishda cho‘ziladi va solishtirma qarshiligi ancha yuqori. Misning solishtirma qarshiligiga kuydirishning ta’siri 3.2-rasmda ifodalangan.

Qattiq misdan kontakt simlari, taqsimlash qurilmalari shinalari, elektr mashina plastinalari va boshqalar tayyorlanadi. Aylana va to‘g‘ri burchakli kesimga ega bo‘lgan mis simlar, asosan, kabellar va g‘altak simlari sifatida ishlatiladi. Chunki bu hollarda mustahkamlik emas, balki egiluvchanlik va prujinaviylikning yo‘qligi muhim sanaladi.

Mis va aluminiy simning xossalari 3.1-jadvalda keltirilgan.



3.2-rasm. Mis solishtirma qarshiligiga kuydirishning ta’siri.

Parametr	Mis		Aluminiy	
	QM	YM	QA	YA
Choʻzilishdagi mustahkamlik chegarasi σ_p , MPa, (kichik emas)	360—390	260—280	160—170	80
Uzilishdagi nisbiy choʻzish Δ/l , %, (kichik emas)	0,5—2,5	18—35	1,5—2	10—80
Solishtirma qarshilik ρ , mk $\Omega \cdot m$, (katta emas)	0,0179—0,0182	0,01754	0,0295	0,0290

Elektrotexnikaning turli sohalarida misdan tashqari oʻtkazgich material sifatida uning qoʻrgʻoshin, kremniy, fosfor, berilliy, xrom, magniy, kadmiy bilan qotishmalari ham qoʻllaniladi. Bunday qotishmalar *bronza* deb ataladi. Bronza tok oʻtkazuvchi prujinalar va h.k. tayyorlashda ishlatiladi. Elektrotexnikada qoʻllaniladigan baʼzi mis qotishmalarining tarkibi va xossalari 3.2-jadvalda keltirilgan.

Kadmiyli bronza eng yuqori mexanik mustahkamlik va qattqlikka ega. Shuning uchun u maxsus kontakt simlarda va masʼul vazifalarni bajaradigan plastina kollektorlarini ishlab chiqarishda ishlatiladi.

Latun yetarli darajada yuqori solishtirma qarshilikka ega va shu sababli oson shtampovkalanadi, chuqur soʻriladi va h.k. Elektrotexnikada turli shakldagi va profildagi tok oʻtkazuvchi detallar yasashda keng qoʻllaniladi.

Mis ancha qimmat va kamyob material hisoblanadi va oʻtkazgich material sifatida koʻp hollarda boshqa metallar bilan, asosan, aluminiy bilan almashtiriladi.

Aluminiy. Aluminiy oʻtkazgich materiallar ichida misdan soʻng ikkinchi oʻrinda turadi va *yengil metall* hisoblanadi, yaʼni

Qotishma	Holati	Solishtirma o'tkazuvchanlik σ , misga nisbatan % hisobida	Uzilishdagi mustahkamlik chegarasi σ_p , MPa	Uzilishdagi nisbiy cho'zilish $\Delta l/l$, %
Kadmiyli bronza (0,9 % Cd)	Qattiq kuydirilgan	83—90 95	1050 gacha 310	4 50 gacha
Bronza (0,8 % Cd, 0,6 % Sn)	Qattiq kuydirilgan	50—55 55—60	730 gacha 290	4 55 gacha
Bronza (2,5% Al, 2% Sn)	Qattiq kuydirilgan	15—18 15—18	970 gacha 370	4 45 gacha
Fosforli bronza 7 % Sn, 0,1 % P	Qattiq kuydirilgan	10—15 10—15	1050 gacha 400	3 60 gacha
Latun (30 % Zn)	Qattiq kuydirilgan	25 25	880 gacha 320—350	5 60—70 gacha

zichligi 5000 kg/m^3 dan kam emas. Aluminiy zichligi misnikidan taxminan 3,5 marta yengil. Aluminiyning asosiy massasi alumosilikatlarda mujassamlashgan. Alumosilikatlarni parchalaydigan mahsulot, asosan, kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), boksit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) va kriolit ($\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$) lar hisoblanadi.

Hozirgi vaqtda oddiy aluminiy boksit eritmasini eritilgan kriolitdan elektroliz qilish natijasida olinadi. Aluminiyning elektr o'tkazuvchanligi juda yuqori va mis elektr o'tkazuvchanligining 0,6 qismini tashkil etadi. Misdan uch baravar yengil bo'lgan aluminiy, elektr simlar ishlab chiqarishda misni butunlay siqib chiqardi.

Bu natijani shartli ravishda teng o'tkazuvchanlikni ta'minlaydigan aluminiy simlarning mis simlarning og'irligidan ikki marta yengilligi bilan izohlash mumkin. Bu vaqtda aluminiyning bir tonnasi misnikidan ikki baravar qimmatligini va misga nisbatan kamyob materialligini ham e'tibordan chetda qoldirmaslik kerak.

Elektrotexnik maqsadlarda Al markali aluminiy ishlatiladi, undagi kiritmalar miqdori 0,5 % dan oshmaydi. Yanada sof aluminiy AV00 markali bo'lib (kiritmalar miqdori 0,03 % dan oshmaydi), aluminiyli folga, elektrolit kondensatorlarning korpusi va elektrodlarini yasashda qo'llaniladi. Aluminiyni tekislash, cho'zish va kuydirish jarayonlari misnikidagi amallarga aynan mos keladi. Aluminiydan qalinligi juda yupqa bo'lgan (6—7 mkm gacha) qog'ozli va pardali kondensatorlarda obkladka sifatida ishlatiladigan folga ishlab chiqarish mumkin. Mazkur material kondensatorlar yasash mumkin bo'lgan boshqa metallar (masalan, nikel, xrom)ga nisbatan kam miqdorda qisqa tutashuvlarga olib keladi. Bu holat aluminiyning ancha past bug'lanish temperaturasiga ega ekanligi bilan tushuntiriladi.

Aluminiy — integral mikrosxemalar (IMS) asosi va kristall sirtida diod va tranzistorlarning chiqishlari, kontakt yuzalar, sxemaning ichki bog'lanishlarini hosil qilish jarayoni — metallizatsiyalashda qo'llaniladi. Bu vaqtda aluminiy qalinligi 0,5 dan 2 mkm gacha bo'lgan parda ko'rinishida bo'ladi. Metallizatsiya uchun oltin, nikel, qalay, kumush, xrom, aluminiy va Or-Au, Ti-Au, Mo-Au, Ti-Pt-Au va h.k. tizimlar qo'llanilishi mumkin.

Kremniyli IMSlarda metallizatsiya sifatida aluminiy ko'proq qo'llaniladi, chunki u quyidagi sifatlariga ega:

— yupqa parda sifatida surtilgan aluminiy, hajmiy material o'tkazuvchanligiga yaqin bo'lgan yuqori o'tkazuvchanlikka ega;

- kremniy nisbatan yaxshi adgeziyaga ega;
- vakuumda bug‘lanadi;
- yetarli darajada egiluvchan bo‘lib, temperaturaning davriy o‘zgarishlariga bardoshli;
- arzon narxga ega.

Metallizatsiya vakuumda termik bug‘lanish usuli bilan amalga oshiriladi. Aluminiy havoda yupqa oksid parda orqali aktiv oksidlanadi. Bu parda aluminiyning keyingi yemirilishlardan saqlaydi, katta o‘tish qarshiligini hosil qilmaydi. Shuning uchun mikro-sxema kontakt sirtlari bilan tashqi chiqishlarni birlashtirish ultratovush payalningi yoki maxsus pastalar — kavsharlarni qo‘llash yordamida payvandlash bilan amalga oshiriladi.

Aluminiy qotishmalari. Aluminiy qotishmalari yuqori mexanik mustahkamlikka ega. Aldrey qotishmasi tarkibi 0,3—0,5 %Mg, 0,4—0,7 % Si va 0,2—0,3% Fe dan iborat (qolgani aluminiy). Sim ko‘rinishidagi aldrey zichligi $2,7 \text{ Mg/m}^3$, $\sigma_p = 350 \text{ MPa}$, $\Delta l/l = 6,5 \%$; $\alpha_l = 23 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; $\rho = 0,0317 \text{ mk } \Omega \cdot \text{m}$; $\alpha_p = 0,0036 \text{ K}^{-1}$. Shunday qilib, aldrey aluminiy yengilligini saqlab qolgan holda va unikiga yaqin solishtirma o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lib, bir vaqtning o‘zida mexanik mustahkamligi qattiq cho‘zilgan misnikiga yaqinlashadi.

Turli metallar. Quyida elektron va elektr asboblari, kabellar va boshqalarni ishlab chiqarish va montaj qilishda keng qo‘llaniladigan ba’zi metallarning xossalari keltirilgan.

Oltin. Oltin yuqori egiluvchanlikka, $\rho = 0,024 \text{ mk } \Omega \cdot \text{m}$ ga ega bo‘lgan metall. Elektrotexnikada oltin yemirilishlarga bardoshli qoplamalar, elektrodlar, Shottki o‘tishli diod va tranzistorlar yasashda kontakt material sifatida ishlatiladi.

Kumush. Kumush normal temperaturada oksidlanishga bardoshli material. Kumush normal temperaturada ancha kichik

solishtirma qarshilikka ega ($\rho = 0,016 \text{ mk } \Omega \cdot \text{m}$) va yarimo't-kazgich asboblarning kontaktlarini yasashda hamda keramik, sludali kondensatorlarning obkladkalari sifatida qo'llaniladi.

Platina. Platina normal sharoitlarda oksidlanmaydigan hamda kimyoviy ta'sirlarga bardoshli metall. Platina diametri 1 mkm gacha bo'lgan ingichka iplar ko'rinishida cho'zilishi mumkin bo'lib, elektrometr va boshqa sezgirligi yuqori bo'lgan asboblarda harakatchan tizimlarning osma elementlari sifatida qo'llanilishi mumkin. Bundan tashqari, platina 1600°C gacha bo'lgan yuqori temperaturalarda ishlaydigan termoparalar yasashda hamda monolit keramik kondensatorlarda elektrodlarni o'rash uchun qo'llaniladi.

Qo'rg'oshin. Qo'rg'oshin — yumshoq, egiluvchan, yuqori solishtirma qarshilikka ($\rho = 0,21 \text{ mk } \Omega \cdot \text{m}$), kichik mustahkamlikka ega bo'lgan metall. Yemirilishlarga nisbatan juda yuqori bardoshlilikka ega, suv, oltingugurtli va tuzli kislotalar va bir qator ta'sirlarga bardoshli. Katta miqdordagi qo'rg'oshin elektr kabellarini namlik ta'siridan himoyalovchi izolatsiyalar, qobiqlar sifatida keng qo'llaniladi. Qo'rg'oshin yumshoq saqlagichlar yasashda ham ishlatiladi, chunki ancha past erish temperaturasiga (327°C) ega.

Qalay. Qalay — yumshoq, cho'ziluvchan metall bo'lib, undan qalinligi 6—8 mkm bo'lgan yupqa folga olish mumkin. 15 % qalay va 1 % surma kiritmali folga ba'zi turdagi sludali kondensatorlar ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Katta miqdordagi qalay bronza va kavsharlar yasashda ishlatiladi.

Rux. Rux — elektrolitik tozalanadigan metall. Rux latunning tarkibiy qismi, himoyalovchi qobig'i sifatida qo'llaniladi. Bundan tashqari, rux fotoelementlarda va kichik o'lchamli metall-qog'ozli kondensatorlarning qog'ozini metallashtirishda ham qo'llaniladi.

Qog‘ozga metall qatlamini surtish 600°C temperaturada vakuumda ruxni bug‘lash yo‘li bilan amalga oshiriladi.

Kadmiy. Kadmiy — rux kabi elektrolit tozalanadigan metall. Fotoelementlar va o‘ta yuqori chastota tolalarini kumush o‘rniga qobiqlash uchun qo‘llaniladi. Kadmiy bir qator bronzalar va kavsharlar tarkibiga kiradi.

Indiy. Indiy — past erish temperaturasiga (156°C) ega bo‘lib, yarimo‘tkazgichli diod va tranzistorlar ishlab chiqarishda kontakt material va akseptor kiritma sifatida qo‘llaniladigan metall.

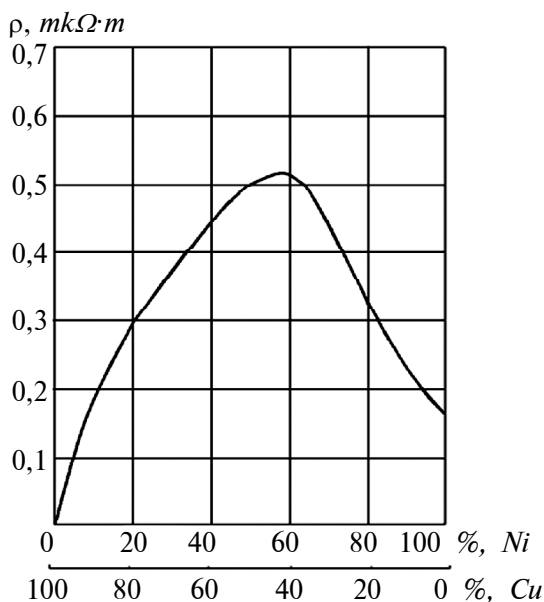
Galliy. Galliy — deyarli xona temperaturasida (29,7°C) eriydigan metall. Indiy kabi u ham yarimo‘tkazgichli texnikada germaniy uchun akseptor kiritma sifatida ishlatiladi.

3.2. Yuqori qarshilikka ega bo‘lgan o‘tkazgich materiallar

Yuqori qarshilikka ega bo‘lgan qotishmalar. Yuqori qarshilikka ega bo‘lgan qotishmalarga normal temperaturada ρ qiymati 0,3 mk $\Omega \cdot m$ dan kichik bo‘lmagan materiallar kiradi. Ular rezistorlar, turli datchiklar, termoparalar, elektr qizdirgich elementlar va boshqalar yasashda ishlatiladi.

Ikki yoki undan ko‘p metallardan iborat qotishmalarda ρ ning ortishi faqat ular qattiq eritma hosil qilgan hollardagina yuz beradi. Ya’ni qotish jarayonida birlashgan kristall hosil bo‘ladi va bir metall atomi ikkinchisining kristall panjarasiga kiradi.

Turli kimyoviy tarkibga ega bo‘lgan ikki metall eritilganda, har birining tarkibi foizi o‘zgarishi natijasida bir metall atomi ikkinchisining fazoviy panjarasiga kirishi sababli, qattiq eritmalar yoki turli kimyoviy tuzilmaga ega bo‘lgan birikmalar (daltonidlar) hosil bo‘ladi. Birinchi turga Cu-Ni tizimidagi qotishma misol bo‘la oladi. ρ ning qotishma tarkibidagi komponent foizining o‘zgarishiga bog‘liqligi 3.3-rasmda ifodalangan.

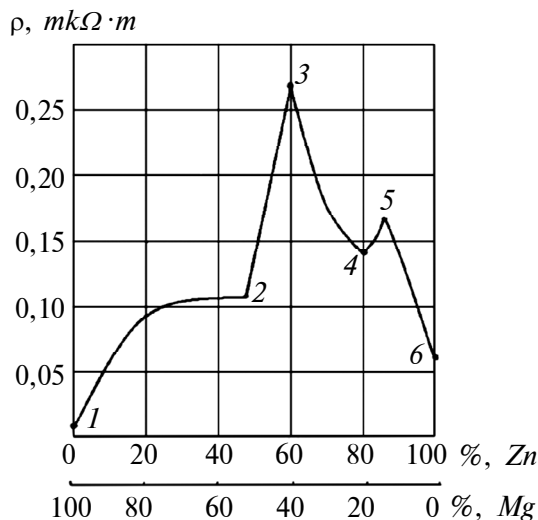


3.3-rasm. ρ ning qotishma tarkibidagi
komponent foizining o'zgarishiga bog'liqligi.

Mg-Zn tizimida komponent foizining o'zgarishi turli kimyoviy birikmalar hosil bo'lishiga olib keladi. Mg-Zn tizimidagi qotishmadagi kimyoviy birikmalar turi va ρ ga bog'liqligi 3.4-rasmda keltirilgan. ρ funksiya egri chizig'ida singumer nuqtalar kuzatiladi; bu nuqtalar oralig'ida qotishma tarkibining ρ funksiyasi tekis egri chiziqni ifodalaydi.

Agar ikki metall qotishmasi ajralgan kristall (ya'ni, qotishma komponentlari qattiq eritma hosil qilsa va kristall panjara buzilmasa) hosil qilsa, u holda qotishma ρ si siljishning arifmetik qoidasi bilan aniqlanadi.

Qotishmalar elektr o'lchov asboblari va namunaviy rezistorlarda qo'llanilganda, yuqori solishtirma qarshilik ρ dan tashqari, ρ ning vaqt bo'yicha barqarorligi, solishtirma qarshilikning kichik temperatura koeffitsiyenti α_ρ talab qilinadi. Elektr qizdirgich asboblari uchun qotishmalar havoda yuqori temperaturalarda ($\approx 1000^\circ\text{C}$ va



3.4-rasm. Mg-Zn tizimidagi qotishmaning kimyoviy birikish turlari va ρ ga bog‘liqligi:

1—sof Mg; 2—MgZn; 3— Mg_2Zn_3 ; 4— $MgZn_4$;
5— $MgZn_6$; 6—sof Zn.

undan yuqori) uzoq vaqt ishlashi talab qilinadi. Ko‘p hollarda qotishmalardan juda kichik diametrli egiluvchan simlar yasaladi.

Manganin. Namunaviy rezistorlar va turli qotishmali asboblarni yasashda qo‘llaniladi. Uning taxminiy tarkibi: Cu—85 %, Mn—12 %, Ni—3 %. Manganinda ρ qiymati 0,42—0,48 $m\Omega \cdot m$ ga teng, α_p — ancha kichik bo‘lib, $6 \div 50 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ni tashkil etadi. Manganin ingichka (diametri 0,02 mm gacha bo‘lgan) simga cho‘zilishi mumkin bo‘lib, ko‘p hollarda emallangan izolatsiyada ishlab chiqariladi. Kichik α_p va vaqt bo‘yicha barqaror ρ qiymatini olish uchun manganinli sim maxsus termoshlovdan o‘tkaziladi (550—600°C temperaturali vakuumda kuydiriladi va so‘ngra sekin sovitiladi). Manganin kabi qotishmalarning uzoq vaqt ishlashini talab qiladigan ishchi temperaturasi 200°C dan oshmaydi. Mexanik xossalari: $\sigma_p=450\text{—}600$ MPa, $\Delta l/l = 15\text{—}30$ %. Manganinning zichligi 8,4 Mg/m³.

Konstantan. Konstantan 60 % mis va 40 % nikeldan tashkil topgan qotishma. Mis va nikelning aynan shunday nisbatida konstantan yuqori solishtirma qarshilikka $\rho = 0,48\text{--}0,52 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$ hamda kichik $\sigma_p = -(5\text{--}25) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ qiymatiga ega bo'ladi. Konstantanning issiqlikka chidamliligi manganinga nisbatan yuqori bo'lib, 40°C bo'lgan temperaturada uzoq vaqt ishlay oladigan reostatlar va elektr qizdirgich asboblari yasashda qo'llaniladi. Konstantan bir necha yuz gradus temperaturalarni o'lchaydigan termoparalar ishlab chiqarishda ham ishlatiladi.

Temir asosidagi qotishmalar. Bunday qotishmalar, asosan, elektr qizdirgich elementlarda qo'llaniladi. Bunday elementlarning issiqlikka bardoshliligi ularda qizish natijasida havoda silliq oksid parda hosil qiladigan metallarning mavjudligi bilan ifodalanadi. Nikel, xrom va aluminiy bunday metallarga misol bo'la oladi. Temir qizitilganda oson oksidlanadi, lekin qotishmada temir miqdori qancha ko'p bo'lsa, bu qotishma issiqlikka shuncha chidamli bo'ladi.

Fe-Ni-Cr tizimidagi qotishma *nixrom* yoki (temir miqdori yuqori bo'lganda) *ferronixrom*; Fe-Ni-Al tizimidagi qotishmalar esa *fexral* va *xromal* deb ataladi.

Turli qotishmalar harflar va sonlardan iborat bo'lgan shartli belgilanish tizimiga ega. Harflar qotishma nomiga kiruvchi elementlarning asosiy xossalarini namoyon etib, har doim ham uning birinchi harfida ifodalanmaydi (masalan, B harfi niobiy ekanligini ifodalaydi, V—volfram, G—marganes, D—mis, K—kobalt, L—berilliy, N—nikel, T—titan, X—xrom, Y—aluminiy va h.k.), son esa mazkur komponentning qotishmadagi taxminiy miqdorini anglatadi (% massalarida); belgi boshidagi qo'shimcha son (0 soni) qotishmadagi element miqdorining oshirilganligini yoki (1 soni) kamaytirilganligini bildiradi. Shunday qilib, 3.3-jadvaldagi OX_{25}Y_5 belgi 25 % xrom va 5 %

aluminiumdan tashkil topgan yuqori issiqlikka chidamlilikka ega bo‘lgan qotishmaga mos keladi.

Agar oksid uchuvchan bo‘lsa, qolgan metallni oksidlanishdan himoyalashi mumkin. Volfram va molibden oksidlari oson uchadi, shuning uchun bunday metallar kislorod ta’sirida qizigan holatda ishlay olmaydi. Agar oksid uchuvchan bo‘lmasa, oksidlanish jarayonida metall sirtida parda hosil bo‘ladi.

TKI va uning oksid pardalari qiymati bir-biriga yaqin bo‘lgan qotishmalar havoda, yuqori temperaturada katta barqarorlikka ega bo‘ladi. Xrom-nikelli qotishmalarning bardoshlilik shu bilan tushuntiriladi.

Temperatura keskin o‘zgarganda oksid pardada yoriqlar hosil bo‘lishi mumkin; u holda yana qizish natijasida havo kislorodi hosil bo‘lgan yoriqlarga kirib, qotishmaning oksidlanishini davom ettiradi. Shu sababli nixromdan yasalgan elektr qizdirgich element qisqa vaqtlarda ishlatilganda, xuddi shu temperaturada uzluksiz ishlashi natijasida tezroq kuyib ketishi mumkin.

3.3-jadval

Xrom-aluminiyli qotishmalarning xossalari

Qotishma markasi	Massa tarkibi, % larda (qolgani Fe)					ρ , mk $\Omega \cdot m$	TK ρ , $10^{-6} K^{-1}$	$T_{max.}$ ishchi, $^{\circ}C$
	Cr	Al	C	Si	Mn			
X13Y4	12—15	3,5—5,5	0,15	1,0	0,7	1,26	150	750
1X17Y5	16—19	4,0—6,0	0,12	1,2	0,7	1,30	60	850
1X25Y5	23—27	4,5—6,5	0,12	1,2	0,7	1,40	50	1000
0X25Y5	23—27	4,5—6,5	0,06	0,6	0,7	1,40	50	1400

Nixrom turli qotishma xossalari

Qotishma markasi	Massa tarkibi, % larda (qolgani Fe)			Zichlik, Mg/m ³	ρ , mk $\Omega \cdot m$	TK ρ , 10 ⁻⁶ K ⁻¹	T _{max.} ishchi, °C
	Cr	Ni	Mn				
X15N60	15–18	15–18	1,5	8,2–8,3	1,1–1,2	100–200	1000
X20N80	20–23	77–78	1,5	8,4–8,5	1,0–1,1	100–200	1100

Nixrom va boshqa issiqlikka chidamli qotishmalardan yasalgan elementlarning yashash davriga simning uzunligi bo‘ylab kesim tebranishlarining mavjudligi sezilarli ta’sir ko‘rsatadi; sim kesimi kichraygan sohalarda sim tezroq qiziydi va element oson kuyib ketadi.

Nixrom va unga o‘xshash qotishmalardan yasalgan elementlarning yashash davrini sim sirtiga kislorod ta’sirini yo‘qotish orqali uzaytirish mumkin. Buning uchun naycha shaklidagi qizdirgich elementlarda yuqori qarshilikka ega bo‘lgan qotishmani oksidlanishga bardoshli metall naycha ichiga joylashtiriladi; sim va naycha oralig‘idagi masofa yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan dielektrik (masalan, magneziya MgO) bilan to‘ldiriladi. Bunday qizdirgich elementlar elektr qizdirgichlarda uzoq vaqt buzilishsiz ishlashi mumkin.

Fexral va xromallar nixromlarga nisbatan ancha arzon, lekin qattiq va mo‘rt bo‘ladi. Ulardan nixromga nisbatan katta kesimga ega bo‘lgan simlar yasash mumkin. Shu sababli bu qotishmalar katta quvvatli va sanoat elektr zanjirlarida elektr qizdirgich sifatida keng qo‘llaniladi.

Termoparalar uchun qotishmalar. Turli metallar (yoki yarim-o‘tkazgichlar)ning kontakt chegarasida *kontakt potentsiallar farqi* yuzaga keladi. Bu holat elektronlar chiqishidagi qiymatlarning va

kontaktga kirayotgan metallarning erkin elektronlar konsentratsiyasi qiymatlarining farqi bilan bog'liq.

Ikkita turli o'tkazgichlardan berk zanjir hosil qilamiz. Agar kontaktlardagi temperatura bir xil bo'lsa, u holda potentsiallar yig'indisining farqi nolga teng bo'ladi. Agar kontaktlardagi temperatura bir xil bo'lmasa, u holda zanjirning to'liq EYKi termo elektr yurituvchi kuch (TEYK) deb ataladi.

Birikuvchi metallning birining temperaturasi T bo'lsa, ikkinchisi esa yuqori temperaturada T_1 bo'lsa, to'liq TEYK quyidagiga teng bo'ladi:

$$U = \frac{K}{q}(T_1 - T) \ln \frac{n_A}{n_B},$$

bu yerda, n_A va n_B — A va B metallardagi erkin elektronlarning konsentratsiyalari, K — Bolsman doimiysi, q — elektron zaryadi.

Temperaturani o'lchashda ishlatiladigan, ikki turli metall yoki qotishmadan tashkil topgan sim *termopara* deb ataladi.

Termoparalar yasashda quyidagi qotishmalar qo'llaniladi:

- 1) komel (44 % Ni va 56 % Cu);
- 2) alumel (95 % Ni qolgani — Al, Si va Mg);
- 3) xromel (90 % Ni va 10 % Cr);
- 4) platinorodiy (90 % Pt va 10% Rh).

Eng ko'p ishlatiladigan metall juftliklarining TEYK qiymatlari 3.5-jadvalda keltirilgan.

Termoparalar quyidagi temperaturalarni o'lchashda qo'llaniladi:

- a) platina-platinorodiy — 1700 °C gacha;
- b) konstantan-mis va kopel-mis — 350 °C gacha;
- d) konstantan-temir, kopel-temir va kopel-xromel — 600 °C gacha;
- e) xromel-aluminiy — 900—1000 °C gacha.

Juda past temperaturalarni o'lchashda temir-oltin juftligi qo'llaniladi.

**0 °C temperaturada sovuq kavsharli termo
elektr yurituvchi kuchlar**

Temperatura farqi, $T-T_1$ 0 °C	TEYK (millivoltlarda)		
	Platina — platinorodiy	Konstantan — temir	Konstantan — mis
1	0,00	0,00	0,00
100	0,64	5,2	4,3
200	1,42	10,5	9,3
300	2,29	15,8	14,9
500	4,17	26,6	—
800	7,31	43,4	—
1000	9,56	—	—
1500	15,45	—	—
1700	17,81	—	—

Simsiz rezistorlar. Simsiz chiziqli rezistorlar o'tkazuvchi materiallari sifatida tabiiy grafit, qurum, pirolitik uglerod, bo'r-uglerodli parda, metall va boshqa materiallarning yuqori omli qotishmalari qo'llaniladi.

Simsiz rezistorlar simli rezistorlardan kichik o'lchamlari va yuqori qarshiligi bilan ajralib turadi hamda avtomatika, o'lchash va hisoblash texnikalarida keng qo'llaniladi. Ulardan, asosan, temperatura va namlik ortishiga nisbatan yuqori barqarorlik talab qilinadi.

Tabiiy grafit. Tabiiy grafit qatlamli tuzilishli, ham elektr, ham mexanik xossalari yuqori anizotropikka ega bo'lgan sof

uglerod. Olmos ko‘rinishidagi sof uglerod — bu yuqori solishtirma qarshilik ρ ga ega bo‘lgan dielektrik. Grafit monokristalining $TK_p = -400 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ va $TK_l = 6,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Qurum. Qurum deganda smolali moddalar kiritilgan mayda dispers uglerod tushuniladi. Pigment (bo‘yoq) sifatidagi qurum loklar tarkibiga kiradi. Bunday loklar kichik solishtirma qarshilikka ega bo‘lib, yuqori kuchlanishda ishlaydigan elektr mashinalarda elektr maydonni tekislashda qo‘llaniladi.

Bo‘r uglerodli pardalar organik bor birikmalar, masalan, B (S_4N_9)₃ ni piroliz (kislorodsiz, termik parchalash) yo‘li bilan olinadi. Bunday pardalar kichik TK_p qiymatiga ega bo‘ladilar.

Pardali rezistorlar uchun materiallar. Pardali va gibrid integral mikrosxema (IMS) larda passiv elementlar, ya‘ni rezistorlar, kondensatorlar, induktivlik g‘altaklari va elementlararo bog‘lanishlar asosida turli pardalar hosil qilish yo‘li bilan olinadi.

IMSlar *yupqa pardali* va *qalin pardali* turlarga bo‘linadi: qalin pardali IMS larning qalinligi 2 mkm dan oshmaydi, qalin pardali IMS larda esa parda qalinligi ancha katta. Ular orasidagi farq faqat qalinlikda emas, balki ularni hosil qilish texnologiyalarida hamdir.

Rezitsiv pardalar hosil qilish uchun qo‘llanilayotgan material uzoq vaqt davomida yuqori barqarorlikka ega bo‘lgan qarshilik olishga, qarshilikning kichik temperatura koeffitsiyenti va yemirilishlarga nisbatan yuqori chidamlilikka ega bo‘lishi kerak.

Asos — bu qalinligi 0,5—1,0 mm bo‘lgan, maromida silliqlangan va pardoziqlangan dielektrik plastinalardir. Agar qarshiligi uncha katta bo‘lmagan rezistor tayyorlash talab qilinsa, u holda parda yuqori qarshilikka ega bo‘lgan qotishma, masalan, nixromdan yasaladi. Yuqori qarshilikka ega bo‘lgan qarshilik hosil qilish uchun metallning keramika bilan aralashmasi (*kermet*) dan foydalaniladi. Rezistorli parda uchlarida rezistorni boshqa element-

lar bilan ulash uchun metall pardalar ko‘rinishida chiqishlar yasaladi. Pardali rezistor qarshiligi parda qalinligi va kengligi uning uzunligi va materialiga bog‘liq bo‘ladi.

Pardali rezistorlarning solishtirma qarshiligi alohida birliklarda — $\Omega/\text{kvadrat}$ da o‘lchanadi, chunki mazkur kvadrat shaklidagi parda qarshiligi kvadrat o‘lchamlariga bog‘liq bo‘lmaydi. Haqiqatan ham, agar kvadrat tomonlari masalan 2 martaga kattalashtirilsa, u holda tok oqib o‘tish uzunligi 2 martaga ortadi, lekin pardaning ko‘ndalang kesim yuzasi ham tok uchun 2 baravarga ortadi; demak, qarshilik o‘zgarishsiz qoladi.

Yupqa pardali rezistorlar tayyorlash uchun qo‘llaniladigan ba’zi materiallarning xossalari, 3.6-jadvalda keltirilgan.

3.6-jadval

Material	Qarshilik yuzasi, $\Omega/\text{kvadrat}$	TK ρ , 10^{-6} K^{-1}	Material	Qarshilik yuzasi, $\Omega/\text{kvadrat}$	TK ρ , 10^{-6} K^{-1}
Oltin	5—10	3000	Tantal nitridi	50—500	100
Platina	15—20	3000	Kremniy-xrom	10^3 — 10^4	20—250
Palladiy	20—30	2000	Nikel	100—300	250
Titan	50—100	700	Qo‘rg‘oshin oksidi	10 — 10^3	250
Xrom	50—3000	600	Volfram	10^2 — 10^4	100
Nixrom	10—400	50—500	Palladiy-kumush glazur (kermet)	10^2 — 10^5	500

3.6-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, yupqa pardali rezistorlarning temperaturaga bardoshliligi TK ρ taxminan $0,25 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ga teng. Uzoq muddatli ekspluatatsiyadan so‘ng bu rezistorlarning qarshiligi uncha o‘zgarmaydi. Ularni tayyorlash aniqligi $\pm 0,05 \%$ ni tashkil etadi.

Yupqa pardali gibrid IMS larni tayyorlashda *maxsus pasta-lardan* foydalaniladi. Ular o'z navbatida rezitsiv (rezistorlar uchun), dielektrik (kondensator va izolatsion qatlamlar uchun) va o'tkazuvchi (o'tkazgichlar, kontakt maydonlari va kondensator qoplamalari uchun) larga bo'linadi.

Rezitsiv pastalar sifatida kumush va palladiy, simob oksidlari, indiy, qo'rg'oshin asosidagi kompozitsiyalar hamda nitrid-tantal pastalar qo'llaniladi. Bog'lovchi modda sifatida, odatda, qo'rg'oshin bo'r silikatli shisha qo'llaniladi.

Qalin pardali rezistorlarning solishtirma qarshiligi kvadratga 5 Om dan 1 Mom gacha, nominallari 0,5 dan $5 \cdot 10^8$ Om gacha, yasaliş aniqligi 0,2%. Lekin vaqt bo'yicha bardoshliligi, yupqa pardali rezistorlarga nisbatan yomon.

Nazorat savollari

1. Yuqori o'tkazuvchan o'tkazgich materiallarga ta'rif bering va misollar keltiring.
2. Yuqori qarshilikka ega bo'lgan o'tkazgich materiallarga ta'rif bering va misollar keltiring.
3. Temir asosidagi qotishmalarga qanday metallar kiradi?
4. Termoparalar uchun qotishmalarga qanday metallar misol bo'la oladi?
5. Pardali rezistorlar uchun materiallar haqida gapirib bering.

IV BOB. DIELEKTRIK MATERIALLAR

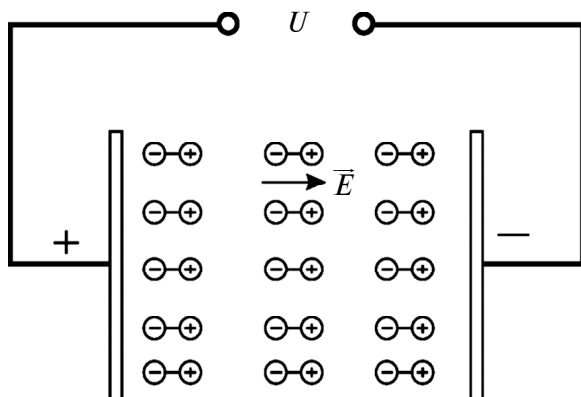
4.1. Dielektrlklarda elektr hodisalar

Elektoradio va tibbiyot texnikasida dielektrlklar elektrizo-
latsion materiallar sifatida yoki berilgan sig'inni hosil qilishda
qo'llaniladi. Elektr maydoni ta'sirida unda dielektrikning qizishiga
olib keladigan jarayonlar (qutblanish) sodir bo'ladi, o'tuvchi
tok, ya'ni elektr o'tkazuvchanlik yuzaga keladi. Dielektrikka
yuqori kuchlanish berilsa, teshilish yuz berishi mumkin.

Dielektrlklarning qutblanishi. Elektr zanjiriga ulangan, elek-
trodlar surtilgan har bir dielektrik, ma'lum sig'imga ega konden-
sator sifatida qaralishi mumkin. Kondensator zaryadi:

$$Q = CU,$$

bu yerda, C — kondensator sig'imi; U — unga berilayotgan
kuchlanish.



4.1-rasm. Yassi kondensatorli qutblangan dielektrikda
zaryadlarning joylashishi.

Har bir moddada o‘zaro bog‘langan zaryadlar mavjud bo‘ladi: atom qobiqlaridagi elektronlar, atom yadrolari, ionlar. Elektr maydoni E ta‘sirida dielektrikdagi o‘zaro bog‘langan zaryadlar muvozanat holatlaridan siljib ketadilar: musbat zaryadlar — maydon kuchlanganligi vektori yo‘nalishida, manfiy zaryadlar — teskari yo‘nalishda. Natijada dastlabki zaryadlanmagan dielektrikda elektr maydonida elektr zaryadlari yuzaga keladi. Dielektrlarda elektr qutblar yuzaga keladi, shu sababli ular *dielektrikning qutblanishi* nomini olgan.

Berilgan kuchlanish U dagi elektr qiymati ikkita qo‘shiluvchilardan iborat bo‘ladi: Q_0 — elektrodnlarni vakuum ajratib turganda bo‘lishi mumkin bo‘lgan va Q_d — dielektrlarning qutblanishi hisobiga elektrodnlarning ajralishi.

$$Q = Q_0 + Q_d.$$

Dielektrikning asosiy xarakteristikasi bo‘lib solishtirma dielektrik kirituvchanlik ε hisoblanadi:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_0} = 1 + \frac{Q_d}{Q_0}.$$

ε ning qiymati dielektrikning elektr sig‘im hosil qilish qobiliyatini bildiradi. Dielektrik sifatini baholashda aynan dielektrik kirituvchanlik qiymati qo‘llaniladi, qisqaroq bo‘lishi uchun «solishtirma» so‘zi tushirib qoldiriladi. Barcha moddalarning ε qiymati birdan katta bo‘ladi.

Dielektriklar qutblanishinining asosiy turlari. Dielektrlarda ularning holati va strukturasiga qarab dielektriklar qutblanishining ikkita asosiy turi mavjud.

Ba‘zi dielektrlarda elektr maydoni ta‘sirida qutblanish deyarli soniyalarda energiya yo‘qotishlarisiz, ya‘ni issiqlik ajralishisiz sodir bo‘ladi. Qutblanishning ikkinchi turi sekinlik bilan

rivojlanib, sekinlik bilan soʻnadi, dielektrikda energiya sochilishi kuzatiladi, yaʼni u qiziydi. Qutblanishning bunday turi relaksatsion qutblanish deb ataladi (relaksatsiya — statik muvozanatga kelish jarayoni).

Qutblanishning birinchi turiga elektron va ion qutblanishlar kiradi. Boshqa mexanizmlar relaksatsion qutblanishga kiradi. Turli dielektrlarda bir vaqtning oʻzida qutblanishning bir necha mexanizmlari kuzatilishi mumkin.

Ion va atomlarning elektron qobiqlarining siljishi va deformatsiyasi *elektron qutblanishga* kiradi. Elektron qutblanishning oʻrnatilish vaqti 10^{15} s. Elektron qutblanish barcha turdagi dielektrlarda kuzatiladi va energiya yoʻqotishlar kuzatilmaydi.

Ion tuzilmali qattiq jismlarda *ion qutblanish* kuzatiladi va oʻzaro bogʻliq ionlarning siljishi bilan tushuntiriladi. Ion qutblanishning oʻrnatilish vaqti 10^{-13} s.

Tartibsiz issiqlik harakatida qatnashadigan dipol molekulyar moddalarda *dipol — relaksatsion* yoki oddiy *dipol qutblanish* kuzatiladi.

Qovushqoq muhitda dipollar aylanma harakat qilishi maʼlum qarshiliklarni yengib oʻtishni talab qiladi, shuning uchun dipol qutblanish energiya yoʻqotishlar bilan kechadigan moddalarda kuzatiladi. Masalan sellulozani koʻrsatish mumkin.

Noorganik shishalarda va baʼzi ionlari unchalik zich joylashmagan ion kristall noorganik moddalarda *ion-relaksatsion qutblanish* kuzatiladi. Bu holatda tashqi elektr maydoni taʼsirida moddaning kuchsiz bogʻlangan ionlari maydon boʻylab tizilib joylashishadi.

Yuqori sinuvchanlik koʻrsatkichlariga ega boʻlgan dielektrlarda *elektron-relaksatsion qutblanish* kuzatiladi.

Qutblanish turiga qarab dielektrlarning sinflanishi. Qutblanishning xususiyatlariga koʻra dielektrlar toʻrt guruhga boʻlinadi.

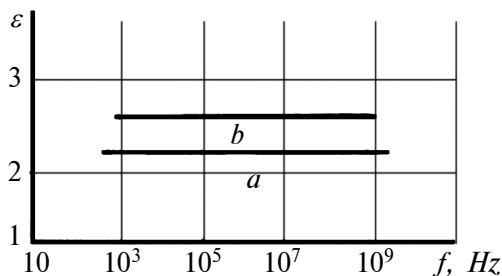
Birinchi guruhga, asosan, elektron qutblanishga ega bo'lgan dielektriklar kiradi, masalan qutbsiz va kuchsiz qutblangan kristall va amorf holatdagi (parafin, oltingugurt, polistirol) qattiq jismlar hamda qutbsiz va kuchsiz qutblangan suyuqliklar va gazlar (benzol, vodorod).

Ikkinchi guruhga bir vaqtning o'zida ham elektron, ham dipol — relaksatsion qutblanishga ega bo'lgan dielektriklar kiradi. Unga qutbli (doimiy dipollarga ega bo'lgan) organik, yarimsuyuq va qattiq jismlar (yog'li — kanifolli kompaundlar, epoksid smola, selluloza va b.) kiradi.

Uchinchi guruhni elektron, ion va ion-relaksatsion qutblanishga ega bo'lgan qattiq noorganik dielektriklar tashkil etadi. Ularga kvars, sluda, korund, noorganik shisha, farfor, mikoleks va boshqalar kiradi.

To'rtinchi guruhni elektron, ion va elektr-ion-relaksatsion qutblanishlar bilan xarakterlanadigan segnetoelektriklar: segnet tuzi, bariy metatit va boshqalar tashkil etadi.

Dielektrik kirituvchanlikning turli ta'sirlarga bog'liqligi. ϵ ning chastotaga bog'liqligi. Elektron va ion qutblanishga ega bo'lgan dielektrlarda ϵ ning chastotaga bog'liqligi sezilarli emas (4.2-rasm). Ion kristallarda ϵ ning qiymati infraqizil diapazonda

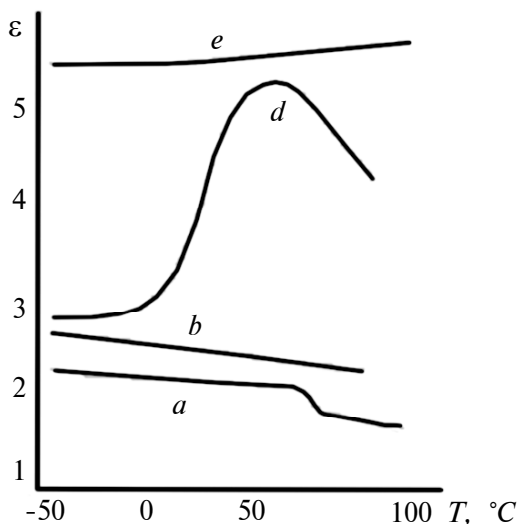


4.2-rasm. Noqutbli polimerlar uchun ϵ ning f ga bog'liqligi:
a—polikorfotretilen; *b*—polistirol.

(10^{12} — 10^{14} Hz) pasaya boshlaydi. Qutbli dielektrlarda ϵ ning qiymati radiochastota diapazonida pasaya boshlaydi.

ϵ ning temperaturaga bog‘liqligi. Noqutbli dielektrlarda moddaning issiqlikda kengayishi hisobiga hajm birligida qutblanadigan molekulalarning soni kamayadi. Shu sababli temperatura oshgan sari ϵ ning qiymati pasayadi (4.3-*a, b* rasmlar). Parafinda ϵ ning keskin o‘zgarishi uni qattiq holatdan suyuq holatga o‘tishi bilan tushuntiriladi. Ko‘pgina qattiq ion dielektrlarda (kristallar, shisha, keramik materiallar, sital va b.) temperatura ortishi bilan ϵ ning qiymati ham ortadi (4.3- *e* rasm), chunki ularda ion qutblanish ortadi. Qutbli dielektrlarda temperatura ortishi bilan dipol qutblanish yuzaga keladi, demak ϵ ham ortadi. Temperatura yanada ortsa, qutblanish kamayadi, natijada ϵ ham kamayadi (4.3- *d* rasm).

Dielektrlarning elektr o‘tkazuvchanligi. Barcha dielektrik materiallar o‘zgarmas kuchlanish ta’sirida uncha katta bo‘lmagan *sizilish toki* o‘tkazadi. Sizilish toki qancha kichik bo‘lsa, elektr



4.3-rasm. Turli dielektriklar uchun ϵ ning temperaturaga bog‘liqligi:
a—parafin; *b*—polistirol; *d*—xlorlangan difenol; *e*—natriy xlor.

izolatsion materialning sifati shuncha yuqori bo‘ladi. Sizilish toki hajmiy bilan yuzaki to‘g‘ridan to‘g‘ri o‘tuvchi tok yig‘indisidan tashkil topgan:

$$I = I_V + I_S .$$

Demak, o‘tkazuvchanlik $G = I/U$ hajmiy o‘tkazuvchanlik G_V hamda sirt o‘tkazuvchanlik G_S larning yig‘indisiga teng:

$$G = G_V + G_S .$$

Ko‘rib o‘tilgan o‘tkazuvchanliklarga teskari bo‘lgan kattalik hajmiy qarshilik R_V va sirt qarshilik R_S deb ataladi. Izolatsiyaning umumiy qarshiligi esa parallel ulangan qarshiliklarning natijasi sifatida aniqlanadi:

$$R = \frac{1}{G} = \frac{R_V \cdot R_S}{R_V + R_S} .$$

Dielektrikning solishtirma qarshiligi ρ deganda, solishtirma hajmiy qarshilik tushuniladi. Qattiq dielektrik yuzasining ifloslanishi, namlanishi, oksidlanishi sezilarli sirt elektr o‘tkazuvchanlikni yuzaga keltiradi. Shuning uchun dielektrik solishtirma sirt qarshilik qiymati bilan ham tasniflanadi: ρ_S .

Qattiq dielektriklarning solishtirma hajmiy qarshiligi ρ temperatura ortishi bilan eksponensial qonun bo‘yicha o‘zgaradi:

$$\rho = \frac{1}{nq\mu} \approx \frac{1}{\exp(-W / kT)} ,$$

bu yerda, μ — ionlarning konsentratsiyasi va harakatchanligi.

ρ ning T ga bog‘liqligi $\mu \approx \exp(-W / kT)$ ga bog‘liq.

Daraxt, marmar va boshqalar uchun $\rho = 10^6\text{—}10^8 \ \Omega \cdot \text{m}$, polistirol, ftorlon, kvarts uchun $10^{14}\text{—}10^{16} \ \Omega \cdot \text{m}$.

Dielektrikning ρ_S qiymatining temperatura, namlik, kuchlanish ta‘sirida o‘zgarishi ρ ning o‘zgarishiga o‘xshab ketadi.

Dielektrik yo‘qotishlar. Dielektrik yo‘qotishlar deb elektr maydonida joylashgan dielektrikning issiqlikka aylanadigan energiyasining bir qismi tushuniladi. Elektr izolatsion materialdagi juda katta dielektrik yo‘qotishlar uning kuchli qizishi va parchalanishiga olib keladi.

O‘zgarmas elektr maydonida qutblanish o‘rnatilishi jarayoni bir marta ro‘y beradi va uncha katta bo‘lmagan issiqlik ajralib chiqadi. O‘zgaruvchan elektr maydonida bir to‘liq davr mobaynida qutblanish ikki marta o‘rnatilib, ikki marta yo‘qoladi.

Agar dielektrikda relaksatsion qutblanish ro‘y bersa, elektr maydonining yuqori chastotalarida yuqori qutblanish vaqt bo‘yicha yuqori maydon qutblanganligidan kechga qoladi, ya’ni maydon kuchlanganligi bilan qutblanish o‘rtasida faza siljishi sodir bo‘ladi. Faza siljishining bu qiymati dielektrik yo‘qotishlarni belgilaydi. Faza siljishi bo‘lmasa, dielektrik yo‘qotishlar ham bo‘lmaydi, ya’ni dielektrikning qizishi sovitish bilan kompensatsiyalanadi.

Kondensator qoplamalari orasidagi dielektrik yo‘qotishlar qiymati P quyidagicha aniqlanadi:6034382

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta,$$

bu yerda, U — kondensator qoplamalaridagi kuchlanish; $\omega = 2\pi f$ — aylanma chastota; C — kondensator sig‘imi; $\operatorname{tg} \delta$ — dielektrik yo‘qotishlar burchagining tangensi, u tokning aktiv tashkil etuvchisi bilan tokning reaktiv tashkil etuvchilarining yig‘indisiga teng.

Bir turli maydonda dielektrikning kub santimetr hajmdagi dielektrik yo‘qotishlari:

$$P = E^2 \omega \varepsilon \operatorname{tg} \delta,$$

bu yerda, E — o‘rtacha maydon kuchlanganligi, ε — dielektrik kirituvchanlik.

Dielektriklarning teshilishi. Agar maydon kuchlanganligi qiymati biror kritik qiymatdan ortib ketsa, elektr maydonda joylashgan dielektrikning elektr-izolatsion xususiyatlari yo‘qoladi. Bu hodisa dielektrik teshilishi nomi bilan yuritiladi. Dielektrik teshilishi yuz beradigan kuchlanish qiymati teshilish kuchlanishi U_{tesh} deb ataladi, unga mos keluvchi maydon kuchlanganligi qiymati — dielektrikning elektr mustahkamligi deyiladi.

Elektr mustahkamlik teshilish kuchlanishining teshilish sodir bo‘lgan dielektrik qalinligiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$E_{tesh} = \frac{U_{tesh}}{h},$$

bu yerda, h — dielektrik qalinligi. Amaliyotda U_{tesh} kilovolt-larda, h — millimetrlarda ifodalanadi.

Gazlarning teshilishi. Gazda doim elektronlar bo‘ladi. Elektronlar elektr maydonda qo‘shimcha kinetik energiya oladilar. Elektronlarning kinetik energiyasi modda uchun belgilangan ma’lum qiymatdan ortib ketsa, elektronlar gaz atomlari bilan to‘qnashib ionizatsiya sodir qiladi, ya’ni atomlar bilan bog‘langan elektronlarni bo‘shatadi. Bu jarayon zarba ionizatsiya hodisasi deyiladi. Ozod bo‘lgan elektronlar yetarli kinetik energiya to‘plab, o‘zlari ionlash xususiyatiga ega bo‘ladilar va shunday qilib elektronlar soni ko‘chkisimon tarzda ortib boradi. Zarba ionizatsiya jarayoni gazlarning teshilishida asosiy rol o‘ynaydi.

Suyuq dielektriklarning teshilishi. Suyuq dielektriklarda doim suv, gaz va qattiq jismlarning aralashmalari mavjud bo‘ladi. Elektr maydonining katta kuchlanganlik qiymatlarida elektronlar metall elektrodlardan yulib olinadi, ya’ni gaz molekulalari ionlanadi. Hosil bo‘lgan erkin elektronlar zarba ionizatsiyasida qatnashadi. Suv molekulalari kuchli elektr maydonda qutblanadi va elektrod-

lar o'rtasida yuqori o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan zanjir hosil bo'ladi, ularda elektr teshilish yuz beradi.

Qattiq dielektriklarning teshilishi. Dielektrik bir jinsli bo'lganda undagi elektr teshilish sof elektron jarayon hisoblanadi va qattiq jismlarda ozgina boshlang'ich elektronlardan ko'chki sodir bo'ladi. Lekin ko'pgina dielektriklar bir jinsli bo'lmagan strukturaga ega. Bunday dielektriklarda doim nuqsonlar, gazlar mavjud bo'ladi. Shuning uchun ularda elektr, issiqlik hamda elektr kimyoviy teshilishlar sodir bo'lishi mumkin. Issiqlik teshilish elektr o'tkazuvchanlik yoki dielektrik yo'qotishlar yuqori bo'lganda sodir bo'ladi va elektr maydonda material o'zining elektr izolatsion xususiyatlarini yo'qotadigan temperaturagacha qiziydi. Izolatsion materiallarning elektr kimyoviy teshilishi yuqori temperatura va yuqori havo namligida kuzatiladi. Bu jarayon elektroliz kuchli bo'lib materialda kimyoviy aktiv moddalar ajralganda boshlanadi, yoki yarimo'tkazgich birikmalar hosil bo'ladi.

4.2. Organik qattiq dielektriklar

Organik polimerlar yoki yuqori molekular birikmalar deb organik moddalar, ya'ni uglerodning noyob tuzulishga ega, katta va egiluvchan molekulalardan tashkil topgan elementlar bilan birikmasiga aytiladi. Yuqori molekular birikmalarga ba'zi tabiiy moddalar, masalan selluloza, ipak, oqsillar, kauchuk va past molekular moddalardan tayyorlangan sintetik materiallar (tabiiy gaz, neft, ko'mir va boshqalar) ham kiradi. Polimerlar, ayniqsa, sintetik polimerlar elektr izolatsion texnikada keng qo'llaniladi.

Polimerlar monomerlardan — bir zveno yoki uning bir qismidan tashkil topgan, polimerlash reaksiyasida qatnashishga molik bo'lgan past molekular birikmalardan hosil qilinadi. Polimerlanishda molekular massa ortadi, erish va qaynash temperaturasi ortadi, qovushqoqlik ortadi, polimerlanish jarayonida

modda gazsimon yoki suyuq holatdan qattiq holatga o'tadi. Polimer hosil bo'lish jarayoni yondosh (yordamchi) mahsulotlar ajralib chiqishi bilan kechadigan reaksiyalar polikondensatsiya reaksiyalari deyiladi. Polimerlar polimerlanish darajasi bir polimer molekulasiga birikkan monomer molekulari soni n bilan tasniflanadi. Polimerlanish darajasi qancha yuqori bo'lsa, erish temperaturasi ham shuncha yuqori bo'ladi. Polimer molekulari shakli va tuzilishiga ko'ra ikki guruhga bo'linadi: *chiziqli* va *fazoviy*. Chiziqli polimerlar nisbatan egiluvchan va elastik; temperatura muayyan ortganda yumshaydi, keyin esa eriydi. Fazoviy polimerlar qattqlikka ega; faqat yuqori temperaturalarda yumshaydi va yumshash temperaturasiga yetganda buziladi (yonib ketadi). Chiziqli polimerlar tegishli eritgichlarda eriydi, fazoviy polimerlar esa deyarli erimaydi.

4.3. Plastmassalar, izolatsiyalovchi loklar, emallar, kompaundlar

Agar polimerlar keng temperatura diapazonida yumshoqligicha qolsa va yengil deformatsiyalansa, ular *elastomerlar* yoki *kauchuklar* deb ataladi. Agar aytib o'tilgan sharoitlarda polimerlar o'zlarini qattiq jismdek tutsalar, ular *plastomerlar*, *plastik massalar* yoki *polimer shishalar* deb ataladi.

Kimyoviy tarkibiga ko'ra polimerlar uch sinfga bo'linadi:

- karbonoyob;
- geteronoyob;
- organik elementli.

Birinchi sinfga faqat uglerod atomidan tashkil topgan polimerlar: sintetik kauchuklar, polietilen, polipropilen, polivinilxlorid, polistirol, polimetilmetakrilat, teflon, ftoroplastlar kiradi.

Ikkinchi sinfga uglerod atomidan tashqari yana kislorod, azot, oltingugurt yoki fosfor atomlari bo'ladigan organik polimerlar

kiradi. Geteronoyob polimerlarga polietilentereftalat, kraxmal, oqsillar va boshqalar kiradi.

Organik elementli polimerlar — bu shunday yuqori molekular birikmalarki, ular tarkibiga ugleroddan tashqari boshqa element atomlari ham kiradi. Amaliyotda keng qo'llaniladiganlari elastomer, plastik massa va qoplamalar kabi organik kremniyli birikmalardir.

Yuqori molekular organik moddalarning murakkab aralashmalari *smola* deb ataladi. Ular o'xshash kimyoviy tabiatga va umumiy fizik xossalarga ega. Past temperaturada smolalar amorf, shishasifat mo'rt massalardir. Qizitilganda smolalar yumshaydi, avval plastik, keyin esa suyuq holatga o'tadi. Elektr izolatsiyada qo'llaniladigan smolalar ko'p hollarda suvda erimaydi, lekin mos keluvchi organik eritgichlarda eriydi.

Elektr izolatsiyada sintetik smolalar (polietilen, polistirol, polivinilxlorid, polimetilmetaseklat, ftoroplast, lavsan, epoksid smola va boshqalar) muhim o'rin tutadi.

Yuqori chastota polimerlari. *Ftoroplast* - 4 (politetraftoretillen, PTFE) tetraftoretillen $F_2C=CF_2$ ni polimerlash yo'li bilan olinadi. Chet elda unga teflon nomi berilgan. PTFE yuqori issiqbardoshlikka ega ($250^\circ C$). Kimyoviy jihatdan mustahkam, yonmaydi, suv va boshqa suyuqliklarda bo'kmaydi. Oq yoki kulrang. Elektr izolatsiya xossalariga ko'ra eng yaxshi dielektrik hisoblanadi: $50-10^{10}$ Hz chastotada $\epsilon = 2,0$; $\tan \delta = 0,0001-0,0003$; $\rho = 10^{16} \Omega \cdot m$ ga teng. $T < 80^\circ C$ da egiluvchanligini saqlab qoladi. Undan turli shakldagi mahsulotlar, listlar, egiluvchan pardalar, kabel mahsulotlarining izolatsiyasi va boshqalar olinadi. PTFE narxi qimmat, shuning uchun u faqat izolatsiyaga bir vaqtning o'zida yuqori yoki past temperatura, faol kimyoviy muhit, namlik va boshqalar ta'sir etganda qo'llaniladi.

Polietilen gazsimon etilen $N_2S=SN_2$ ni polimerlashdan hosil bo'ladi. Hozirgi vaqtda etilenni polimerlashning 3 usuli mavjud: 300

MPa gacha yuqori bosim va 200°C atrofidagi temperaturada (yuqori bosimli polietilen YBP); 0,3—0,6 MPa past bosim va 80°C gacha temperaturada (past bosimli polietilen PBP); 3—7 MPa oʻrta bosim va 200°C atrofidagi temperaturada (oʻrta bosimli polietilen OʻBP). Bunda turli katalizatorlar qoʻllaniladi. Erish temperaturasi 120—130°C, zichligi 0,92—0,97 M²/m³, tg δ = 0,0001—0,0005, ε = 2,3—2,4, ρ = 10¹³—10¹⁵ Ω·m. Turli polietilenlar kabel izolatsiyalarida (radiochastota, telefon aloqa kabellari) keng qoʻllaniladi, lenta pardalari va boshqa mahsulotlar koʻrinishida ishlab chiqariladi.

Polistirol stirolning suyuq monomeri S₈N₈ni polimerlash natijasida olinadi. Polistirolning yumshash temperaturasi +(70—85)°C ni tashkil etadi. Uning kamchiligiga past temperaturalarda moʻrt boʻlishi, yoriqlarning yuzaga kelishi, eritgich taʼsiriga bardoshsizligi va uncha katta boʻlmagan issiqbardoshlilik kiradi.

Polietilen va polistirol nopolimer dielektriklar hisoblanadi, shu sababli ular yuqori elektr izolatsiya xossalariga va past gigroskoplikka ega.

Zichligi 1,05 M²/m³, tg δ = 0,0001—0,0005, ε = 2,4—2,6, ρ = 10¹⁴—10¹⁵ Ω · m.

Past chatota polimerlari. *Polivinilxlorid* — gazsimon monomer — vinilxlorid N₂S=SN—Sl ni polimerlash natijasida olingan qattiq mahsulot. Tuzilishining asimmetrikligi natijasida qutbli dielektrik hisoblanadi va qutbsiz polimerlarga nisbatan pastroq (yomonroq) xossalarga ega. Polivinilxlorid suv, ishqor, maydalangan kislota, moy, benzin va spirt taʼsirlariga bardoshli. U simlar izolatsiyasi, kabellarning himoya qobigʻi va shunga oʻxshashlarni ishlab chiqarishda keng qoʻllaniladi. Zichligi 1,4—1,7 M²/m³, tg δ = 0,03—0,08, ε = 3—5, ρ = 10¹³—10¹⁴ Ω · m.

Polimetilmetakrilat — metakril kislota metil efirining (metilmetakrilat) polimeri — SN₂—S(SN₃)(SOOSN₃). Polimetilmetakrilat organik shisha yoki pleksiglas nomi bilan mashhur. Rangsiz

shaffof material bo'lib, sovuq, moy va ishqorga nisbatan yuqori bardoshlilikka ega.

Unga elektr yoyi ta'sir ettirilsa, katta miqdorda gaz ajralib chiqadi (CO , N_2 , CO_2), natijada yoy so'nadi. Shuning uchun organik shishalar yuqori kuchlanish razryadniklarida yuzaga keladigan yoylarni tezlik bilan so'ndirishda qo'llaniladi. Zichligi $1,2 \text{ M}^2/\text{m}^3$, $\text{tg } \delta = 0,02-0,08$, $\varepsilon = 3,5-4,5$, $\rho = 10^{11}-10^{12} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$.

Polietilentereftalat (lavsan). Ikki atomli spirt (glikol) $\text{NO}-\text{SN}_2-\text{SN}_2-\text{ON}$ va tereftal kislota $\text{NOOS}-\text{S}_6\text{N}_4-\text{SOON}$ larning polikondensatsiya mahsuloti. Molekular massasi 30000 tartibda bo'lgan lavsan yetarli mexanik pishqlik va yuqori yumshash temperaturasiga (260°C) ega. Ular sintetik tolalar, emallangan simlar izolatsiyasi uchun egiluvchan pardalar tayyorlashda qo'llaniladi. Chet elda «maylar», «dakron» nomi bilan chiqariladi. Zichligi $1,1-1,45 \text{ M}^2/\text{m}^3$, $\text{tg } \delta = 0,002-0,02$, $\varepsilon = 3-4,5$, $\rho = 10^{11}-10^{14} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$.

Epoksid smola molekula tarkibida epoksid guruh $\text{N}_2\text{S}=\text{O}=\text{SN}_2$ mavjudligi bilan xarakterlanadi. Epoksid smolalar sof holda uzoq vaqt mobaynida o'z xossalarini o'zgartirmasdan saqlanishi mumkin. Lekin ularga qotiradigan qo'shimchalar qo'shilsa, ular tezda qotadilar. Qotish jarayoni sof polimerlashni namoyon qiladi. Qotiradigan qo'shimchani turiga qarab epoksid smolalar yoki qizitilganda ($80-150^\circ\text{C}$ gacha), yoki xona temperaturasida (sovqotish) qotirilishi mumkin. Sovuq qotirilish uchun tarkibida azot bo'lgan moddalar (aminlar); qizitilganda qotirilish uchun — organik angidrid moddalar qo'llaniladi. Epoksid smolalar plastmassa, shisha, keramika, metall va boshqa materiallarga nisbatan adgeziya (yopishqoqlik)ga ega. Epoksid smolalar yelim, lok, quyma kompaund, masalan, uncha katta bo'lmagan transformatorlarni quyish yoki kabel muftalarini birlashtiruvchi aloqa apparaturalarini yasashda qo'llaniladi. Zichligi $1,1-1,25 \text{ M}^2/\text{m}^3$, $\text{tg } \delta=0,01-0,03$, $\varepsilon = 3-4$, $\rho = 10^{12}-10^{13} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$.

Plastik massalar (plastmassalar) — bu bir xil shakl va oʻlchamlarga ega mahsulotlarni yasashda qoʻllaniladigan kompozitsion material. Buning uchun plastmassa yuqori bosim taʼsirida (koʻpincha bir vaqtda qizdirish yoʻli bilan) presslanadi.

Plastmassalar elektrotexnikada ham elektr izolatsion, ham sof konstruksion material sifatida keng qoʻllaniladi. Koʻpgina plastmassalar yuqori mexanik pishqlik, yaxshi elektr izolatsion xossalarga va kichik ogʻirlikka ega (plastmassalarning zichligi, odatda, 0,9 dan 1,8 M^2/m^3 gacha).

Koʻp hollarda plastmassalar ikkita asosiy komponentdan tashkil topgan boʻladi: bogʻlovchi va toʻldiruvchi. Bogʻlovchi, odatda, organik polimer boʻlib, bosim taʼsirida deformatsiyalanish xususiyatiga ega boʻladi. Hozirgi vaqtda bogʻlovchi komponent sifatida koʻp miqdorda *fenolformaldegid smolalar* ishlatiladi. Ular fenol N_3S_6-ON (yoki krezol $N_3S-S_6N_4-ON$) polikondensatsiyasi natijasidir. Ular katalizator yordamida ishlab chiqariladi. Eritmadagi fenol va formaldegid nisbatiga koʻra yoki *bakelit*, yoki *novalak* hosil boʻladi. Bakelit yuqori mexanik pishqlikka ega, lekin egiluvchanligi kam. Bakelit plastmassa, qatlamli plastmassalar — getinaks, tekstolit va boshqalarni yasashda qoʻllaniladi. Novalak qizitilganda ham eruvchanligini saqlab qoladi. U plastik massalarni yasashda keng qoʻllaniladi. Formaldegid smolalarning zichligi 1,25—1,3 M^2/m^3 , $tg \delta = 0,01-0,1$, $\epsilon = 5-6,5$, $\rho = 10^{11}-10^{12} \Omega \cdot m$.

Qatlamli plastiklar. Past chastotali zanjirlarning konstruksion va elektr izolatsion materiallari sifatida asosi u yoki bu tolali material boʻlgan qatlamli plastiklar keng qoʻllaniladi. Ularga getinaks, tekstolit va boshqalar kiradi.

Getinaks A bosqichida fenolformaldegid smola yoki shu turdagi boshqa smolalar shimdirilgan qogʻozni qaynoq presslash usuli bilan olinadi. Qogʻozni smola bilan shimdirishni turli usullar

bilan amalga oshiradilar: lok bilan, eritilgan smola surtish yo‘li bilan yoki suvli smolali suspenziyaga botirish yo‘li bilan. Oxirgi usul ancha arzon bo‘lib, qoniqarli sifatdagi material olishga imkon beradi.

Shimdirilgan qog‘oz kerakli shakldagi listlarga bo‘linadi, kerakli qalinlikdagi uyumlarga yig‘iladi va gidravlik pressdagi po‘lat plitalar oralig‘iga joylanadi. Qatlamli plastiklar ishlab chiqarishda ishlab chiqarish samaradorligini oshirish uchun plitalarni bir necha isitish qavatlariga joylashtiriladi, shimdirilgan qog‘ozlarni birvarakayiga barcha qavatlariga joylanadi. Presslash vaqtida issiqlik plitalardan presslanayotgan materialga uzatiladi; fenolformaldegid smola eriydi, qog‘oz tolalari oraliqlardagi bo‘shliqlarni to‘ldiradi va alohida listlar ko‘rinishida pishiriladi (C bosqichiga o‘tiladi), qotiriladi va qog‘ozning alohida qavatlari mahkam bog‘lanadi.

Getinaks presslanganda materialga berilayotgan bosim ($100\text{--}120$) 10^5 n/m² ga teng bo‘ladi. Pressdagi plitalar temperaturasi $160\text{--}165^\circ\text{C}$; qaynoq plitalar orasida bosim ostida ushlanish vaqti har bir millimetr qalinlik uchun 2 minutdan 5 minutgacha.

Radioappaturalarda qo‘llaniladigan getinaks xossalari 3.1-jadvalda keltirilgan.

Getinaks qatlamli tuzilishga ega bo‘lganligi sababli, perpendikular va parallel yo‘nalishlardagi elektr xossalari turlicha (3.1-jadvalga qarang). Masalan, getinaksning qatlamlar bo‘ylab solishtirma hajmiy qarshiligi, ko‘ndalang qatlamlardagiga nisbatan 50—100 marta kichik, qatlamlar bo‘ylab elektr mustahkamlik esa ko‘ndalang qatlamlardagiga nisbatan 5—8 marta kichik. Getinaksni mexanik usulda qayta ishlash mumkin. Bu vaqtda qirqish asboblari qattiq qotishmalardan tayyorlanishi kerak; stanoklar chang yutadigan tyaga bilan jihozlangan bo‘lishi lozim; uncha katta bo‘lmagan uzatishlarda kesish tezligi katta bo‘ladi; sovitish faqat havo orqali amalga oshiriladi. Ingichka getinaks shtampovka

qilinayotganda, odatda, detal chekkalari yorilib ketmasligi uchun oldindan isitish qoʻllaniladi. Shtampovka qilingan detallarning chekkalarini elektroizolatsion lok bilan himoyalash tavsiya etiladi. Materialning sirtki qatlamini frezirovka qilish mumkin emas, chunki qayta ishlash natijasida getinaksning namlikka bardoshliligi yomonlashadi.

Radioapparaturning past chastotali zanjirlari pechat sxemalarini yasashda folgalangan getinaks qoʻllaniladi. Hozirgi vaqtda bunday materialning 7 turi ishlab chiqariladi. Bunday getinaks, bir yoki ikki tomonidan qalinligi 0,035—0,05 mm boʻlgan elektrolit qizil mis bilan qoplangan boʻladi.

Tekstolit getinaksga oʻxshaydi, lekin shimdirilgan qogʻozdan emas, shimdirilgan tabiiy matodan yasaladi. Uning yuklamaning oʻzgarmas kuchlanishida shimdirilgan tabiiy matodan yasalgan tekstolitning elektr va mexanik xossalari getinaksnikidan kam, lekin yuqori solishtirma zarba qovushoqlikka ega.

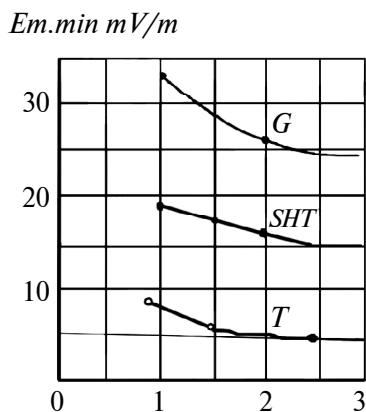
4.1-jadval

**Radioapparatlarda ishlatishga moʻljallangan qatlamli
plastiklarning xossalari**

Xossalari	Getinaks	Tekstolit	Kremniy-organik bogʻlamli shisha-tekstolit	Izoh
Zichligi, kg/m ³	(1,3—1,4) 10 ³	(1,3—1,45) 10 ³	(1,6—1,75) 10 ³	Shisha-tekstolit 200°C da qisqa vaqtli ekspluatatsiyani amalga oshiradi

4.1-jadvalning davomi

Martens bo'yicha issiqlikka bardoshlilik, °C (kam emas)	150	125	180	
Sovuqqa bar- doshlilik, °C	—60	—60	—60	
Mustahkamlik chegarasi, n/m ² : cho'zilishda; egilishda	(800—1000) 10 ⁵ (1300—1500) 10 ⁵	(500—650) 10 ⁵ (900—1200) 10 ⁵	(1200— 1800) 10 ⁵ 2000 10 ⁵	
Solishtirma zarba uyushqoqligi, J/m ²	(15—20)10 ³	(20—27)10 ³	75—10 ³	
Solishtirma hajmiy qarshilik, Ω · m	10 ⁸ —10 ¹¹	10 ⁶ —10 ⁹	10 ¹¹	
Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik	6—7	8	7	Suvda 24 soat ush- langandan so'ng
10 ⁸ Hz da dielektrik yo'qotishlar tangens burchagi	0,035—0,08	0,07	0,02	
Elektr mus- tahkamlik (qat- lamlarga per- pendikular), Mv/m (kam emas)	33	4—8	18	



4.4-rasm. Getinaks (G), testolit (T) va shisha tekstolit (SHT) minimal elektr mustahkamligining listlarning qalinligiga bog‘liqligi.

Shisha tekstolit — bu yuqori issiqlikka chidamli va mexanik mustahkam listli material bo‘lib, keramik organik lok bilan shimdirilgan ishqorsiz shisha materialdan yasaladi. Ba’zi markalar uchun organik kremniy va epoksid smoladan tashkil topgan kompozitsiyalardan ishlab chiqariladi.

4.4-rasmda 50 Hz chastotada getinaks G, tekstolit T va shisha tekstolit SHT larning minimal elektr mustahkamligining list qalinligiga bog‘liqligi keltirilgan. Tajribadan oldin namunalar 4 soat davomida 70°C temperaturada, so‘ngra 6 soat davomida $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ da ushlangan. $65 \pm 3\%$ nisbiy namlikda tekstolit $90 \pm 2^{\circ}\text{C}$ temperaturadagi moyda teshilishga tekshirildi.

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, shisha tekstolitning elektr mustahkamligi tabiiy matodan yasalgan tekstolitga nisbatan deyarli uch marta yuqori.

4.4. Noorganik dielektriklar. Radiokeramik materiallar

Shisha — turli oksidlar tizimidan iborat bo‘lgan noorganik amorf modda. Shisha tarkibiga har biri shisha hosil qilishi mumkin bo‘lgan (SiO_2 , B_2O_3) oksidlardan tashqari boshqa oksidlar ham

(Na_2O , K_2O , SaO , BaO , PbO , Al_2O_3) kiradi. Shishalarning asosini SiO_2 tashkil etadi, shuning uchun ular silikat shishalar deb ataladi.

Shisha oksidlarning eritilgan aralashmasidan tez sovitish yo‘li bilan olinadi. Agar eritilgan aralashma sekin sovitilsa, moddaning kristall holatga o‘tib ketish ehtimoli ortadi. Qizitish yo‘li bilan kerakli yuqori temperaturagacha yumshatilgan shisha puflash, ushlab turish, presslash, quyish bilan qayta ishlanadi.

Shishaning zichligi 2000 dan 8000 kg/m^3 gacha oraliqda yotadi; oddiy silikat shisha zichligi 2500 kg/m^3 ga yaqin. Shishaning mustahkamligi siqilganda (6000—21000 MPa), cho‘zil-gandagiga (100—300 MPa) nisbatan ancha yuqori.

Boshqa amorf materiallar singari shisha ham keskin erish temperaturasiga ega. Ko‘pgina shishalarning yumshash temperaturasi 400—1600°C oralig‘ida bo‘ladi. Oxirgi qiymat kvars shishaga mos keladi (uning tarkibi 100 % SiO_2).

Oddiy shishalarga spektrning ko‘rinish qismi uchun shaffof SaO qo‘shilsa — ko‘k, Cr_2O_3 qo‘shilsa — yashil, UO_2 qo‘shilsa — sariq rang olinadi. Turli shishalar uchun yorug‘lik sinish ko‘rsatkichi n turlicha bo‘lib, 1,47—1,96 oralig‘ida yotadi.

Elektr teshilishga nisbatan shishaning mustahkamligi uning tarkibiga bog‘liq. E_{must} ga havo hisobiga shishada hosil bo‘ladigan g‘ovaklar hal qiluvchi ta’sir ko‘rsatadi. Bir jinsli elektr maydonida o‘zgarmas kuchlanish berilganda E_{must} qiymati 500 MV/m gacha boradi. Yuqori chastotalar yoki yuqori temperaturalarda shishaning teshilishi issiqlik xarakteriga ega.

Radioelektronikada qo‘llanilishiga ko‘ra shishalar quyidagi turlarga bo‘linadi.

Elektrovakuum shishalar. Turli elektron asboblari, lampalarning chiqishlari, ballonlar yasashda qo‘llaniladi.

Izolator shishalar. Shishalar turli kondensatorlarga germetik kiritmalar sifatida oson metallashadi. Izolatorlar, asosan, natriyli, kaliyli va kaliy-natriyli shishalardan yasaladi.

Kondensator shishalar. Kondensatorlar uchun silikat-qalayli va bariyli shishalar qo'llaniladi. Bunday shishalar yuqori elektr xossalarga ega.

Lazerli shishalar. OKG aktiv atomlari uchun matritsa sifatida shisha ishlatilishi mumkin. Amaliyotda noyob tuproqli ionlar bilan aktivlashtirilgan bariyli shisha, xususan, neodim Nd^{3+} qo'llaniladi. Shishalardan bir jinsli katta o'lchamlarga ega bo'lgan o'zaklar (sterjen) yasash oson.

Xalkogenid shishalar. Ular margimush, surma, fosfor, vismut, talliylarning selenidlari, telluridlari, sulfidlaridan tashkil topgan kislorodsiz shishasimon qotishmalardan iborat. Bu shishalarning ba'zi turlari ham elektron yarimo'tkazgich, ham dielektrik bo'lishi mumkin.

O'tkazuvchi sirtli shishalar. Qo'rg'oshin ikki oksidi (SnO_2) bilan qoplangan shaffof sirtli elektr izolatsion shishalar eng keng tarqalgan. Ularda qo'rg'oshin oksidi (SnO) va qo'rg'oshin metalli (Sn) kiritmalari teng taqsimlangan. Bir necha mikron qalinlikdagi qavatlar ham 10 dan 40 Om gacha va undan yuqori sirt solishtirma qarshilikni ta'minlashi mumkin. Xossalarga ko'ra ularni elektron yarimo'tkazgichlarga kiritish mumkin. Hozirgi kunda o'tkazuvchi sirtlar uchun titan, indiy va boshqalarning oksid pardalari qo'llanilmoqda. O'tkazuvchi sirtli shishalardan elektroluminiscent kondensatorlar, fotoelementlar, pardali rezistorlar va boshqalarni ishlab chiqarishda foydalaniladi.

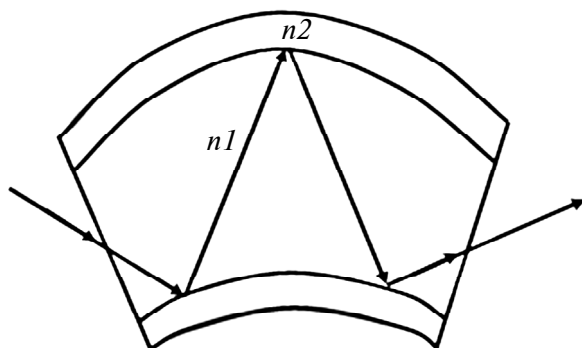
Tola ishlab chiqarishda qo'llaniladigan shishalar. Shisha tola ishlab chiqarishda ishqorli alumosilikat, ishqorsiz hamda kam ishqorli aluminoborosilikat shishalar qo'llaniladi. Shisha tolalar 4—7 mkm diametrga ega. Alohida o'ram qilib buralgan shisha

iplardan shisha mato va lentalar yasaladi. Ular o‘ram simlarining izolatsiyasiga ishlatiladi. Undan tashqari shisha toladan optik tolalar yasaladi.

Optik tolalar (optik aloqa kabellari) — buralgan shisha tolalar, jgut bo‘lib ular turli sinish ko‘rsatkichlariga ega bo‘lgan turli tarkibli shishali qobiq va o‘zakka ega. Unda o‘zakning sinish ko‘rsatkichi n_1 , qobiq sinish ko‘rsatkichi n_2 dan katta bo‘ladi. Ko‘p shisha tolalar uchun $\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} = 10^{-2} - 10^{-3}$. Yorug‘lik nuri yorug‘lik zichligi kattaroq muhitdan (o‘zak) yorug‘lik zichligi kamroq muhitga chegaraviy qiymatdan katta burchak ostida tushganda, to‘liq ichki qaytarish yuz beradi va nur ko‘p marta qaytarilib, tashqi muhitga chiqmasdan, tola bo‘ylab tarqaladi (4.5-rasm).

Ikki qavatli shisha tola diametri 20—30 mkm ni tashkil etadi. Optik tolali uzatish tizimlarida axborot signallari optik shisha tolalar bo‘ylab uzatiladi.

Mikroelektronikada kremniy monooksidili (SiO) amorf pardalar rezistorlar, pardali kondensatorlarda dielektrik, mikrosxemalarda qatlamlar orasidagi izolatsiya va himoya sirtlari sifatida keng qo‘llaniladi. Barcha pardali elementlar texnologiyasi, albatta,



4.5-rasm. Shisha tolani ishlash prinsipi.

o'tkazuvchi, rezitsiv va izolatsion materialdan mos keluvchi asosga parda o'tkazish jarayonini o'z ichiga oladi. Yupqa pardalarni vakuumli cho'ktirish texnologiyasi keng qo'llaniladi. Kremniy monooksidi vakuumda (10^{-3} — 10^{-4} Pa dan yuqori) 1100—1200°C temperaturada oson bug'lanadi.

Sitallar. Sitallar maxsus tarkibga ega shishalarni kristallash yo'li bilan tayyorlanadi («sitall» so'zi «silikat» va «kristall» so'zlarining qisqartmasi). Shishani kristallash uchun butun hajmga stimulatorlar: TiO_2 , FeS , ba'zi metallarning ftorid va fosfatlari kiritiladi. Bunday sitallar termositallar deb ataladi. Agar kristallash stimulatorlari kumush, oltin, mis va boshqalarning mayda zarrachalari bo'lsa, fotositallar hosil bo'ladi. Odatda, elektr sitallar xuddi shunday tarkibga ega bo'lgan amorf shishalar va keramikalarga nisbatan yuqori elektr izolatsion xossalarga va elektr mustahkamlikka ega bo'ladilar.

O'ta yuqori chastota texnikasida shisha, kondensatorlar yasashda keramika o'rniga sitallar qo'llaniladi. Aktiv dielektriklar sifatida qo'llaniladigan segneto- va pyezositallar ham mavjud.

Elektr izolatsion keramika. Yuqori temperaturada kuydirish usuli bilan olinadigan noorganik materiallar *keramika materiallari* deb ataladi. Kuydirish natijasida keramikadan yasalgan mahsulotlar yuqori mexanik mustahkamlikka, kichik tg δ ga, issiqlikka bardoshli, elektr va issiqlik eskirishiga chidamli yaxshi elektr izolatsion materialga aylanadi.

Elektrotexnikada keramika — yarimo'tkazgich, magnit (ferrit), segneto- va pyezoelektrik materiallar va kondensatorlar sifatida qo'llaniladi.

Farfor turli shakldagi izolatorlar ishlab chiqarishda asosiy material hisoblanadi. Farfor hosil qilish uchun tuproqning (kaolin) maxsus sortlari va minerallar; kvars SiO_2 va dala shpati qo'llaniladi. Tashkil etuvchilar aralashmalardan tozalanadi, maydalanadi va

suv bilan aralashtiriladi. Farfor massadan kerakli shakldagi mahsulot yasaladi, quritiladi va $1300\text{--}1400^{\circ}\text{C}$ temperaturada kuydiriladi. Kuydirilgan farfor mullit $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ va kvars SiO_2 kristallari-dan tashkil topgan bo'lib, ular oralig'i shishasimon eritilgan dala shpati bilan to'ldiriladi. Farfor siqilganda $400\text{--}700\text{ MPa}$, cho'zilganda $45\text{--}70\text{ MPa}$, egilganda $80\text{--}150\text{ MPa}$ mustahkamlik chegarasiga ega. Farforning elektr izolatsion xossalari normal temperatura va past chastotada ancha yuqori bo'lib, temperatura va chastota ortgan sari yomonlashib boradi. Hozirgi kunda farfor tarkibidan farq qiladigan ancha takomillashtirilgan farfor va keramika materiallari qo'llaniladi.

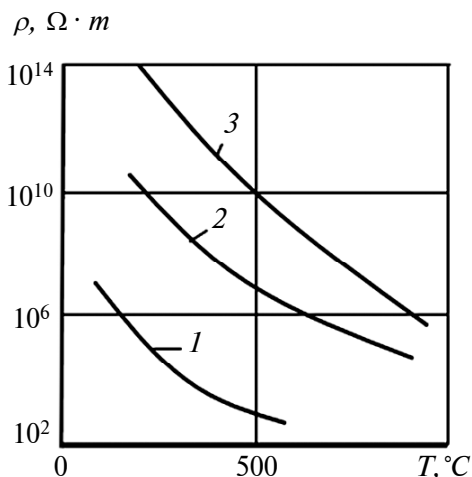
Radiofarfor BaO kiritilgan farfor bo'lib, radiofarforning keyingi takomillashishi *ultrafarfor* deb ataladi. Uning tarkibida ancha miqdorda Al_2O_3 bo'ladi. Oddiy elektr farforga nisbatan ultrafarforning $\text{tg } \delta$ kichik, ρ katta qiymatlarga ega bo'ladi.

Aluminoksid, asosan, korunddan tashkil topgan bo'lib, yuqori issiqbardoshlikka (ishchi temperaturasi 1600°C), hatto yuqori temperaturalarda ham yuqori ρ va kichik $\text{tg } \delta$ ga ega (4.6-rasm).

Steatit — talk $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ asosida olinadigan keramikaning bir turidir. Steatitning elektr izolatsion xossalari yuqori, $\varepsilon = 10$.

Kondensator ishlab chiqarishda ε qiymati yuqori (10000 va undan yuqori) bo'lgan keramika materiallari qo'llaniladi. Sig'im uncha katta bo'lmagan (1000 pF dan kichik) yuqori chastota kondensatorlarida, odatda, $\varepsilon = 10\text{--}100$ bo'lgan materiallar qo'llaniladi. Agar material tarkibida titan ikki oksidi TiO_2 (rutil) yoki kalsiy titani Ca TiO_3 (peroksid) mavjud bo'lsa, ular T harfi bilan, yoki stirkon St harfi bilan belgilanadi.

Bu materiallarda dielektrik yo'qotishlar past chastotadan yuqori chastotagacha bo'lgan barcha diapazonda kichik ($\text{tg } \delta = 10^{-4}\text{--}10^{-2}$) bo'lib, uning tarkibiga $\text{TKI} = (-1500\text{--}100) \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$



4.6-rasm. Baʼzi keramika elektroizolatsion materiallarning solishtirma hajmiy qarshiligi ρ ning temperaturaga bogʻliqligi:
1—farfor; 2—steatit; 3—aluminoksid.

bogʻliq boʻladi. Yuqori temperatura termotaʼsir mavjud boʻlganda kichik TKI ga ega boʻlgan kardiyerit $2\text{MgJ} \cdot 2 \cdot 5\text{SiO}_2$ ($\text{TKI} \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), sirkon ikki oksidi ZrO_2 ($\text{TKI} \approx 4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), aluminiy titani TiO_2 ($\text{TKI} \approx 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) kabi keramikaning maxsus turlari qoʻllaniladi.

Baʼzi metallarning sof oksidlari juda yuqori issiqlikka bardoshli boʻlib, yuqori issiqlik oʻtkazuvchanlikka ega boʻladilar. Ularga berilliy oksidi BeO , magniy oksidi MgO va aluminiy oksidi Al_2O_3 kiradi. BeO (brokerit) keramika yuqori quvvatli tranzistorlar va mikrosxemalarning asosini ishlab chiqarishda qoʻllaniladi.

Gibrid IMS asoslarini yasashda qoʻllaniladigan materiallar. Gibrid IMS (yoki GIS) — passiv pardali elementlar (rezistorlar, kondensatorlar, induktivlik gʻaltaklari) va diskret faol komponentlar (diodlar, tranzistorlar, tiristorlar)dan tashkil topgan mikrosxema boʻlib, ular yagona dielektrik asosda joylashadi. GIS ishlab chiqarish konstruksiyasi va texnologiyasi loyihalashtirilayotganda

asosning to'g'ri tanlanishi mikrosxemaning elektr va ekspluatatsion parametrlarini to'g'ri tanlanishini ta'minlaydi. Eng keng tarqalgan texnologiya yupqa pardali texnologiya bo'lib, unda izolatsiyali asosda pardalar hosil qilinadi. Bunday mikrosxemalarda asos quyidagi funksiyalarni bajaradi:

- a) yupqa pardali elementlar hosil qilinadigan asos;
- b) yupqa pardali mikrosxema elementlarini bir-biridan izolatsiyalaydi;
- d) mikrosxema konstruksiyasida issiqlik qaytaruvchi element vazifasini bajaradi.

Yupqa pardali mikrosxema asoslariga quyidagi talablar qo'yiladi:

- a) silliq va tekis sirt;
- b) yuqori hajmiy va sirt qarshiligi;
- d) yuqori elektr mustahkamlik;
- e) yuqori issiqlik o'tkazuvchanlik;
- f) pardalarga kimyoviy inertlik;
- g) mexanik pishqlik;
- h) maksimal ishchi pishqlik;
- i) kichik tannarx;
- j) vakuumda yuqori gabsizlanish xususiyati.

Asos olish uchun asosiy materiallar. Sanab o'tilgan barcha talablarga javob beradigan asos mavjud emas.

Yupqa pardali mikrosxemalarning asosi sifatida ko'p hollarda shisha, keramika va shisha keramika qo'llaniladi. Eng keng qo'llaniladigani alumosilikat va borosilikat S41-1 va S48-3 shishalar bo'lib: ularning issiqlik qaytarish koeffitsiyentlari $(1-1,5) \text{ W/(m} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$, $\varepsilon = 3,2-8$, $\text{tg } \delta = (15-20) \cdot 10^{-4}$, $\rho = 10^7-10^{14} \Omega \cdot \text{m}$, elektr mustahkamligi 40 kV/mm ni tashkil etadi. Bunday asoslar nisbatan silliq sirtga va kichik tannarxga ega. Shishadan yasalgan asoslarning kamchiligi ularning kichik mexanik mustahkamligi va kichik issiqlik qaytarish xossalari hisoblanadi.

Asos sifatida sitallar keng qo'llaniladi. Uning tavsifnomalari: issiqlik qaytarish koeffitsiyenti $1,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, $\varepsilon = 5-8,8$; $\text{tg } \delta = 20 \cdot 10^{-4}$. Sitallar yuqori mexanik mustahkamlikka ega va oson qayta ishlanadi, vakuumda oson gazzizlantiriladi. Asoslari 0,6 dan 1,6 mm gacha o'lchamlarda bo'lgan to'g'ri burchakli plastinalar ko'rinishiga ega.

Asos sifatida yana past dielektrik singdiruvchanlikka ega keramika 22XS, polikor, sapfir ham qo'llanilishi mumkin. Ular, asosan, 96% Al_2O_3 dan tashkil topgan, polikor esa Al_2O_3 ning nazariy zichligiga ega, sapfir titan bilan temir qorishmasidan iborat. Bu materiallar murakkab ishlab chiqarish texnologiyasini talab qiladilar. Ular yuqori issiqbardoshlikka (ishchi temperaturasi 1600°C gacha), yuqori temperaturalarda katta $\rho = 10^7-10^{14} \Omega \cdot \text{m}$ va kichik $\text{tg } \delta = (10-18) \cdot 10^{-4}$ qiymatlarga, o'ta yuqori mexanik mustahkamlikka va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega.

Sapfir KNS (sapfirdagi kremniy) — texnologiya yordamida yarimo'tkazgichli katta integral sxemalarni tayyorlashda qo'llaniladi. Uning asosi KNS strukturali yarimo'tkazgichlar hosil qilish hisoblanadi. Sapfirda kremniy epitaksial qatlami o'stiriladi va unda katta integral sxema struktura elementlari hosil qilinadi.

Sluda va uning asosidagi materiallar. Sluda tabiatda kristall ko'rinishida uchraydi. Ular bir-biriga parallel bo'lgan ulanma sirtlar bo'ylab oson parchalanadi.

Kimyoviy tarkibiga ko'ra sludalar suvli alumokislotalar hisoblanadi. Ulardan asosiysi: muskovit, uning tarkibi taxminan quyidagicha: $\text{K}_2\text{O}-3\text{Al}_2\text{O}_3-65\text{Y}_2-2\text{N}_2\text{O}$ va flogopit, uning tarkibi: $\text{K}_2\text{O}-6\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3-6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{N}_2\text{O}$. Bulardan tashqari sluda tarkibiga temir, natriy, kalsiy va boshqalarning birikmalari kirishi mumkin.

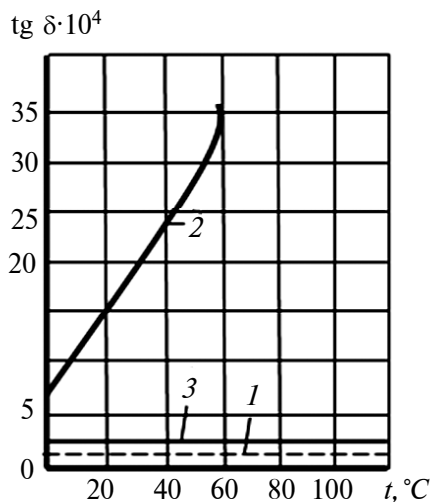
Muskovitlar rangsiz yoki qizg'ish, yashil va boshqa tusga ega bo'lishi mumkin. Flogopitlar ko'pincha ancha to'q ranglarda —

kahrabo, oltin, jigarrang, deyarli qora rangda bo‘ladi, ba’zida esa och ranglarda ham uchraydi.

Elektr xossalriga ko‘ra yaxshi elektr izolatsion material hisoblangan muskovit flogopitdan ustun turadi. Bundan tashqari muskovit flogopitga ko‘ra ancha mustahkam, qattiq, egiluvchan va elastikdir.

Ma’lum temperaturaga yetganda tabiiy sludadan uning tarkibidagi suv ajralib chiqib boshlaydi; bunda sluda shaffofligini yo‘qotadi, qalinligi ortadi (sluda «bo‘rtib chiqadi»), mexanik va elektr xossalari yomonlashadi; temperatura ortgan sari bu o‘zgarishlar ham sezilarli darajaga yetib, sludaning kristall tuzilmasi buziladi.

Odatda, sluda tabiatda kvars, dala shpati va boshqa minerallar bilan birga, qattiq tog‘ jinslariga birikib ketgan simlar (pegmatit) ko‘rinishida uchraydi. Portlash ishlaridan so‘ng aralashmalardan sluda ajratib olingach, u begona minerallardan tozalanadi. Uning



4.7-rasm. Sluda $\text{tg } \delta$ ko‘rsatkichininig temperaturaga bog‘liqligi:
 1— $f = 1 \text{ MHz}$ dagi muskovit; 2— $f = 50 \text{ Hz}$ dagi muskovit;
 3— $f = 1 \text{ MHz}$ va $f = 50 \text{ Hz}$ dagi sintetik sluda (ftorflogopit).

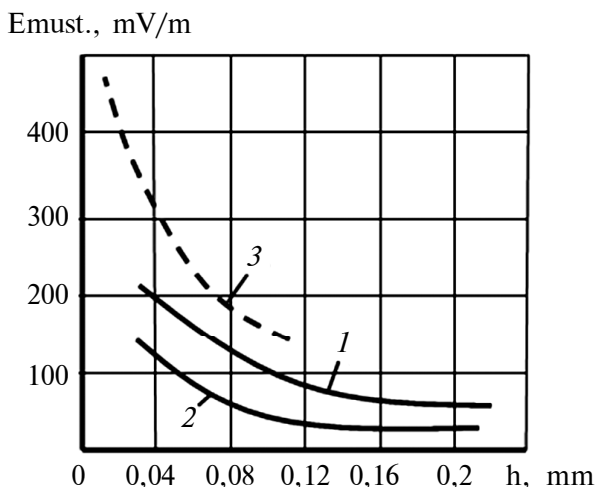
bunday ko‘rinishi *zaboyniy xomashyo* deyiladi. Bu xomashyodan 1—2 %, juda kam hollarda 10% gacha sluda olish mumkin. Zaboyniy xomashyo qo‘lda parchalanadi, pichoq bilan plastinkalarga bo‘linadi, uning chetlarida ma‘lum nuqsonlari bo‘ladi. Bunday sluda chala tozalangan deb ataladi. Keyinchalik ular o‘z navbatida ancha yupqa plastinkalarga (5 dan 45 mk gacha) parchalanadi.

Parchalangan sludadan kondensatorlar uchun shtamplangan to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi plastinkalar (kondensator sludasi), elektron va yorituvchi lampalar uchun shakli shtamplangan detallar, shaybalar va boshqalar yasaladi. Kondensator sludasi — yuqori sifatga ega muskovit bo‘lib, uzunligi 7 dan 60 mm gacha va qalinligi 4 dan 55 mm gacha bo‘lgan plastinkalardan iborat. Plastinkalarning standart qalinligi quyidagicha: 25, 35, 45, 55 mk (± 5 mk xatoligi bilan).

Sintetik sluda. Sintetik sluda kristallari maxsus tuzilgan shixta eritmasidan o‘stiriladi. Tarkibi $\text{KMg}_3(\text{Si}_2\text{Al}_{10})\text{F}_2$ dan iborat bo‘lgan fluorflogopitdan eng yaxshi natijalar olingan. Shixta 1380 °C da eriydi, kristallashish jarayoni esa 1340°C temperaturada amalga oshadi. 4.8-rasmda ko‘rsatilgan sintetik sluda kristali tabiiy sludaga o‘xshash bo‘lib, yupqa plastinkalarga oson parchalanadi. Tarkibida kristallovchi suv mavjud emasligi tufayli, sintetik sluda tabiiy sludaga nisbatan ancha yuqori issiqbardoshlikka ega. 600—700°C ishchi temperaturaga ega kondensatorlarda dielektrik sifatida ham qo‘llanilishi mumkin.

Sintetik sluda elektron lampalarda, shisha tola darchalari va yuqori energiya zarrachalari hisoblagichida izolatsion ekran sifatida qo‘llanilishi mumkin.

Mikaleks kukunsifat tabiiy sluda va maydalangan tez eruvchi shishaning issiqlik yordamida presslanishi natijasida hosil bo‘ladigan qattiq materialdir. Mikaleks olish uchun sludalar listlar



4.8-rasm. Sluda elektr mustahkamligining E_{must} qalinlikka bog‘liqligi:
1—muskovit; 2—flogopit; 3—flogopit.

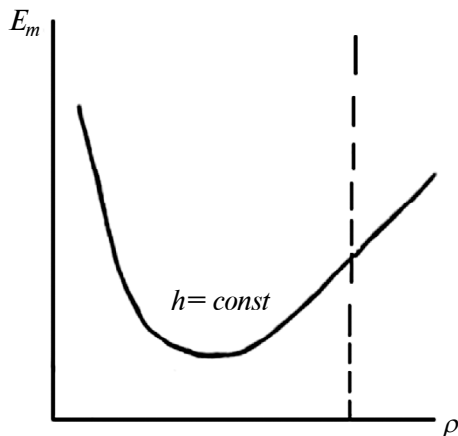
yoki turli kesimga ega sterjenlar ko‘rinishida ishlab chiqariladi va ularga keyinchalik mexanik qayta ishlov beriladi.

Mikaleks uncha katta bo‘lmagan dielektrik yo‘qotishlarga, yuqori issiqbardoshlikka, namga chidamlilikka va mexanik mustahkamlikka ega. Mikaleks radioelektron sanoatda katta quvvatli lampalarni o‘rnatgichi, havo kondensatorlari paneli, taroq, induktivlik g‘altaklari, ulagich platalari va boshqa detallarni ishlab chiqarishda ishlatiladi. Mikaleksga metall kontaktlarni presslab kiritish mumkin.

Novomikaleks shisha birikma bilan mahkamlangan sintetik sludadan tayyorlanadi.

4.5. Gaz holatidagi va suyuq dielektriklar

Gaz holatidagi dielektriklar. Gaz holatidagi dielektriklar elektr izolatsion material sifatida qo‘llanilganda quyidagi afzalliklarga ega: yuqori solishtirma qarshilik ρ , kichik (birga yaqin) dielektrik singdiruvchanlik ε , kichik dielektrik yo‘qotishlar burchagi $\tan$ -



4.9-rasm. E_{must} ning ρ ga bog‘liqligi
(punktir chiziq bilan normal bosim ko‘rsatilgan).

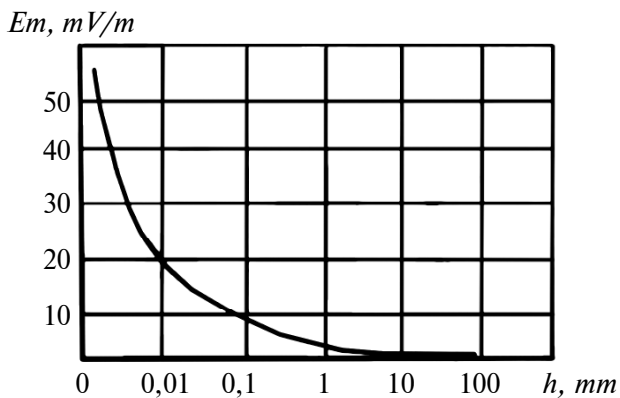
gensi $\text{tg } \delta$. Gaz holatidagi elektr izolatsiyaning kamchiligi kichik elektr mustahkamlik hisoblanadi.

Gaz holatidagi dielektriklar havo elektr uzatish liniyalarida simlar oralig‘ida izolatsiya hosil qiladi, elektrovakuum asboblarda va yorug‘lik manbalarida (inert gazlar, argon, neon va boshqalar), gaz kondensatorlarida (azot, galogen) elektrodlar oralig‘ini to‘ldiradi va katta elektr mashinalarda sovitish muhitini hosil qiladi (vodorod, geliy).

Gazlarning elektr mustahkamligi E_{must} bosimga kuchli bog‘liq (4.9-rasm). Gazlarni vakuumli kondensator, gaz bilan to‘ldirilgan yuqori bosimli kabellarda va boshqa yuqori kuchlanish qurilmalarida elektr izolatsiya sifatida qo‘llanilishi $E_{must} = f(\rho)$ bog‘liqlikka asoslangan.

Elektr mustahkamlik yana elektrodlar oralig‘idagi masofa h ga ham bog‘liq: h kamaysa E_{must} ortadi (4.10-rasm).

h va ρ bir vaqtda o‘zgarsa, quyidagi qonuniyat (Pashen qonuni) o‘rnatilgan: agar razryad oralig‘i uzunligi h va gaz bosimi ρ , ularning ko‘paytmasi o‘zgarishsiz qoladigan qilib o‘zgartirilsa,

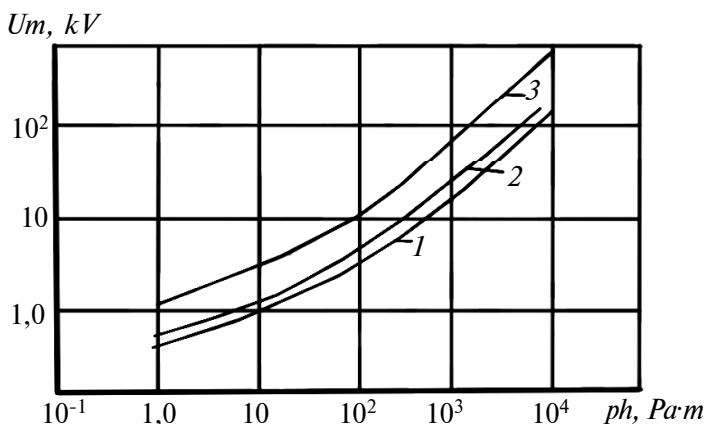


4.10-rasm. Normal bosimdagi havoda bir jinsli dielektrik maydonda elektrodlar orasidagi masofaning E_{must} ga bog'liqligi.

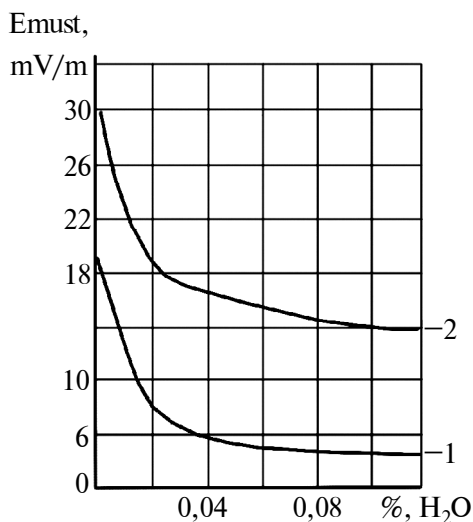
teshilish kuchlanish qiymati o'zgarmaydi, ya'ni $U_{tesh} \propto h$ ko'paytmasi funksiyasi hisoblanadi (4.11-rasm).

Neftli elektr izolatsion moylar. Neftli (mineral) elektr izolatsion moylar neftni haydash usuli bilan olinadi. Ular nisbatan arzon va yuqori tozalanish darajasida elektr izolatsion xususiyatlari ancha yaxshi bo'ladi.

Transformator moyi — turli uglevodlar aralashmasidan tashkil topgan bo'lib, $\epsilon = 2,2-2,3$ bo'lgan qutbsiz dielektrik hisobla-



4.11-rasm. Gazlar uchun Pashen egri chiziqlari:
1—havo; 2—azot; 3—elegaz (SF_6).

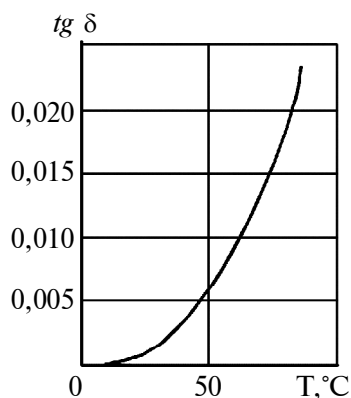


4.12-rasm. Transformator elektr mustahkamligining uning moyli tarkibidagi suvga bog‘liqligi: 1—65°C da; 2—25 °C da.

nadi. Ular yordamida izolatsiyaning elektr mustahkamligini oshirish maqsadida tolali izolatsiya g‘ovaklarini, o‘ramlar va o‘ram simlari oraliqlarini va transformator baki oraliqlarini to‘ldirishadi. Ular yana transformator o‘zagi va o‘ramlarida yo‘qotishlar hisobiga bo‘ladigan issiqlik qaytarishni yaxshilaydi. E_{must} moy tarkibidagi suv miqdori va temperaturaga kuchli ravishda bog‘liq bo‘ladi (4.12-rasm).

Transformator moylarining $\text{tg } \delta$ kattaligining temperaturaga bog‘liqligi qutbsiz dielektrlardagi ko‘rinishga ega bo‘ladi (4.13-rasm).

Kondensator moyi qog‘ozli va pardali kondensatorlarni shimdirishda qo‘llaniladi. Qog‘oz shimdirilganda uning dielektrik singdiruvchanligi va elektr mustahkamligi ortadi. Natijada kondensator o‘lchamlari, og‘irligi va narxi kamayadi. +100°C temperaturada 1 kHz chastotada $\text{tg } \delta = 0,002$ ga teng, 50 Hz chastotada $\text{tg } \delta = 0,005$ ga teng. Moyning elektr mustahkamligi 20 mV/m dan kam emas.



4.13-rasm. Transformator moylari $\text{tg } \delta$ kattaligining temperaturaga bogʻliqligi (50 Hz chastotada).

Kabel moylari elektr jihatdan kuchli qogʻoz izolatsiyali kabellarni ishlab chiqarishda qoʻllaniladi. Bu kabellarni qogʻoz izolatsiyasini moy bilan shimdirish ularning elektr mustahkamligini oshiradi hamda issiqlik qaytarishiga yordam beradi.

Sintetik suyuq dielektriklar. Neftdan olingan elektr izolatsion moylar nisbatan arzon va katta hajmlarda ishlab chiqarilishi mumkin. Lekin ularning ϵ qiymati juda kichik, issiqlikka chidamliligi kichik, yonish va portlash xavflari mavjud. Baʼzi sintetik suyuq dielektriklar bu kamchiliklardan xoli. Ulardan asosiylarini koʻrib chiqamiz.

Xlorlangan uglevodorodlar. Ular turli uglevodorodlardan vodorod atom molekulalarini xlor atom molekulalari bilan almashtirish yoʻli bilan olinadi. Natijada qutblangan mahsulotlar olinadi. Eng keng qoʻllaniladigani, xlorlangan difenol boʻlib, uning tarkibi $\text{S}_{12}\text{N}_{10}\text{-Z}$ Cl dan iborat, bu yerda $z=3-6$ ga teng boʻlib, molekuladagi xlor atomlari sonini bildiradi.

Xlorlangan ϵ difenil qiymatining temperaturaga bogʻliqligi qutbli dielektriklarga xos boʻladi. Xlorlangan difenolning $\text{tg } \delta$ qiymati 0,01 ga teng va temperaturaga bogʻliq emas.

Boshqa qutbli sintetik elektr izolatsion suyuqliklar, masalan nitrobenzol $\text{N}_5\text{S}_6\text{—NO}_2$, etilenglikol $\text{NO—SN}_2\text{—SN}_2\text{—ON}$ va sianoetilsaxaroza $\text{S}_{38}\text{N}_{46}\text{N}_8\text{O}_{11}$ lar yuqori dielektrik singdiruvchanlikka ega ($\varepsilon = 35\text{—}40$). Shu sababli ular bilan qog‘ozli kondensatorlarning moy bilan shimdirilishining almashtirilishi kondensator hajmi, og‘irligi va narxini sezilarli kamaytiradi.

Kremniy organik suyuqliklar, ularning tarkibida uglerod M dan tashqari kremniy Si bo‘lib, kichik dielektrik yo‘qotishlar burchagi, kichik gigroskopiklikka va yuqori issiqbardoshlikka ega. Bu suyuqliklar $+20^\circ\text{C}$ temperatura va 1 kHz chastotada $\varepsilon = 2,5\text{—}3,3$ va $\text{tg } \delta = 0,0001\text{—}0,0004$ qiymatlarga ega bo‘lib, eng yuqori ishchi temperatura 250°C gacha borishi mumkin.

Ftororganik suyuqliklar kichik $\text{tg } \delta$ ga, juda kichik gigroskopiklikka va yuqori issiqbardoshlikka (ishchi temperatura 200°C gacha) ega. Ftororganik suyuqliklar o‘ramlar va magnit simlar sovitilayotganda yuqori issiqlik qaytarish xususiyatiga ega. Ftororganik suyuqliklar kremniyorganik suyuqliklar kabi ancha qimmat va kam qo‘llaniladi.

Nazorat savollari

1. Dielektrik materiallarga ta’rif bering va ularning turlarini aytib bering.
2. Dielektriklarning asosiy parametrlari.
3. Dielektriklarning qutblanishi deganda qanday jarayon tushuniladi?
4. Dielektriklarning qutblanishining qanday turlarini bilasiz?
5. Qutblanish turiga qarab dielektriklar qanday guruhlariga bo‘linadi?
6. Dielektrik yo‘qotishlar deganda nimani tushunasiz?
7. Dielektrik teshilish qanday sodir bo‘ladi?
8. Organik qattiq dielektriklarga ta’rif bering va misollar keltiring.
9. Noorganik dielektriklar va radiokeramik materiallarga misollar keltiring.
10. Pyezoelektrik materiallarga ta’rif bering va misollar keltiring.

V BOB. MAGNIT MATERIALLAR

5.1. Materiallarning magnit tavsifnomasi

Turli moddalar magnit maydoni ta'sirida magnitlanib qoladilar, ya'ni o'zlari magnit maydoni manbayiga aylanadilar. Muhitdagi natijaviy maydon tashqi va modda hosil qilayotgan maydonlar yig'indisiga teng. Magnitlanish xususiyatiga ega moddalar *magnetiklar* deb ataladi.

Barcha moddalarda elektronlarning atom atrofidagi orbita bo'ylab harakatlanishi va xususiy harakatlari natijasida juda kichik elektr toki mavjud bo'ladi. Ular *molekular toklar* deb ataladi. Molekular toklar o'zlarining atrofida magnit maydon hosil qiladilar. Agar magnetik magnitlanmagan bo'lsa, u magnit maydon hosil qilmaydi, chunki undagi molekular toklar tartibsiz joylashgan bo'lib, ularning natijaviy harakati nolga teng bo'ladi. Tashqi magnit maydon ta'sirida molekular toklar qisman yoki to'liq tartibga keladi, ya'ni magnit maydon hosil qilib, magnitlanadi. Moddadagi natijaviy maydon magnit induksiya vektori V bilan xarakterlanadi. Magnit induksiya V tashqi magnit maydon kuchlanganligi N va moddaning magnitlanganligi I bilan quyidagicha bog'langan:

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi \vec{I}.$$

Magnit induksiya yana quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$\vec{B} = \mu \vec{H},$$

bu yerda, μ — magnit singdiruvchanlik. Barcha muhitda $\mu \geq 1$ va butun maydonni to'ldirgan izotrop bir jinsli muhitda ko'rilyot-

gan nuqtada magnit induksiya vakuumdagiga nisbatan qancha kattaligini (yoki kichikligini) bildiradi.

Magnetiklarning sinflanishi. Magnetiklar magnit xossalriga ko'ra *kuchsiz magnitlangan* va *kuchli magnitlangan* guruhlarga bo'linadi. Kuchsiz magnitlangan moddalarga paramagnetiklar va ferromagnetiklar, kuchli magnitlangan moddalar guruhiga, asosan, ferromagnetiklar kiradi. Kuchsiz magnitlangan moddalar uchun μ birga yaqin, paramagnetiklar uchun $\mu \geq 1$, diamagnetiklar uchun $\mu \leq 1$. Kuchsiz magnitlangan moddalar uchun μ moddalar magnitlanadigan induksiya V_0 ga bog'liq emas. Kuchli magnitlangan moddalar uchun $\mu \geq 1$ va V_0 ga bog'liq.

Tashqi magnit maydon ta'sirida atom yoki molekulari magnit momentlarga ega bo'lmagan moddalar *diamagnetiklar* deyiladi. Inert gazlar (oltin, rux, mis, simob, kumush), suv, shisha, marmar va ko'pgina organik birikmalar diamagnetiklar hisoblanadi. Diamagnetik magnit maydoniga kiritilsa, uning har bir atomida (yoki molekulasida) $\Delta\vec{P}_{mi}$ magnit momentiga ega qo'shimcha induksiya toki induksiyalanadi. Ichki maydon magnit induksiya vektori tashqi maydon induksiya vektoriga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi, shuning uchun $\mu < 1$. Diamagnetik moddaning magnitlanishi ham shundan iborat. Diamagnetizm barcha moddalarga xos jarayon, lekin juda kuchsiz ta'sirga ega.

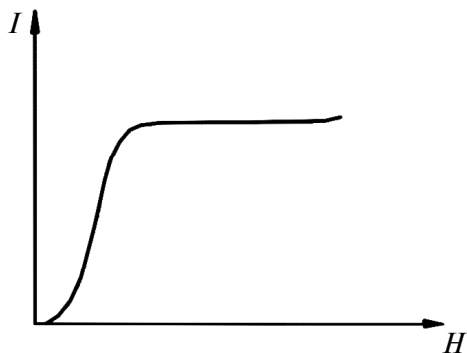
Atomi (yoki molekulari) ma'lum $\vec{P}_m$ magnit momentiga ega bo'lgan moddalar *paramagnetiklar* deyiladi. Paramagnetiklarga kislorod, azot oksidi, aluminiy, platina, noyob tuproq elementlari, ishqoriy va ishqoriy tuproq metallari hamda boshqa moddalar kiradi. Tashqi magnit maydon mavjud bo'lmaganda atom (molekula) magnit momentlari tartibsiz harakatlanadi va modda magnitlanmaydi — unda xususiy (ichki) magnit maydon yuzaga keladi. Paramagnetik bir jinsli magnit maydonga ta'sir etganda barcha atom (molekula) toklarining natijaviy magnit maydoni

hosil bo‘ladi va modda magnitlanadi — unda xususiy magnit maydon hosil bo‘ladi. Uning induksiya vektori tashqi magnitlovchi maydon induksiya vektori bilan bir xil yo‘nalgan bo‘ladi. Shuning uchun paramagnetik μ 1 dan katta bo‘ladi.

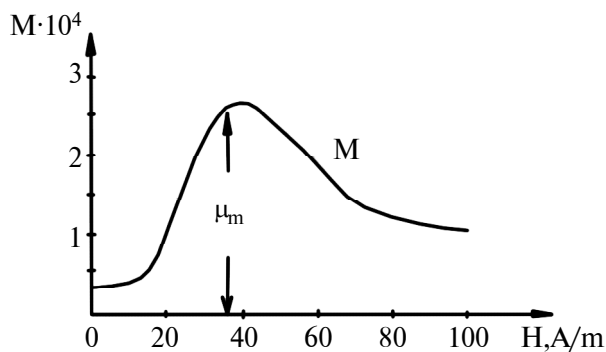
Diamagnetiklar va paramagnetiklar birga yaqin μ ga ega va magnit xossalariga ko‘ra texnikada qo‘llanilmaydi.

Ferromagnetiklar. Magnit materiallar sifatida texnikada ferromagnit moddalar va ferromagnit kimyoviy birikmalar (ferritlar) qo‘llaniladi. Ularga temir, nikel, kobalt va ularning qotishmalari, xrom, marganes, gadoliniiy qotishmalari kiradi.

Zamonaviy tasavvurlarga ko‘ra ferromagnetiklar ko‘p sonli sohalarga yoki $0,001\text{--}10\text{ mm}^3$ o‘lchamli domenlarga bo‘linadi. Sohalarning har biri Kyuri temperaturasidan past qiymatda kuchli magnitlangan, lekin alohida domenlarning magnitlanganlik yo‘nalishlari turlicha, shu sababli ferromagnetikning to‘liq magnit momenti nolga teng bo‘ladi. Tashqi magnit maydoni ta‘sirida ferromagnit materialning magnitlanish jarayoni magnit domenlarini tashqi maydon yo‘nalishida burishga olib keladi. Bunda domenlarning magnit momentlari yo‘nalish bo‘ylab yo‘naltirilgan bo‘lib magnit to‘yinish yuz beradi. I ning H ga bog‘liqligi *magnitlanganlikning texnik egri chizig‘i* deyiladi (5.1-rasm).



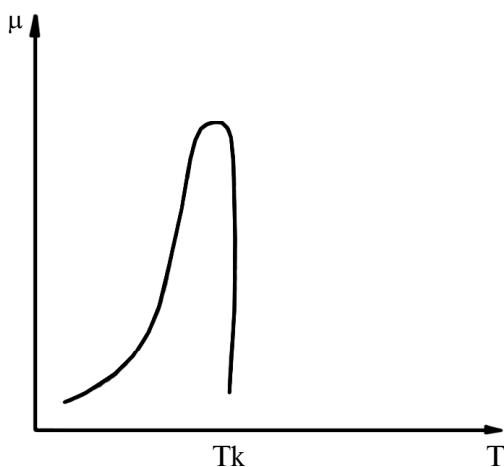
5.1-rasm. Ferromagnetik magnitlanganlik egri chizig‘i.



5.2-rasm. «Armko» temiri uchun magnit singdiruvchanlik μ ning maydon kuchlanganligiga bogʻliqligi.

Nisbiy magnit singdiruvchanlik μ katta qiymatlarga ega va tashqi maydon N ga bogʻliq. Masalan, permolloy uchun (78 % Ni va 22 % Fe) singdiruvchanlik $\mu_{\text{MAKS}} = 100\,000$.

Ferromagnit materiallarning magnit singdiruvchanligi 5.3-rasmda keltirilgandek temperaturaga bogʻliq boʻlib, Kyuri temperaturasi (nuqtasiga) yaqin temperaturada maksimumiga yetadi.

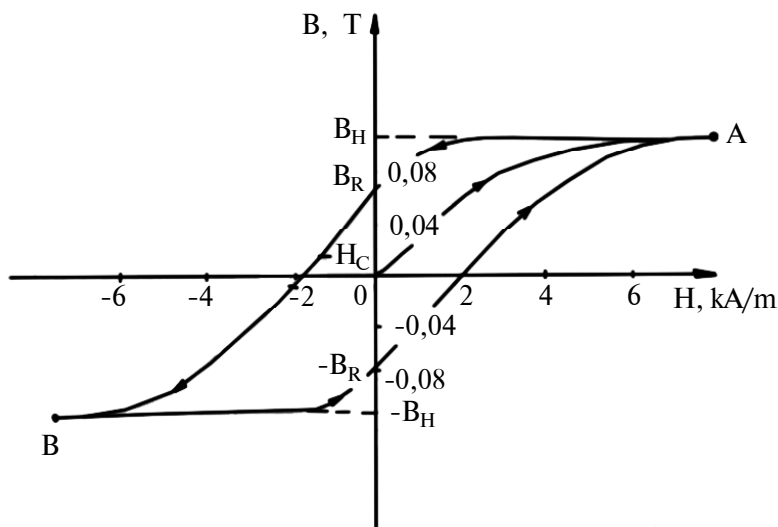


5.3-rasm. Ferromagnit materiallar μ sining temperaturaga bogʻliqligi.

Sof temir uchun Kyuri nuqtasi 768°C , nikel uchun 358°C , kobalt uchun 1131°C ga teng.

Ferromagnetiklarda doim modda joylashgan magnit maydoni ta'sirida magnitlanganlik kattaligining o'zgarishi kechga qolishi kuzatiladi. Uning ma'nosi shuki, ferromagnetikning magnit xossalari (μ, I) faqat moddaning shu momentdagi holatiga emas, oldingi vaqt momentlarida μ va I larning qiymatiga ham bog'liq bo'ladi. Bu hodisa *magnit gisterezisi* deyiladi.

Magnit maydoniga joylashtirilgan ferromagnit jism induktsiyasining shu maydon induktsiyasining $+N$ dan $-N$ gacha va teskari yo'nalishda o'zgarishiga bog'liqlik egri chizig'i *gisterezis sirtmog'i* deb ataladi (5.4-rasm). Rasmdan ko'rinib turibdiki, agar magnitlanish jarayoni dastlabki holatdan to'yinish holatigacha OA egri chizig'i bo'ylab o'zgarsa, N kamaygan sari magnitlanganlik kattaligi AB_R egri chizig'i bo'ylab kechga qolish bilan o'zgaradi. $N = 0$ bo'lganda ferromagnetikda ma'lum qoldiq induk-



5.4-rasm. Magnit gisterezisi.

siya B_R mavjud bo'ladi. Bu degani, ferromagnetikda tashqi maydon mavjud bo'lmaganda ham uning xususiy magnit maydoni mavjud bo'ladi. Induksiya qiymatini B_R dan nolgacha kamaytirish uchun teskari yo'nalgan maydon kuchlanganligi N_S ni ta'sir ettirish kerak. U *koersitiv (ushlab turuvchi) kuch* deb ataladi. Teskari yo'nalishdagi maydon kuchaytirilsa ferromagnetik magnitsizlanishi, qayta magnitlanishi va magnit maydon yo'nalishi o'zgarsa, induksiya yana dastlabki holatiga kelishi mumkin. Demak, yopiq, O nuqtaga nisbatan simmetrik egri chiziq — gisterezis sirtmog'i hosil bo'ladi.

Kichik N_S qiymatiga va katta magnit singdiruvchanlikka ega bo'lgan materiallar — *magnit yumshoq materiallar* deyiladi. Katta koersitiv kuchga va nisbatan kichik singdiruvchanlikka ega materiallar *magnit qattiq materiallar* deyiladi.

O'zgaruvchan magnit maydon ta'sirida ferromagnetiklar qayta magnitlanishida doim issiqlik ko'rinishida energiya yo'qotilishi kuzatiladi. Ular *gisterezisdagi yo'qotishlar* va *dinamik yo'qotishlar* bilan tushuntiriladi. Uyurma toklardagi yo'qotishlar ferromagnetik elektr qarshilikka proporsional bo'ladi.

5.2. Magnit yumshoq materiallar

Texnikada magnit xossalarini hisobga olgan holda qo'llaniladigan material *magnit material* deyiladi.

Past chastotada magnit yumshoq materiallar kichik energiya sarflab katta induksiya olish talab qilingan hollarda transformator o'zagi, elektromagnit, o'lchash asboblari va boshqalar sifatida qo'llaniladi.

Magnit yumshoq materiallarning turli guruhlarining ishlatilish chastota diapazoni ularning solishtirma elektr qarshilik ρ qiymatiga ma'lum darajada bog'liq. Bu kattalik qiymati qancha katta

bo'lsa, bu materialni shuncha yuqori chastotalarda ishlatish mumkin.

Texnik sof temir. Texnik sof temir tarkibiga minimal qo'shimchalardan 0,05% uglerod kiradi. Texnik sof temir ancha arzon va texnologik material hisoblanadi; u yaxshi shtamplanadi va metall kesuvchi stanoklarda yaxshi qayta ishlanadi. Temir o'zgarmas maydonda yuqori magnit xossalarga ega. Temirning solishtirma elektr qarshiligi kichik bo'lganligi sababli faqat o'zgarmas magnit maydonida ishlashga mo'ljallangan mahsulotlar yasashda ishlatiladi. Temirning magnit xossalari yo'qotish qiyin bo'lgan kiritmalar katta ta'sir ko'rsatadi. Bu kiritmalar vakuumda bir necha marta qayta eritish yo'li bilan yo'qotiladi. Uglerod, kislorod, oltingugurtlar eng yomon kiritmalar hisoblanadi.

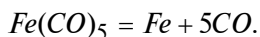
Temirning magnit xossalari kimyoviy tarkibidan tashqari urug' o'lchamlari ham katta ta'sir ko'rsatadi. Birlik hajmda urug'lar soni qancha kam bo'lsa, uning magnit xossalari shuncha yuqori bo'ladi. Texnik sof temirning solishtirma elektr qarshiligi kichikligi tufayli u juda kam ishlatiladi, asosan, o'zgarmas magnit oqimili magnit simlar yasashda qo'llaniladi. Odatda, texnik sof temir cho'yan marten pechlarida yoki konvertorlarda rafinadlash yo'li bilan olinadi. Undagi natijaviy kiritmalar miqdori 0,08—0,1 % ni tashkil etadi. Chet elda bu material «armkotemir» nomi bilan mashhur.

Past uglerodli elektrotexnik listli po'lat — texnik sof temirning bir turi bo'lib, 0,2 dan 4 mm gacha qalinlikdagi listlar ko'rinishida ishlab chiqariladi. Uning tarkibida 0,04 % dan kam uglerod va 0,6% dan kam boshqa kiritmalar bo'ladi. Turli markalar uchun magnit singdiruvchanlik qiymati 3500—4500 dan kam emas, koersitiv kuchi — 100—65 A/m dan ortiq emas.

Elektrolit temir oltingugurt kislotasi yoki xlor-temir eritmasining elektrolizi orqali olinadi. Bunda sof temir — anod, yumshoq

po‘lat plastina — katod bo‘lib xizmat qiladi. Katodda cho‘kkan temir (har bir qatlam qalinligi 4—6 mm) yaxshilab yuvilgach, ajratib olinadi va shar tegirmonlarda kukun holiga kelguncha maydalanadi. So‘ngra vakuumda toblanadi yoki qayta eritiladi. Shu yo‘l bilan kiritmalar miqdori kam bo‘lgan (0,05 % dan kam) maxsus sof temir olinadi. Bunday temir quyidagi magnit xossalarga ega bo‘ladi: $N_S = 30 \text{ A/m}$; $\mu_{\max} = 15000$. Elektrolit temir qimmatligi tufayli juda kam hollarda qo‘llaniladi.

Karbonil temir ham maxsus sof temir hisoblanib, pento-karbonil temirni termik yoyish usuli bilan olinadi:



Pentokarbonil temir 200°C temperatura va 15 MPa bosimda temirga uglerod oksidi ta’sir ettirish natijasida olinadi. Karbonil temir presslangan yuqori sifatli magnit o‘zak ko‘rinishiga ega. Karbonil temirning magnit xossalari quyidagicha: $N_S = 6,4 \text{ A/m}$; $\mu_{\max} = 21000$.

Ba’zi hollarda sanoatda texnik sof temir o‘rniga uglerodli va tarkibida 0,1—0,4 % legirlangan po‘lat bo‘lgan temir qo‘llaniladi. Bunday po‘latning magnit xossalari temirnikiga nisbatan pastroq, lekin bu ko‘rsatkichlarni tayyorlangan detallarni yoyish yo‘li bilan yaxshilash mumkin.

Elektrotexnik kremniyli po‘lat ommaviy iste’mol uchun asosiy magnit yumshoq material bo‘lib, u listli elektrotexnik po‘latga kremniy kiritish yo‘li bilan olinadi. Buning natijasida solishtirma qarshilik ortadi, natijada uyurma toklardagi yo‘qotishlar kamayadi. Bundan tashqari, po‘lat tarkibidagi kremniy hisobiga μ ortadi, N_S kamayadi va gisterezisdagi yo‘qotishlar kamayadi. Lekin kremniy temirning mexanik xossalariga salbiy ta’sir ko‘rsatadi, uning mo‘rtligi ortadi va listga quyishni hamda shtamplashni qiyinlashtiradi. Po‘lat tarkibida 4 % gacha kremniy

bo'lsa, hali yetarli mexanik xossalarga ega bo'ladi, lekin 5 % dan ortsa u juda mo'rtlashib boradi.

Po'lat markirovkada «E» harfi va undan keyin keluvchi raqamlar bilan belgilanadi. Birinchi raqam — po'lat tarkibidagi legirlangan kremniyning o'rta darajasini foizlarda ifodalaydi (1—kuchsiz legirlangan; 2—o'rta legirlangan, 3—katta legirlangan, 4—yuqori legirlangan). Ikkinchi raqam (1—8) ma'lum sharoitlarda ishlashga mo'ljallangan po'latning kafolatlangan elektromagnit xossalarini bildiradi. Bu belgiga ko'ra po'lat uch guruhga bo'linadi:

1) qayta magnitlanish chastotasi 50 Hz bo'lgan o'rta va kuchli magnit maydonlarda ishlashga mo'ljallangan po'latlar (1—normal; 2—pasaytirilgan va 3—kichik solishtirma yo'qotishlar);

2) qayta magnitlanish chastotasi 400 Hz bo'lgan o'rta maydonlarda ishlashga mo'ljallangan po'latlar (4—normal; 5—ko'tarilgan; 6—kichik solishtirma yo'qotishlar);

3) kichik va o'rta maydonda ishlashga mo'ljallangan po'latlar (kuchsiz maydonlarda 5—normal va 6—ko'tarilgan magnit singdiruvchanlikka ega); o'rta maydonda ishlatish uchun, raqamlar: 7—normal va 8—ko'tarilgan magnit singdiruvchanlikka ega.

Ikkinchi raqamdan so'ng nol (teksturlangan po'lat) yoki ikkita nol (kam teksturlangan po'lat) turishi mumkin. Kristallografik ma'noda urug'lari ko'pchilikka erishgan po'lat teksturlangan deyiladi.

Masalan, E310 markali po'lat — listli elektrotexnik po'lat bo'lib, tarkibidagi o'rtacha kremniy nisbati 3%, qayta magnitlanish chastotasi 50 Hz bo'lganda o'rta va kuchli magnit maydonlarda ishlashga mo'ljallangan, teksturlangan.

Permolloylar, odatda, molibden, xrom va boshqa elementlar bilan legirlangan temirning nikel yoki nikel va kobalt bilan qotishmasidir.

Permolloylarning asosiy afzalligi — kuchsiz maydonlardagi yuqori magnit singdiruvchanlik va kichik koersitiv kuch qiymat-

lariga ega ekanligi. Permolloylarning kamchiligi bo'lib magnit xossalarning mexanik kuchlanishlarga kuchli ravishda sezgirliigi, elektrotexnik po'latga nisbatan kichik to'yinish induksiya qiymati va nisbatan yuqori narxi hisoblanadi.

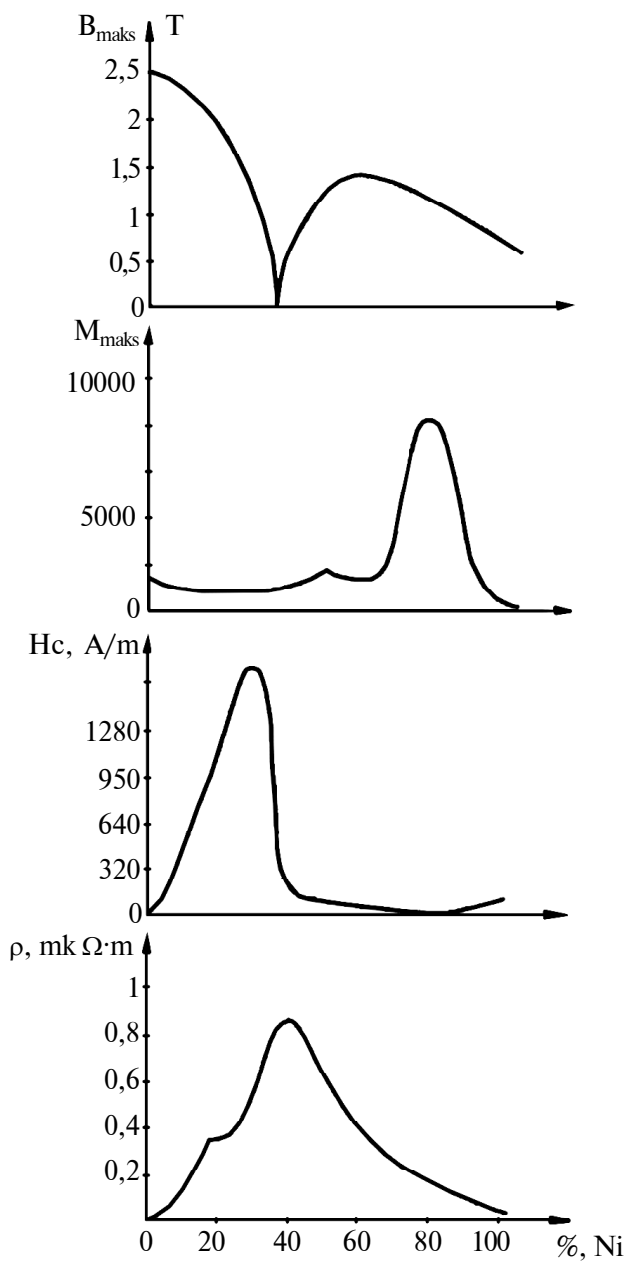
Permolloylar o'lchash asboblarning magnit elementlarida, chastotasi bir necha kilogersgacha, mikron yoyishda esa undan ham yuqori bo'lgan kuchsiz o'zgarmas va o'zgaruvchi maydonlarda ishlovchi radiotexnik qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Permolloy tavsiflari. Temir-nikel qotishmalarining nisbiy miqdorida nikelning o'zgarishi natijasida asosiy magnit xossalari va solishtirma qarshilikning o'zgarishi 5.5-rasmda keltirilgan. Tarkibida 78,5% Ni bo'lgan qotishma eng maksimal magnit singdiruvchanlik $\mu_{\max}$ qiymatiga ega. Yana tarkibida 40—50 % Ni bo'lgan qotishmada nisbatan kichik $\mu_{\max}$ qiymati kuzatiladi. Bunday permolloylar tarkibida 70—80 % Ni bo'lgan *yuqori nikellangan* permolloylardan farqli ravishda *past nikellangan* permolloylar deb ataladi.

Yuqori nikellangan permolloylarning magnit singdiruvchanligi past nikellangan permolloyning bu kattaligidan bir necha marta va elektrotexnik po'latga nisbatan bir necha o'n marta katta bo'ladi. Yuqori nikellangan permolloyning to'yinish induksiyasi elektrotexnik po'latga nisbatan 2 baravar va past nikellangan permolloyga nisbatan 1,5 baravar kam bo'ladi.

Demak, yuqori nikellangan permolloylarni katta quvvatli kuch transformatorlarining o'zagi va boshqa kuchli magnit maydon hosil qilish uchun katta ahamiyatga ega bo'lgan qurilmalar sifatida qo'llash maqsadga muvofiq emas.

Yuqori nikellangan permolloyning solishtirma elektr qarshiligi past nikellangan permolloynikidan 2 marta kichik. Demak, o'zgaruvchi magnit maydonda, ayniqsa, yuqori chastotalarda, past nikellangan permolloylar qo'llash afzal.



5.5- rasm. Temir-nikel qotishmalarining nisbiy miqdorida nikelning o'zgarishi natijasida asosiy magnit xossalari va solishtirma qarshilikning o'zgarishi.

Permolloylarning magnit xossalari tashqi mexanik kuchlanishlarga juda ta'sirchan, qotishmadagi begona aralashma borligi va uning kimyoviy tarkibiga bog'liq hamda materialni termoshlov berish (temperatura, qizish va sovish tezligi va b.) rejimiga bog'liq ravishda keskin o'zgaradi.

Temir-nikel markalari to'rt guruhga bo'lingan to'qqiz turdan iborat:

1) 45N, 50N tarkibida 45 va 50% Ni bo'lgan legirlanmagan past nikelli permolloylar. Bu qotishmalar $\mu_{\max} = 25000$ va $\mu_{\max} = 35000$ ga teng bo'lib, qayta magnitlanishsiz ishlaydigan kichik o'lchamli kuch transformator o'zagi, drossel, relelarda qo'llaniladi.

2) 50NP, 65NP, 34NKMP — to'g'ri to'rtburchak gisterezis sirtmog'iga ega qotishmalar. Ularning xossalari va qo'llanish sohalari 5.3 bo'limda keltirilgan.

3) 50NXS — tarkibida 50 % Ni bo'lgan xrom va kremniy bilan legirlangan past nikellangan permolloy. Ular qayta magnitlanishsiz yoki uncha katta bo'lmagan magnitlanish bilan ishlaydigan impulsli transformator o'zaklari, tovush va yuqori chastota aloqa qurilmalarida foydalanishga tavsiya etiladi.

4) 79NM, 80NXS, 76NXD — yuqori nikellangan permolloy (79%Ni; 80%Ni; 76% Ni), mos ravishda molibden bilan (3,8—4,1 %), xrom va kremniy, xrom va mis (4,8—5,2 %) bilan legirlangan. Kuchsiz maydonlarda yuqori singdiruvchanlikka ega — $\mu_{\max} = 15000$. Bu guruh qotishmalari kichik o'lchamli transformator o'zagi, rele va magnit ekranlar; 0,02 mm qalinlikda — impuls transformatorlari, magnit kuchaytirgichlar va kontaktsiz relelar ishlab chiqarishda tavsiya etiladi.

Radiochastota magnit yumshoq materiallari. Yuqori chastotalarda (10 Megagersgacha) hatto kuchsiz maydonlarda ham to'yinishgacha magnitlanishga qodir (yuqori magnit sing-

diruvchanlik) va qayta magnitlanganda kichik yo‘qotishlarga (kichik elektr o‘tkazuvchanlik) ega magnit yumshoq materiallar qo‘llaniladi. Bu talablarga ferritlar va magnitodielektriklar javob beradi.

5.3. Magnit qattiq materiallar

Magnit qattiq materiallar olinish turiga qarab quyidagicha sinflanadi:

1) mis, titan, niobiy va ba’zi boshqa elementlar bilan legirlangan, Fe-Ni-Fl va Fe-Ni-Fl-Co asosidagi *quyma qotishmalar*;

2) kukunlarni keyinchalik termoshlov berish yo‘li bilan presslash orqali olinadigan *kukun holdagi magnit qattiq materiallar* (o‘zgarmas magnitlar);

3) *boshqa magnit qattiq materiallar*, ularga martensit po‘lat, noyob tuproq metallar asosidagi qotishmalar, magnit lentalar uchun materiallar va boshqalar kiradi.

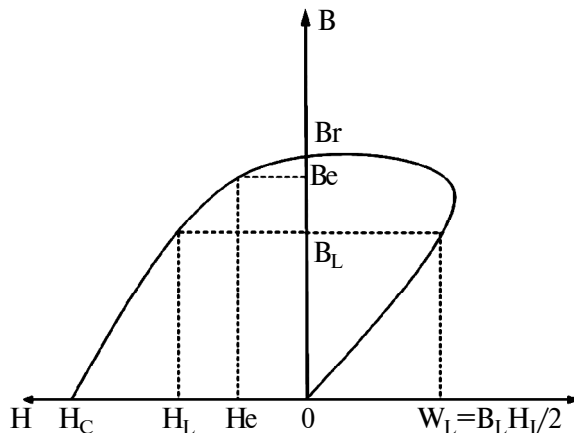
Magnit qattiq materiallar:

1) o‘zgarmas magnitlar yasash uchun;

2) axborot yozish uchun (masalan, tovush yozishda) qo‘llaniladi.

O‘zgarmas magnitlar uchun material xarakteristikalari bo‘lib koersitiv kuch, qoldiq induksiya va tashqi muhitga uzatiladigan maksimal energiya hisoblanadi. O‘zgarmas magnitlar uchun materialning magnit singdiruvchanligi magnit yumshoq materialnikiga nisbatan kichik. Koersitiv kuch qancha katta bo‘lsa, magnit singdiruvchanlik shuncha kichik bo‘ladi.

Yopiq holdagi magnit (toroid ko‘rinishdagi) tashqi muhitga energiya uzatmaydi. Magnit energiya uzatish uchun qutblar oralig‘ida bo‘shliq (ishchi muhit) mavjud bo‘lishi, ya’ni uzilgan magnit zanjir kerak. 5.6-rasmda magnitsizlantiruvchi egri chiziq



5.6-rasm. Magnitsizlantiruvchi egri chiziq (Br-He soha) hamda We energiyaning Be induksiyaga bog‘liqligi (Br-O egri chiziq).

(Br-He soha), hamda We energiyaning Be induksiyaga bog‘liqligi (Br-O egri chiziq) keltirilgan. Havo bo‘shlig‘idagi energiya bo‘shliq uzunligiga bog‘liq. Oraliqdagi induksiya magnit Be qutblarning magnitsizlantiruvchi harakati tufayli qoldiq induksiya Br dan kichik bo‘ladi. Havo bo‘shliq oralig‘idagi hajm birligidagi energiya quyidagiga teng:

$$We = \frac{BeHe}{2},$$

bu yerda, He induksiya Be ga mos keluvchi maydon kuchlanganligi.

Berk magnitda $Be = Br$ bo‘lib, $Be = 0$ bo‘lganligi uchun energiya nolga teng. Qutblar oralig‘idagi bo‘shliq juda katta bo‘lsa ham, energiya nolga teng bo‘ladi. V_L va H_L larning ba’zi qiymatlarida energiya maksimumga yetishi mumkin. Bu holat 5.6-rasmdan ko‘rinadi.

$$W_L = \frac{BeHe}{2} = \frac{(BH)_{maks}}{2} = W_{maks}$$

Bu qiymat magnitning eng yaxshi ishlatilishini belgilaydi va o'zgaras magnit materiallar sifatiga baho berishda asosiy xarakteristika hisoblanadi.

Fe-Ni-Al asosidagi quyma magnit qattiq qotishmalar. Fe-Ni-Al qotishmalari o'zgaras magnitlar uchun asosiy qotishma hisoblanadi, chunki ular katta koersitiv kuchga ega. Magnit xossalari oshirish uchun ularni mis va kobalt bilan legirlanadi.

Fe-Ni-Al-So qotishmasi Fe-Ni-Al qotishmaga nisbatan yanada yaxshi magnit xossalarga ega.

Qotishmalarni belgilashda quyidagi belgilanishlar qabul qilingan: Y—aluminium, N—nikel, D—mis, K—kobalt, T—titan, B—niobiy, A—kristallik tekstura (magnito-anizotrop material). Belgilanishdagi raqam metall tarkibini foizda ifodalaydi va o'sha metall oldida keltiriladi. Masalan: YNDK35T5 qotishma 35 % aluminium, nikel, mis, kobalt va 5 % titandan tashkil topgan.

5.1-jadvalda o'zgaras magnitlar uchun ba'zi qotishmalarning magnit xossalari keltirilgan.

5.1-jadval

**O'zgaras magnitlar uchun qotishmalarning
magnit xossalari**

Qotishma markalari	V_r, T	N_s, kA/m	V_e, T	H_L, kA/m	V_L, H_L T · kA/m	W_{maks} kJ/m³
YND4	0,50	40	0,30	24	7,2	3,6
YND8	0,60	44	0,37	28	10,4	5,2
YNDK15	0,90	55	0,57	34	19,4	9,7
YNDK35T5	0,80	87	0,50	56	28,0	14,0
YNDK25BA	1,28	62	1,05	50	52,8	26,4

Kukun holidagi magnitlar. Aniq belgilangan o'ldhamlarga ega mayda o'zgaras magnitlar ishlab chiqarishda kukun texnologiyasi qo'llaniladi. Metallurgiya usullari bilan olinadigan kukun magnitlar metallokeramika, metalloplastik va oksidli guruhlariga bo'linadi.

Metallokeramik magnitlar metall kukunlardan birikmaydigan materiallarni presslash va yuqori temperaturada ularni yopishtirish yo'li bilan olinadi.

Metalloplastik magnitlar ham metall kukunlaridan olinadi, lekin ularni izolatsiyalovchi birikma bilan presslaydilar va yopishqoq modda polimerlanguncha uncha yuqori bo'lmagan temperaturagacha qizdiriladi. Misol tariqasida 5.2- jadvalda metallokeramik magnitlarning asosiy xossalari keltirilgan. Metallokeramik magnitlarning 11 turi mavjud bo'lib, ular MMK dan MMK11 gacha sinflanadi.

5.2-jadval

Kukun holidagi magnitlarning asosiy xossalari

Material turi	Qotishmalarning kimyoviy tarkibi % (qolgani temir)	V_r , T	N_s , kA/m	W_{maks} , kJ/m ³
Metall-keramika	8Al, 15Ni, 24Co, 3Cu	1	50	11,7
Metalloplastik (YND4 asosida)	15Al, 24Ni, 4Cu	0,3	38	1,62

Oksidli magnitlar orasida bariy va kobalt ferritlari asosidagi magnitlar amaliyotda keng qo'llaniladi. Sanoatda bariy ferrit-

larining ikki guruhi ishlab chiqariladi: izotrop (BI) va anizotrop (BA). Bariyli va kobaltli magnitlarning asosiy magnit xossalari 5.3-jadvalda keltirilgan.

5.3-jadval

Bariyli va kobaltli magnitlarning asosiy xossalari

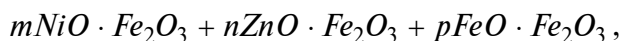
Markalar	V_r , T	N_s , kA/m	W_{maks} , kJ/m ³
BI	0,19—0,21	128—136	2,8—3,4
BA	0,245—0,38	128—240	4,0—12,4
KS37	0,77	0,54	55
KSP37	0,90	0,5	65

Izoh: K—kobalt, S—samariy, P—prazeodim, raqam tarkibidagi samariy yoki prazeodimning foiz kattaligi.

Bariyli magnitlarning solishtirma qarshiligi ρ metall materiallarning ρ qiymatidan millionlab marta katta. Shuning uchun ularni O'YCH maydoni ta'sirida bo'ladigan magnit zanjirlarda qo'llash mumkin.

5.4. Ferritlar va magnit dielektriklar

Ferritlar — bu temir oksidi Fe_2O_3 bilan metall oksidlarining kimyoviy birikmasi. Ancha qiziq magnit xossalarga ega bo'lgan va texnik qo'llanilishga tayyor ferritlar bir necha sodda birikmalarning qattiq eritmasidan iborat. Masalan: keng tarqalgan — nikel-rux ferritning umumiy ifodasi quyidagicha:



bu yerda m , n , p mos ravishda tashkil etuvchilarning o'zaro nisbatini bildiradi. Tashkil etuvchilarning foiz nisbati u yoki bu magnit xossaga ega bo'lgan material olishda muhim rol o'ynaydi.

Ferrit tayyorlash texnologiyasi quyidagi jarayonlardan iborat: tashkil etuvchilar kuydiriladi, maydalanadi, aralashtiriladi va yaxshi presslanishi uchun kukunlar tarkibiga plastifikatorlar: polivinil spirtning suvli eritmasi, suv, juda kam hollarda parafin kiritiladi. Hosil bo'lgan massadan yuqori bosim ostida talab etilayotgan shaklga ega mahsulot presslanadi. Mahsulot $1100\text{--}1400^\circ\text{C}$ da kuydiriladi, u oqib, ferritning qattiq eritmasi hosil bo'ladi.

Radiochastota ferritlariga birinchi navbatda nikel-rux va marganes-rux ferritlar $\text{MnO--ZnO--Fe}_2\text{O}_3$ hamda litiy-rux, qo'rg'oshin-nikel va ferritning ba'zi boshqa turlari kiradi. Ferritlarning bu guruhi turli transformator o'zaklari, induktivlik g'altaklari, filtrlar, magnit antennalar, yuqori chastotada ishlovchi mikrodvigatel stator va rotorlari, televizion tizim apparaturalarining xatolikka boshlovchi detallarini yasashda qo'llaniladi.

O'zgaruvchi maydonda ishlovchi ferritlar uchun, yuqori temperaturada o'lchangan boshlang'ich magnit singdiruvchanlik μ_H dan tashqari, yuqori chastotada o'lchangan yo'qotishlarning nisbiy tangens burchagi $\text{tg } \delta/\mu_H$, kritik chastota f_{kr} , maksimal singdiruvchanlik $\mu_{\max}$, Kyuri nuqtasi T_k va ba'zi boshqa kattaliklar o'rinli bo'ladi.

Yo'qotishlar burchagi keskin orta boshlaydigan chastota *kritik chastota* deyiladi. Aniqlik uchun $\text{tg } \delta = 0,1$ bo'lgan kritik chastota tushunchasi kiritilgan. Boshlang'ich singdiruvchanlik qancha yuqori bo'lsa, chegaraviy chastota shuncha past bo'ladi. 5.4-jadvalda ferritlarning parametrlari keltirilgan.

Keng qo'llaniladigan ferritlarning parametrlari

Material markasi	μ_H	$\text{tg } \delta / \mu_H \cdot 10^6$ (f, MHz dagi)	μ_{mak}	f_{kr} , MHz	Tk, °C
20000 NM	15000	74 (0,01)	35000	0,01	110
10000 NM	8000—15000	90 (0,02)	17000	0,3	110
6000 NM	4800—8000	60 (0,02)	10000	0,01	130
4000 NM	3500—4800	60 (0,01)	7000	0,1	130
3000 NM	2500—3500	60 (0,01)	3500	0,2	140
2000 NM	1700—2500	45 (0,01)	3500	0,45	200
1500 NM	1200—1700	45 (0,01)	2500	0,6	200
1000 NM	800—1200	45 (0,01)	1800	1,0	200
2000 NN	1800—2400	300 (0,01)	6000	0,02	70
1000 NN	800—1200	200 (0,01)	3000	0,4	110
600 NN	500—800	125 (0,01)	1500	1,2	110

Magnit yumshoq ferritlar markirovkasida birinchi bo'lib μ_H ning son qiymati turadi, so'ngra tovush, ultratovush va past radio-chastota ferritlari N (past chastota), so'ngra material tarkibini bildiruvchi harflar: M — marganes-rux, N — nikel-rux keltiriladi.

Ferritdan yasalgan detallar turli shaklga ega bo'lishi mumkin: halqasimon, bronli, sterjenli (aylanma va to'g'ri burchakli kesimli), III- va II- simon o'zaklar keng qo'llaniladi.

Magnit dielektriklar magnit materialning bir turi bo'lib, ko'tarilgan va yuqori chastotalarda ishlashga mo'ljallangan, chunki ular katta solishtirma elektr qarshilikka va magnit yo'qotishlarning kichik tangens burchagiga ega. Ular ferritlarga nisbatan ancha

afzalliklarga ega, birinchi navbatda, xossalarning ancha yuqori barqarorligi.

Alsifer va karbon temir asosidagi magnit dielektriklar keng qo'llaniladi.

Alsifer asosidagi magnit dielektriklar. Alsifer — aluminiy, kremniy va temir qorishmasidir. Magnit dielektriklar uchun tarkibi 9—11 % Si va 6—8 % Al bo'lgan qotishmalar qo'llaniladi. Alsifer arzon material hisoblanadi.

Magnit dielektriklar urug'lari bir-biridan organik (bakeley, polistirol, shellak) yoki noorganik birikma (suyuq shisha, shisha emal)lar bilan izolatsiyalangan kukun holdagi ferromagnetikni presslash yo'li bilan olinadi. Po'latdan yasalgan press shaklidagi o'zaklar presslanishi yuqori bosimlarda bajariladi.

Alsiferdan tayyorlangan halqalarning asosiy parametrlari 5.5-jadvalda keltirilgan. Uning belgilanishidagi harflar quyidagilarni bildiradi: TCH—tonal chastota; TCHK—kompensatsiyalangan magnit singdiruvchanlik temperatura koeffitsiyentili tonal chastota; YCH—yuqori chastota; YCHK—kompensatsiyalangan magnit singdiruvchanlik temperatura koeffitsiyentili yuqori chastota; G va R—simli aloqa apparaturalari va radioapparaturalari uchun halqalarning qo'llanilishi. Raqamlar 20°C temperaturada boshlang'ich magnit singdiruvchanlik μ_H qiymatini bildiradi. Masalan, TCH-90P- simli apparaturada qo'llash uchun mo'ljallangan $\mu_H = 82—94$ li tonal chastota uchun alsiferli halqa.

Karbonil temir asosidagi magnit dielektriklar. R-10, R-20, R-100 markali karbon temir kukunidan o'zaklar yasash texnologik jarayoni: kukunni izolatsiyalash, detallarni presslash va past temperaturada ularga mexanik mustahkamlik va barqaror xossalarni berish uchun termik ishlov berishdan iborat. Karbon temirdan yasalgan o'zaklar yuqori barqarorlik, kichik yo'qotishlar, musbat qiymatga ega magnit singdiruvchanlik α_μ teskari temperatura koeffitsiyentiga ega. U esa quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\alpha_{\mu} = \frac{\mu_{t2} - \mu_{t1}}{\mu_{t1}^2 (t2 - t1)} .$$

Karbon temirdan yasalgan o‘zaklarning asosiy parametrlari ham 5.5-jadvalda keltirilgan.

5.5-jadval

Magnit dielektriklarning xossalari

Material turi	μ_H	$\alpha_{\mu} \cdot 10^6$ K ⁻¹	$\frac{\text{tg}\delta_H}{H}$, m/A	Chegaraviy chastota, MHz
Alsifer asosidagi magnit dielektriklar	20—65	—200 dan 400 gacha	15—65,5	0,1
Karbon temir asosidagi magnit dielektriklar	5—16	+50 dan +100 gacha	1,25—6,25	50

Magnit dielektriklarga nisbatan ancha afzalliklarga ega bo‘lgan turli markadagi ferritlarning keng ishlab chiqarilishi, magnit dielektriklarning texnikada qo‘llanilishini kamaytirdi va ba’zi sohalardagina qo‘llanilishiga olib keldi.

Nazorat savollari

1. Qanday moddalar magnetiklar deb ataladi va ular qanday sinflarga bo‘linadi?
2. Qanday hodisa magnit gisterezisi deb ataladi? Gisterezis sirtmog‘i deganda nimani tushunasiz?
3. Magnit yumshoq materiallarga ta’rif bering va misollar keltiring.
4. Magnit qattiq materiallarga ta’rif bering va misollar keltiring.
5. Ferritlar va magnit dielektriklarga ta’rif bering va misollar keltiring.

VI BOB. YORDAMCHI MATERIALLAR

6.1. Metall kontakt materiallar

Elektr zanjirlarida doimiy kontaktlar va zanjirni doimiy ravishda ulash va uzish uchun xizmat qiladigan kontaktlar qoʻllaniladi. Ikkinchi turga uzish kontaktlari va sirpanuvchi kontaktlar kiradi.

Katta tok kuchlari va yuqori kuchlanishlarda elektr zanjirlarini uzish uchun xizmat qiladigan uzish kontaktlari yasalgan material, uzilgan holatda kontaktning juda kichik elektr qarshiligida ham yuqori ishonchlilikka ega boʻlishi kerak. Uzish kontaktlari uchun material sifatida qiyin eriydigan sof metallardan tashqari, turli qotishmalar va metall-keramika kompozitsiyalari ham ishlatiladi. Massadagi kadmiy oksid tarkibi 12—20 % boʻlgan Ag-CdO material tizimi eng keng qoʻllaniladi. Bunday material kumush — kadmiy qotishmasini oksidlovchi atmosferada qizdirish yordamida hosil qilinadi. Katta quvvatli uskunalarda uzish kontaktlari yasash uchun Ag ni Co, Ni, Cr, W, Mo va Ta bilan; Cu ni W va Mo bilan Au ni W va Mo bilan kompozitsiyalari qoʻllaniladi.

Sirpanuvchi kontaktlar uchun ishlatiladigan materiallar bugʻlanishga nisbatan yuqori bardoshlilikka ega boʻlishlari kerak. Bu maqsadda sovuq tortilgan (qattiq) mis, berilliy bronza hamda Ag-CdO tizimli materiallar ishlatiladi.

6.2. Nometall kontakt materiallar

Qattiq nometall kontakt materiallar ichida uglerod asosidagi materiallar katta ahamiyatga ega. Ularni elektr-koʻmir mahsulotlar deb atashadi. Koʻmirdan aylanma harakat qiladigan elektr

mashinalarda sirpanuvchi kontakt bo‘lib xizmat qiladigan cho‘tkalar yasaladi.

Sirpanuvchi kontaktlar tokni kollektorga ulaydi (yoki uzadi). Bundan tashqari, elektr-ko‘mir mahsulotlar projektor va yoyli elektr zanjirlari elektrodleri, galvanik elementlarning anodleri sifatida ham qo‘llaniladi. Ko‘mir kukunleri mikrofonlarda tovush bosimiga mos ravishda o‘zgaruvchi qarshilik hosil qilishda ishlatiladi. Ko‘mirdan telefon tarmoqlari uchun yuqori omli rezistorlar va razryadniklar yasashadi.

Ko‘mirdan yasalgan mahsulotlar solishtirma qarshilikning manfiy temperatura koeffitsiyenti TK_p ga ega.

Cho‘tkalar turli o‘lchamlarda ishlab chiqariladi (kollektorda qo‘llaniladigan cho‘tkalarning kontakt sirti 4×4 dan 35×35 mm gacha, balandligi 12—70 mm bo‘lishi mumkin).

Ko‘mir mahsulotlarni ishlab chiqarishda xomashyo sifatida qurum, grafit yoki antratsit qo‘llanilishi mumkin. **Qurum** ko‘pgina organik birikmalarning to‘liq yonmasligi natijasida hosil bo‘ladi. **Grafit** — erkin ugleroddan olinadigan sodda modda. **Antratsit** — tarkibida 96 % dan ortiq uglerod bo‘lgan to‘sinning chirish mahsulotidir.

Elektr-ko‘mir mahsulotlarini olish uchun maydalangan massa toshko‘mir, smola yoki suyuq shisha (Na_2SiO_3 suvli eritma) bilan aralashtiriladi va mos keladigan press-shakllarda kuydiriladi. Yuqori kuydirish temperaturalarida (2200° gacha) uglerod sun‘iy ravishda grafit shakliga o‘tkaziladi. Bu jarayon *grafitlash* deb ataladi.

Cho‘tkalar ko‘mir-grafitli (T va TG); grafitli (G); elektr-grafitli, ya‘ni grafitlangan (EG); mis-grafitli (tarkibida mis bo‘lgan) turlarga bo‘linadi.

Cho‘tkalarning turli markalari solishtirma qarshilik, tok zichligi, ishqalanish koeffitsiyenti, cho‘tkaning qattiqligi, kollektor-dagi chiziqli tezlik kabi kattaliklari bilan farqlanadi.

REZISTORLAR

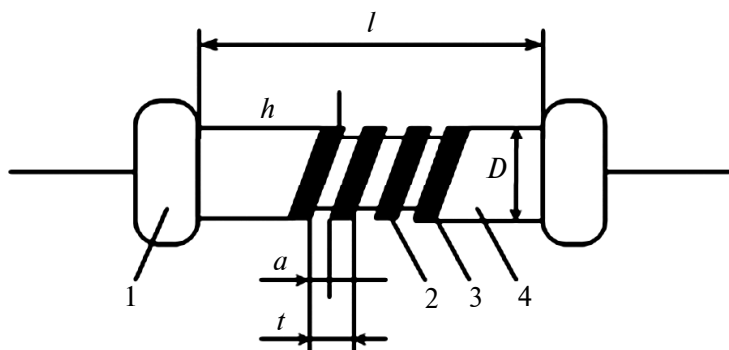
6.3 Tasnifi va konstruksiyalari

Rezistorlarning ishlashi materiallardan o'tayotgan elektr tokiga qarshilik qilish xususiyatiga asoslangan.

Rezistorlar vazifasiga ko'ra umumiy, pretsizion, yuqori chastotali, yuqori megaomli, yuqori voltli va maxsus ishlatilish xususiyatlariga ko'ra esa, temperatura va namlikka bardoshli, vibratsiyaga va zarbga chidamli, yuqori darajada ishonchli bo'lishi mumkin.

Osma rezistorlar tok o'tkazuvchi elementning ko'rinishiga qarab guruhlariga ajratiladi va alohida belgilanadi. Markirovkasidagi birinchi harf rezistorlarning turi (S — o'zgarmas, SP — o'zgaruvchan)ni, ikkinchi raqam esa ularning qanday materialdan ishlanganligini (1—simsiz, sirtqi uglerodli va bor-uglerodli; 2—simsiz, sirtqi, metall plyonkali, metall oksidli; 3—simsiz, sirtqi, kompozitsion; 4—simsiz, hajmiy, kompozitsion; 5—simli; 6—UYCH rezistorlar) ko'rsatadi. Uchinchi raqam bir guruhdagi rezistorlarning konstruksiyasi jihatidan qanday variantda ishlanganligini bildiradi (masalan, S5—5 — o'zgarmas simli rezistor, beshinchi variantga tegishli). Shunday belgilanish bilan bir qatorda ilgari ishlab chiqarilgan ba'zi bir rezistorlar boshqacha alomatlarga ko'ra ham belgilarga ega bo'ladi (masalan; MLT — metall-pardali, loklangan, issiqbardosh).

Rezistorlar qarshilikning o'zgarish xarakteriga ko'ra o'zgarmas yoki o'zgaruvchan, shu jumladan, sozlanuvchi bo'ladi. Doimiy rezistorlar apparatlarni yig'ishda, sozlashda va ishlatishda o'z qarshiligini o'zgartirmaydi, o'zgaruvchi va sozlanuvchi qarshilikli rezistorlarda esa mos ravishda maxsus moslama (burama yoki chervyakli o'qqa mahkamlangan kontakt surilgich)lari bo'ladi.



6.1-rasm. Silindr shaklidagi o‘zgarmas simsiz rezistor:

1—chiqish uchili qalpoqcha; 2—tok o‘tkazuvchi qatlam;

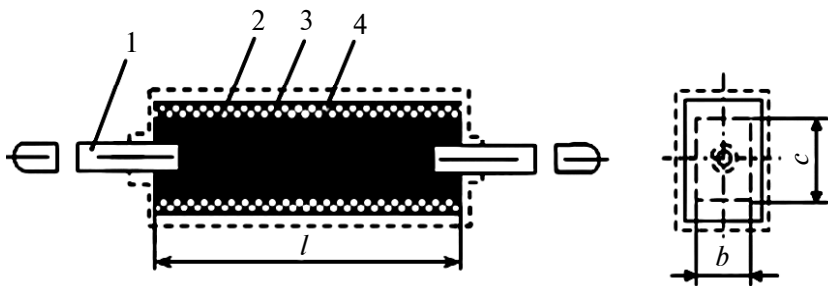
3—keramik sterjen; 4—suv yuqtirmaydigan emal.

Gibrid IS rezistorlarini yasashda polosa o‘lchamlarining kichikligi sababli mo‘ljallangan qarshilikni olish imkoniyati bo‘lmaydi. Shuning uchun mexanik usullar bilan yoki lazer nuri yordamida polosa enini qisqartirib, rezistor qarshiligi talab etilgan nominalga keltiriladi.

Turli guruhlariga mansub doimiy va o‘zgaruvchan rezistorlarning keng tarqalgan konstruksiyalarini ko‘rib chiqamiz.

S_1 , S_2 va S_3 guruhlariga xos bo‘lgan silindr shaklidagi doimiy simsiz sirtqi rezistorlar (6.1-rasm) tashqi yuzasiga yupqa tok o‘tkazuvchi (bir mikrometrgacha) qatlam surtilgan doiraviy keramik sterjen 3 dan iborat. Sterjenning ikki tarafiga aksial uchlikli mis qalpoqchalar 1 o‘tkazilgan. Tashqi muhitdan himoyalash maqsadida rezistorga suv yuqtirmaydigan emal 4 surkalib, uning uchlari qalaylanadi.

Emalning rangi, odatda, rezistorlarning guruhini belgilaydi (masalan, qizil rang — 12-guruhni bildiradi). Past omli (200—300 Om dan kichik) rezistorlarga bu qatlam yo‘l-yo‘l qilib surtiladi; qarshilik qanchalik katta bo‘lsa, yo‘l-yo‘l tasmalar orasi shunchalik mayda bo‘ladi.



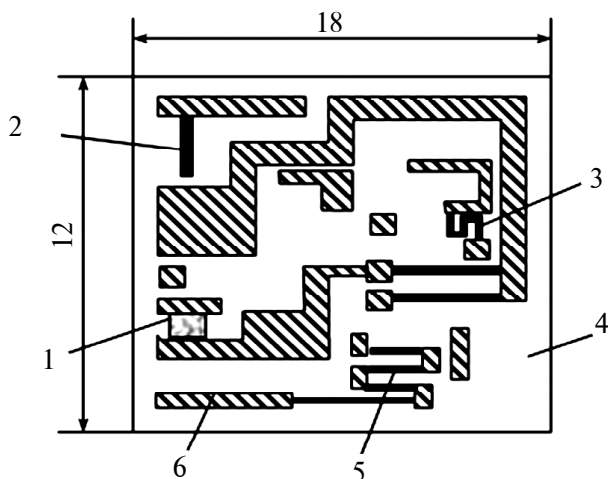
6.2-rasm. To'g'ri burchak shaklidagi o'zgarmas rezistor:

- 1—rezistorning simli uchi; 2—shisha emal qobiq;
3—emal qoplama; 4—tok o'tkazuvchi kompozitsiya.

S_4 guruhiga mansub to'g'ri burchak shaklidagi doimiy, simsiz hajmiy rezistor (6.2-rasm) shisha emal (keramik) qobiq 2 bilan presslangan aksial chiqish simi l li, tok o'tkazuvchi kompozitsiyadan ishlangan sterjen 4 dan iborat. Bunday konstruksiya mexanik ta'sirlarga va namlikka ancha barqaror bo'ladi.

S_5 guruhiga mansub o'zgarmas simli rezistor yuqori solishtirma qarshilikka ega bo'lgan sim (yoki shisha izolatsiya ichiga joylashgan mikrosim) o'ralgan izolatsion karkasdan iborat. Karkas keramika yoki qizishga chidamli plastmassadan ishlangan bo'lib, manganin, konstantan yoki nixrom sim o'rami bir qatlamli, ko'p qatlamli, oddiy va maxsus seksiyalarga bo'lingan va seksiyalarga bo'linmagan bo'lishi mumkin. Rezistorlarning sirtiga issiqqa chidamli emal surtiladi, plastmassa bilan presslanadi yoki ikki yon tomoni keramik shayba bilan berkitilgan metall korpus bilan germetiklanadi. Rezistor silindrik yoki to'g'ri to'rtburchakli shaklda bo'lishi mumkin.

O'zgarmas tolali rezistor S_{2-12} va S_{3-3} mikromodul rezistorlari guruhiga mansub bo'lib, sirtiga yupqa qalay qotishmalari yoki tok o'tkazuvchi kompozitsiya qatlami surtilgan, shisha tola-

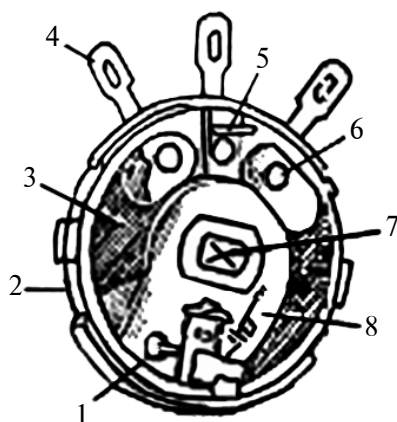


6.3-rasm. Yupqa pardali rezistor, o'tkazgich va kontakt:

- 1, 2—to'g'ri burchak shaklidagi kichik omli va yuqori omli rezistor;
 3—«meandr» turidagi yuqori omli rezistor; 4— 0,5—0,6 mm
 qalinlikdagi sital taglik; 5—yuqori omli tarkibiy rezistor;
 6—kontakt yuzasi.

dan ishlangan sterjendan iborat. Tolali rezistorlar taglikning kontakt maydonchasiga tok o'tkazuvchi yelim — kontaktol yordamida yopishtiriladi. Bunday rezistorlar GISlarni konstruksiyalashda qo'llaniladi.

O'zgarmas yupqa pardali GIS rezistori sitall yoki polikor taglikka maxsus trafaret (maska) orqali purkalgan yupqa (ko'pi bilan 1 mkm) to'g'ri burchakli polosa yoki «meandra» ko'rinishidagi yarimo'tkazgich material qatlamdan iborat (6.3-rasm). Bunday rezistorlarni oksidlanishdan saqlash uchun ular ko'pincha kremniy monooksidi qatlami bilan qoplangan bo'ladi yoki sirtiga suv yuqtirmaydigan lok surkaladi. O'zgarmas qalin pardali GIS rezistori noyob metallar asosida tayyorlangan maxsus pastalarni trafaret orqali qoplash yo'li bilan tayyorlanadi. Pastani maxsus asbob (raket) yordamida keramik taglikka (22XS kera-



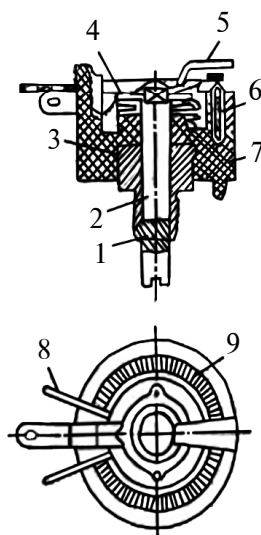
6.4-rasm. Doira shaklidagi o'zgaruvchan simsiz rezistor:

1—harakatlanuvchi kontakt; 2—plastmassa korpus; 3—tok o'tkazuvchi element; 4—chiqish uchi; 5—burilish burchagini cheklagich; 6—parchin mix; 7—o'qning o'yilgan uchi; 8—harakatlanuvchi qism.

mikasi) surtib singdiriladi. Rezistorlar to'g'ri burchakli shaklda bo'lib, polosasining eni yupqa pardali rezistorlarnikidan bir daraja kattadir.

SPZ rezistorlarning katta guruhiga mansub bo'lgan, doira shaklidagi o'zgaruvchan simsiz rezistor (6.4-rasm) taqasimon getinaks plastina o'tkazilgan yupqa qatlam ko'rinishidagi tok o'tkazuvchan element 3 dan iborat. Burilma o'q 7 ning qo'zg'aladigan tekstolit qismiga bostirish yo'li bilan mahkamlangan surilma kontakt 1 shu element bo'ylab suriladi. «Taqa»ning uchlarida va surilma kontaktda yapaloq chiqish uchlari 4 bo'ladi. Rezistor po'lat yoki misdan ishlangan metall ekran (rasmda ko'rsatilmagan) bilan berkitiluvchi plastmassa yoki keramik korpus 2 ga joylashtiriladi. Doira shaklidagi sozlanuvchi simsiz rezistorlar ekranlanmagan bo'lishi mumkin.

O'zgaruvchan SPO va SPCH rezistorlar SPZ rezistorlardan farqli o'laroq, keramik asosga organik bog'lamda hajmiy kompo-



6.5-rasm. O'zgaruvchan simli rezistor:

- 1—kesikli qotirib qo'yish gaykasi; 2—o'q; 3—qisuvchi metall vtulka;
 4—halqa surilgich; 5—cheklovchi planka; 6—yoysimon plastina;
 7—plastmassa korpus; 8—chiqish uchi; 9—sim.

zitsion «taqalar»ga presslangan va aksial turumli chiqish uchlari asosida mustahkamlangan.

Katta tokli o'zgaruvchan simli rezistorlar (6.5-rasm materiallari va o'rnatilish yo'llariga qarab) doiraviy yoki to'g'ri burchakli bo'lmagan kuchsiz tokli va sozlanuvchi rezistorlardan farq qilinadi. Plastmassa korpus 7 da qisqich vtulka 3 yordamida halqa surilgich 4 li burilma o'q mahkamlangan. Halqa surilgich o'q burilganda yoysimon getinaks (yoki oksidlangan metall) plastinaga mahkamlangan o'ram 9 ning qismi «tozalangan» simi bo'ylab suriladi.

6.4. Rezistorlarning asosiy parametrlari

R_{nom} nominal qarshilik va uning yo'l qo'yilgan og'ishi $\pm \partial R$.
 Rezistorlar qarshiligi (Om) umumiy holda

$$R = \rho \, l / S$$

formula orqali aniqlandi, bu yerda, ρ va S — tok o'tkazuvchi elementning solishtirma elektr qarshiligi ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) va ko'ndalang kesim yuzasi (mm^2); l — tok o'tish yo'lining uzunligi (m).

Spiralsimon kesim va kesimsiz, silindr shaklidagi sirtqi rezistorlar qarshiligi:

$$R = \rho \, l / (\pi D_1 h);$$

$$R = \rho N \pi D_2 / [(t - a)h],$$

bu yerda, l — kesimsiz rezistor silindri yasovchisining uzunligi, m;

h — tok o'tkazuvchi qatlamning qalinligi, mm;

D_1 va D_2 — keramik sterjenlarning tashqi diametrlari, mos ravishda, mm va m da;

N , t va a — o'ramlar soni, spiralsimon kesim qadami va eni, mm.

To'g'ri burchak shaklidagi hajmiy rezistorlar qarshiligi:

$$R = \rho \, l / (bc),$$

bu yerda, l , b va c — kompozitsion sterjenning uzunligi, eni va balandligi, mm.

Simli rezistorlar qarshiligi

$$R = 4\rho \, l \pi d^2,$$

bu yerda, l va d — simning uzunligi, m va diametri mm.

Tok o'tkazuvchi «taqa»li simsiz o'zgaruvchan rezistorlar qarshiligi

$$R = \rho(r_1 + r_2)\pi\varphi / [(r_1 + r_2)h \cdot 360],$$

bu yerda, ρ — kompozitsiyaning solishtirma sirtqi elektr qarshiligi ($\Omega \cdot \text{sm}$);

r_1 va r_2 — «taqa»ning tashqi va ichki radiuslari (sm);

φ — tok o'tkazuvchi qatlam ma'lum uzunligiga surilgichning burilishi to'g'ri kelgan burchak (grad).

Rezistorning nominal qarshiligi undagi tamg'ada ko'rsatiladi. Ko'p maqsadlarga mo'ljallangan rezistorlar uchun nominal qarshiliklarning 6 qatori mavjud: $E 6$, $E 12$, $E 24$, $E 48$, $E 96$ va $E 192$. Bundagi raqam shu qatordagi nominal qiymatlar sonini ko'rsatadi. Bu qiymatlar rezistor qarshiligi va uning nominalining yo'l qo'yilgan og'ishiga bog'liq. Pretsizion rezistorlar qarshiligining yo'l qo'yilgan og'ishi $\pm 2\%$ dan kam, umumiy ishlarga mo'ljallangan rezistorlarniki $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$, o'zgaruvchan rezistorlarniki $\pm 30\%$ gacha bo'ladi.

R_{nom} nominal solishtirma quvvati. Bu kattalik rezistorning o'z parametrlarini belgilangan chegaralarda saqlangan holda muayyan ishlatish sharoitida uzluksiz elektr yuklamada uzoq vaqt sohib turishi mumkin bo'lgan maksimal quvvatni bildiradi.

R_{nom} (W) qiymatlari 0,01; 0,025; 0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 8; 10; 16; 25; 50; 75; 100; 160; 250; 500 qatoridan tanlanadi. Odatda, nominal sochilish quvvati qancha katta bo'lsa, rezistorlar o'lchami ham shuncha katta bo'ladi.

Chegaraviy ish kuchlanishi — U_{cheg} . Rezistorning chiqish simlariga qo'yilgan elektr parametrlarini buzmaydigan maksimal yo'l qo'yilgan kuchlanish chegaraviy ish kuchlanishi deyiladi. Bu kattalik, odatda, normal ish sharoiti uchun berilgan bo'lib, rezistor uzunligi, spiralsimon spiral qadami, atrof-muhit temperaturasi va bosimiga bog'liq. Temperatura qanchalik yuqori va atmosfera bosimi qanchalik past bo'lsa, rezistorning issiqdan yoki elektrdan buzilish va ishdan chiqish ehtimoli shuncha katta bo'ladi.

Qarshilikning temperatura koeffitsiyenti (QTK). Bu parametr rezistor qarshiligining atrof-muhit temperaturasi 1°C ga o'zgar-gandagi nisbiy o'zgarishini ko'rsatadi va $1/^\circ\text{C}$ larda ifodalanadi:

$$QTK = \Delta R / (R_0 \Delta t),$$

bu yerda, ΔR — rezistor qarshiligi (Om) ning $\Delta t = t - t_0$ ($^{\circ}\text{C}$) temperatura diapazonida absolut o'zgarishi;

R_0 — rezistorning normal temperaturadagi qarshiligi (Om);

l — rezistorning chegaraviy ishlatish temperaturasi ($^{\circ}\text{C}$).

Shovqinlar. Rezistorlarga o'zgarmas yoki o'zgaruvchan kuchlanish berilganda ularda shovqin paydo bo'ladi. Bu shovqin rezistor kuchlanishining o'zgarmas holatiga qo'shiluvchi o'zgaruvchan tashkil etuvchidan iborat. Natijada signalning o'tishiga xalaqit beradi. Radio qabulqilgichlarning kirish zanjirlarida ishlatiladigan rezistorlar shovqinlari, ayniqsa, zararlidir. Chunki ular, qabul qilinayotgan foydali signal bilan birgalikda kuchaytiriladi.

Rezistorlarning xususiy shovqini ikki xil: issiqlik va tok shovqini bo'ladi. Issiqlik shovqinlari elektronlarning, tok o'tkazuvchi qatlamda tartibsiz harakati («Broun harakati») ta'sirida paydo bo'ladi. Bu hol rezistorlar qarshiligining tasodifiy mikroo'zgarishlariga olib keladi, natijada, rezistorda kuchlanishning o'zgaruvchan pulsatsiyasi paydo bo'ladi. Temperatura ko'tarilishi bilan issiqlik shovqinlari ortadi. Issiqlik shovqinlari barcha turdagi rezistorlarga xos bo'lsa-da, «tok» shovqinlariga nisbatan kamroq ta'sirga ega. Shuning uchun ular tok shovqinlari bo'lmagan simli rezistorlarda muhim rol o'ynaydi. Issiqlik shovqinlarining elektr harakatlantiruvchi kuchi (mkV)

$$E_{i.sh} = \sqrt{4 \cdot k \cdot TR \Delta F},$$

bu yerda, k — Bolsman doimiysi, $1,38/19^{-34}$ J/K ga teng;

T — temperatura ($^{\circ}\text{C}$);

R — qarshilik (Om);

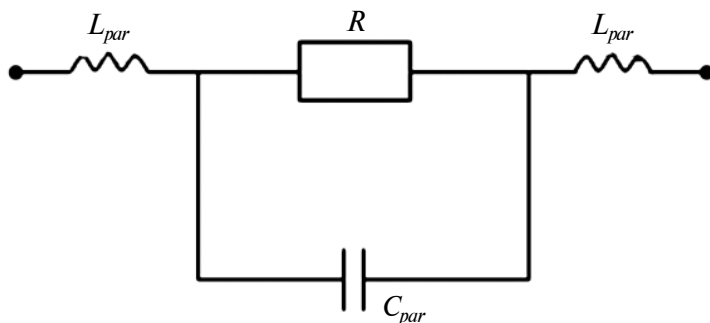
ΔF — qo'llanayotgan rezistorning chastotalar pollosasi.

Tok shovqinlari donador tuzilishga ega bo'lgan uglerodli, metall qoplangan va kompozitsion rezistorlarda paydo bo'ladi. Tok shovqinlari darajasi (mkV/V) tasodifiy tashkil etuvchi $E_{i.sh}$ qiymatining rezistorga qo'yilgan o'zgarmas U kuchlanishga nisbati bilan belgilanadi: $D = E_{i.sh} / U$. Qo'yilgan kuchlanish ortishi bilan tok shovqinlari ko'payadi.

Kompozitsion rezistorlar eng shovqinli hisoblanadi, shu sababli ular qabul qilish qurilmalarining kirish zanjirlarida kam ishlatiladi.

Rezistorlarning chastota xossalari. Rezistorlar chastotalar diapazonida ishlaganida ularning qarshiligi o'zgarmas tok holdagi nominalga nisbatan o'zgarishi mumkin. Bu o'zgarishlar, ayniqsa, megagers chastotalar diapazoni uchun detsibellarni tashkil etishi mumkin.

Umumiy holda rezistorning yuqori chastotalar uchun soddalashtirilgan ekvivalent sxemasi o'zining R aktiv qarshiligidan tashqari reaktiv tashkil etuvchilar — L'_{PAR} , L''_{PAR} induktivliklar va C_{PAR} sig'imni o'z ichiga oladi (6.6-rasm). Rezistorning chastota xossalari yomonlashtirgani sababli L'_{PAR} , L''_{PAR} va C_{PAR} larni



6.6-rasm. Yuqori chastotalarga mo'ljallangan rezistorlarning ekvivalent sxemasi.

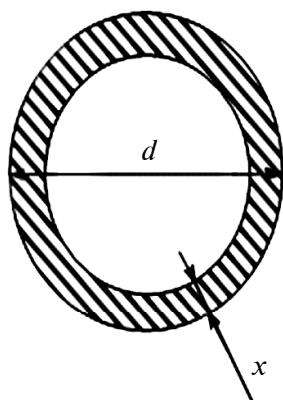
parazit kattaliklar deyiladi. Turli rezistorlarda parazit induktivlik va sig‘im turlicha yuzaga keladi, shuning uchun ularni kamaytirish choralari ham turlicha bo‘ladi. Bular haqida rezistor turlarini bayon etayotganda to‘xtalib o‘tamiz.

Sim rezistorlarda parazit induktivlik o‘tkazgich chulg‘amida o‘ramlar orasida paydo bo‘ladi. Simli rezistorlarning yuqori chastotaviylik xususiyati simsiz rezistorlarnikiga nisbatan yomon bo‘lganligidan maxsus choralar ko‘rmasdan ulardan foydalanish o‘zgarmas tok sohasi va tovush chastotalari diapazoniga qarab chegaralangan bo‘ladi.

Ma‘lumki, chastota ortishi bilan umumiy qarshilikning induktiv tashkil etuvchisi ortadi, sig‘im tashkil etuvchisi esa kamayadi. Shuning uchun sim rezistor qarshiligi, umuman olganda, induktivlik u yoki bu tarafga o‘zgarishi mumkin. Biroq chastota ortishi bilan sim rezistor qarshiligi ham doim ortadi. Bu holat sirtqi effekt asosida tushuntiriladi.

O‘zgaruvchan maydon chastotasining ortishi bilan o‘tkazgich ichida tok (Fuko toklari) induksiyalanadi. U o‘tayotgan o‘zgaruvchan tokni o‘tkazuvchining amaldagi kesimi uning o‘zgarmas tok uchun kesimi (to‘la kesim)ga nisbatan kamayadi va doiraviy kesimli o‘tkazgichlarda halqa shaklini oladi. Bu halqa simning tashqi diametri d va dx_E — diametr orasidagi farq asosida hosil bo‘ladi (6.7-rasm).

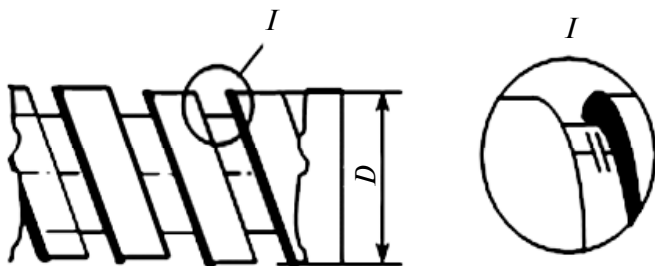
$\chi_{\vartheta} \approx \frac{1}{2} \sqrt{\rho / (f\mu)}$ kattalik yuqori chastotali tokning o‘tkazgichga kirish chuqurligi (mm) deyiladi (bu yerda, ρ — solishtirma hajmiy qarshilik (Om m/mm²); f — o‘zgaruvchan tok chastotasi (MHz); μ — nisbiy magnit o‘tkazuvchanlik). Chastota qanchalik yuqori bo‘lsa, x_e va halqa yuzasi shunchalik kichik, simli rezistor qarshiligi esa, shunchalik katta bo‘ladi.



6.7-rasm. Simli rezistorlardagi sirtqi effektda simning ko'ndalang kesimidagi tok taqsimoti.

Simsiz rezistorlarda sirtqi effekt ta'sirini e'tiborga olmasa ham bo'ladi, chunki ular donador tuzilishga ega va donalar diametri, odatda, kirish chuqurligidan ancha kichik bo'ladi. Ular uchun qarshilikning chastotaga bog'liqligi, asosan, parazit sig'im va induktivlik bilan belgilanadi. Spiralsimon kesimsiz (kichik Omli) simsiz rezistorlarda qarshilik chastota bilan birga kattalashadi, chunki ularning ekvivalent sxemalarida parazit sig'im yo'q, parazit induktivlik esa bor. Spiralsimon kesimli simsiz rezistorlarda esa, aksincha, parazit induktivlik ta'sirini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Qarshilikning kamayishiga kesim o'yiqlarida tarqalayotgan sig'im ko'rinishida paydo bo'luvchi parazit sig'imning shuntlovchi ta'siri sabab bo'ladi (6.8- rasm). Sig'im tok o'tkazuvchi qatlam qanchalik qalin, qatlamning dielektrik o'tkazuvchanligi qanchalik yuqori va kesim o'ramlarining soni qanchalik ko'p bo'lsa, parazit sig'im shunchalik katta va rezistorning chastota xossalari shunchalik yomon bo'ladi.

Rezistorlarning nohziziq xossalari. Rezistorning qarshiligi, shuningdek, uning ish rejimiga ko'ra (qo'yilgan kuchlanishi, o'tayotgan tok, o'zgaruvchan maydonning qandayligi, uzluksiz



6.8-rasm. Rezba ariqchalarida taqsimlangan parazit sig‘imning hosil bo‘lishi.

yoki impuls tarzidaligi) o‘zgarishi mumkin. Bu hollarda qarshilikning o‘zgarishi kuchlanish yoki tok birligining foizlari hisobida, yoki kuchlanish, yoki tokka o‘tishda faqat foizlar hisobida, yoki uzluksiz ishlash tartibidan impuls tarzida ishlashga o‘tishda foizlar hisobida ifodalanadi va tegishlicha kuchlanish yuklama koefitsiyentlari yoki impuls yuklama koefitsiyenti orqali ifodalanadi.

6.5. Umumiy maqsadlarga mo‘ljallangan rezistorlar

Umumiy maqsadlarga mo‘ljallangan rezistorlar o‘rtacha aniqlikdagi (5—20%) apparatlar elementlari sifatida ishlatiladi va qarshiligining nominal qiymatlari birlik Om lardan 10 MOm gacha bo‘lib, yuzlab volt oralig‘idagi ish kuchlanishiga, 0,125 dan 2 W gacha va undan yuqori nominal sochilish quvvatlari diapazoniga, o‘nlab magagersgacha bo‘lgan chastota diapazoniga, $10^3 \cdot 1/^\circ\text{C}$ tartibidagi o‘rtacha QTK qiymatiga ega. Ularning qarshiligi ishlash (saqlash) muddati oxirida ko‘pi bilan $\pm 10\%$ ga o‘zgaradi.

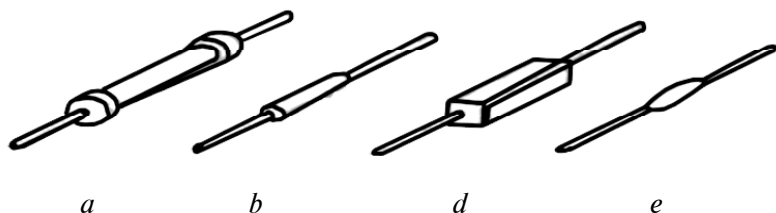
Shu guruhdagi rezistorlar keng miqyosda ishlatiladigan REAlarda, shuningdek, aniqligiga, barqarorligiga va yuqori

chastotaligiga katta talablar qo'yilmaydigan, maxsus ishga mo'ljallangan apparatlarning elektr zanjirlarida anod va kollektor yuklamalari, emmitter, baza va stok, tebranish konturlari shuntlarining zanjirlaridagi sizilish va siljish qarshiliklari va boshqalar sifatida ishlatiladi.

O'zgarmas rezistorlar. Sanoatda ishlab chiqariladigan juda ko'p turdagi rezistorlarning ko'pchiligi umumiy ishlarga mo'ljallangan o'zgarmas rezistorlardir. Ularning konstruksiyalarida tok o'tkazuvchi elementlarning deyarli barcha turlari ishlatiladi. Mikroelektron apparaturalarda ishlatiladigan rezistorlar kichik massa va o'lchamga ega bo'lishi lozimligidan katta nominal sochilish quvvatiga ega bo'lgan rezistorlar asta-sekin kamaymoqda va, aksincha, millivatt quvvatlardagi rezistorlar paydo bo'lmoqda. Shuni nazarda tutib, umumiy ishlarga mo'ljallangan, nominal quvvati 2 W dan katta bo'lmagan o'zgarmas rezistorlarni ko'rib chiqamiz. Shunday rezistorlardan ba'zilari 6.9-rasm, *a*, *e* da ko'rsatilgan.

Uglerodli rezistorlar elektroradio, tibbiyot texnikasi va elektron apparatlarning o'zgarmas, o'zgaruvchan va impuls zanjirlari uchun mo'ljallangan bo'lib, keramik silindrsimon sterjenlarga gektanni termik bug'lantirish yo'li bilan tayyorlanadi, radial yoki aksial chiqish uchlari bo'ladi va sirtqi rezistorlar turiga kiradi. Ularning sirtiga yashil rangli suv yuqtirmaydigan emal surkaladi va oddiy hamda tropik iqlimga moslashtirilgan holda ishlab chiqariladi. Ularning ko'pchiligi 200°C maksimal ishchi temperaturaga va yuklama koeffitsiyenti, masalan, birga teng bo'lganda, 40°C ishchi temperaturaga ega bo'ladi; tropik iqlimga mo'ljallanganlari uchun bu temperaturalar, mos ravishda, 125 va 70°C ga teng bo'ladi.

Ushbu guruh rezistorlari chastotasi ancha yuqori, chunki ularda tok o'tkazuvchi qatlamning yupqaligi (mikrometrning



6.9-rasm. Umumiy maqsadlarga mo'ljallangan
o'zgarmas rezistorlar:

a —OMLT = 0,5; b —S3 = 10a;

d —S4—1=0,25; e —S5—31 = 0,05.

yuzdan bir bo'laklari) dan rezba o'ramlarida kichik parazit sig'im yuzaga keladi. Bundan tashqari, ular kichik o'lchamli va barqarordirlar (ularda QTK o'rtacha va doimo manfiy). Biroq metall pardali rezistorlarning ko'p ishlatilishi, mikrosimli yuqori barqarorlikdagi rezistorlarning tez rivojlanishi va bularning ba'zi bir turlari massa va o'lchamlariga ko'ra uglerodlardan qolishmasligi sababli uglerodli rezistorlarning qo'llanishi cheklanib qoladi.

Metall pardali rezistorlar oddiy va tropik iqlimga mos holda ishlab chiqarilgan bo'lib, issiqlikka va namlikka chidamli apparaturalarning o'zgarmas, o'zgaruvchan va impuls toklari zanjirlari uchun mo'ljallangan, yuqori mustahkamlikka ega va keng ko'lamda hamda maxsus maqsadlarda ishlatiluvchi REA larda keng qo'llaniladi. Bu rezistorlar, narxlari nisbatan yuqori bo'lmagan holda, uglerodli va kompozitsion rezistorlarga qaraganda yaxshi elektr parametrlariga ega. Shu sababli ham ular keng qo'llaniladi.

Keramik sterjenlar metall pardali rezistorlar asosi bo'lib xizmat qiladi. Sterjenlarga termik bug'lantirish yo'li bilan maxsus qotishma, metallar hamda metall-dielektriklar oksidlaridan

iborat yupqa parda (qalinligi mikrometrning o'ndan bir bo'lagidan to birlik mikrometr gacha) qoplanadi. Rezistorlar aksial chiqish uchlariga ega bo'lib, sirtlari suv yuqtirmaydigan, odatda, qizil rangli emal bilan qoplangan.

Metall pardali rezistorlar uglerodlarga nisbatan bir xil nominal sochilish quvvatiga ega bo'lgani holda o'lchami kichik. Tok o'tkazuvchi qatlam sifatida uglerod emas, balki metall yoki qotishmalar oksidlari olinganligi sababli ular issiqqa chidamliroq. Issiqqa chidamli qoplama bo'lganligi yuqori namlikdan saqlanishga imkon beradi. Impuls yuklamaga nisbatan kam bardoshlilik va chastota diapazonining uglerodli rezistorlarga qaraganda kichikligi metall pardali rezistorlarning kamchiligi hisoblanadi. Bu hol tok o'tkazuvchi qatlam qalinligining kattaligi, buning natijasida kesimda uning chetlarini buzuvchi ortiqcha lokal qizishning paydo bo'lishi, shuningdek, o'ramlararo parazit sig'imning ortishi bilan tushuntiriladi.

MLT, OMLT, MTE va C2 guruhleri qo'llaniladigan metall pardali rezistorlarning asosiy turlaridir. Metallashtirilgan MT va MTE rezistorlari MLT va OMLT rezistorlariga nisbatan issiqqa chidamli bo'lib, biroz cho'ziq shaklga ega. Metall-oksidli C2-6 rezistorlari $+300^{\circ}\text{C}$ temperaturagacha bo'lgan sharoitda ishlay oladi, stanat (qalay qotishmasi) tolali C2-12 mikrorezistorlar gibril IS larda ishlatiladi.

Uglerodli va metall-pardali rezistorlar ishlatiladigan sohalarda qo'llanuvchi kompozitsion rezistorlar quruq va nam tropik iqlim sharoitlaridagi ishlarga mo'ljallangan. Uchlarining asos qismi presslanganligidan yuqori tebranishga chidamliligi, o'zining shovqini yuqori darajada (10 mkV/V gacha) va qarshiligi-ning berilgan kuchlanishga bog'liqligi bu rezistorlarning o'ziga xos xususiyati hisoblanadi. Bu guruhda turlar soni ko'p emas.

Uzunligi 3 va 6 mm, eni 0,45 mm va qalinligi 0,8 va 1 mm boʻlgan C3—3 kompozitsion tolali rezistorlar gibridli IC lar asosiga oʻrnatishda ishlatiladi.

C4 guruhidagi rezistorlar toʻgʻri burchakli shaklga ega. Hajmiy tok oʻtkazuvchi qatlam shisha-emal yoki shisha-keramik qobiqqa presslangan boʻladi. Bu rezistorlar nisbatan kichik massa va oʻlchamga ega boʻlib, bosma platalarda yaxshi joylashadi. Uzunligi 13,5 dan 36,5 mm gacha, balandligi 4 dan 6 mm gacha va eni 2,2 dan 5 mm gacha boʻlgan C4-1 rezistorlari eng issiqbardosh (350°C gacha) dir.

Tolali rezistorlar. Tolali rezistorlar temperaturaga nisbatan yuqori barqarorlikka va termochidamlilikka ega. Bu rezistorlarning asosiy kamchiligi — qarshiliklari diapazonining cheklanganligi (bir necha yuz kOm largacha) va bahosi nisbatan yuqoriligidir.

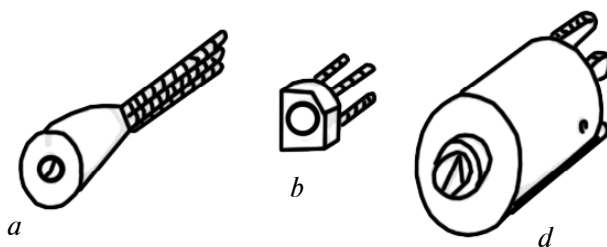
C5-35, C5-36, C5-37V rezistorlari yuqori sochilish quvvatiga (100 W gacha), katta massaga (300 g gacha) va oʻlchamlarga ega boʻlib, kuch qurilmalari (masalan, toʻgʻrilagichlar) da ishlatiladi.

C5-31 (mikrotolali, mikrokichik) rezistorlari mikroelektron apparaturada, masalan, radio qabul traktlarida, hisoblash qurilmalarida qoʻllaniladi va bevosita gibrid IS lar asoslariga oʻrnatiladi.

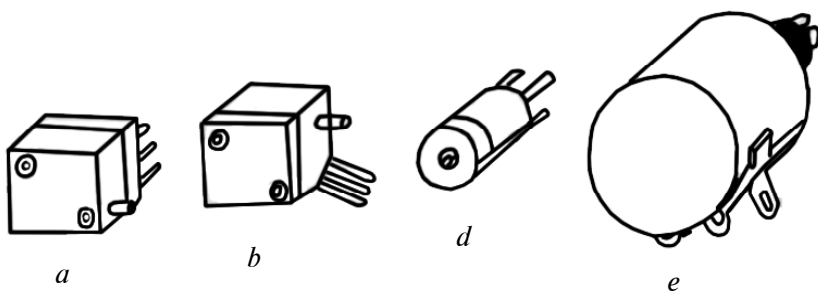
Oʻzgaruvchan rezistorlar. Radioeshittirish va televizion apparatlarda ovoz balandligini, tembrni, ravshanlikni, kontrastlikni, qatorlar va kadrlar chastotasini, televizion tasvir oʻlchamlarini rostlagich sifatida va boshqa maqsadlarda umumiy ishlarga moʻljallangan oʻzgaruvchan rezistorlardan foydalaniladi. Bundan tashqari, bu rezistorlar ishlab chiqarish, tibbiyot va boshqa maxsus apparatlarda oʻtayotgan tok yoki olinadigan kuchlanishga bogʻliq boʻlgan parametrlarni rostlagich boʻlib xizmat qiladi. Barcha hollarda ular apparatlarni ishlatishda zarur boʻlgan

rostlagich elementlar rolini bajarganligi sababli ulardan foydalanishda qulay bo'lishlik, qarshilikning induktivlik yoki bu qonun (chiziqli, logarifmik, eksponensial) bo'yicha bir tekis o'zgarishi, ishonchli bo'lishi va tuzatish ishlarida tezda almashtiradigan bo'lishi talab etiladi. Umumiy ishlarga mo'ljallangan rostlovchi o'zgaruvchan rezistorlardan tashqari ko'plab ishlab chiqarilgan radioapparatlarni sozlash va rostlash uchun moslanuvchi kichik o'lchamli rezistorlar qo'llaniladi. Bu rezistorlar, odatda, radioapparat korpusining ichiga o'rnatiladi va induktivlik sozlanib va rostlangandan so'ng rezistorlar o'qlarining holati nitroemal yordamida belgilab (cheklab) qo'yiladi. Shu yo'l bilan mexanik va va boshqa ta'sirlar ostida qarshilik o'zgarishining oldi olinadi.

Kompozitsion simsiz o'zgaruvchan rezistorlar. Bu rezistorlar o'ziga xos tuzilishga ega bo'lib, ulardan biri 6.4-rasmda ko'rsatilgan edi. Biroq yakka yoki qo'shaloq konstruksiya, uzgichli va ekranli yoki ularsiz chiqish uchlari radial yoki aksial, bikir yoki egiluvchan, o'qi yakka yoki qo'shaloq, o'qi qotirib qo'ygichli yoki qo'ygichsiz kabi qo'shimcha belgilarning xilma-xilligi bu rezistorlarning shakli o'lchamlari va massasiga ko'ra xilma-xil bo'lgan ko'p sondagi turlarining mavjudligiga sabab bo'ldi (6.10- *a, d* rasm).



6.10-rasm. Umumiy maqsadlarga mo'ljallangan o'zgaruvchan simsiz rezistorlar: *a*—SP3=19*a*; *b*—SP3=28; *d*—SP4-3=0,25.



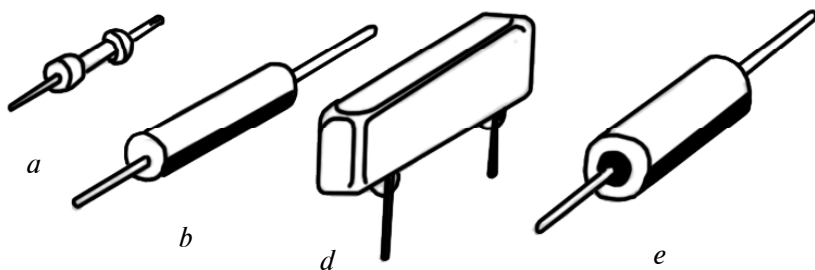
6.11-rasm. Umumiy maqsadlarga mo'ljallangan
o'zgaruvchan rezistorlar:

a —SP5=2V; b —SP5=3V; d —SP5-16VA=0,25;
 e —SP5=20V.

Simli kuchli va kuchsiz toklarda ishlash mo'ljallangan o'zgaruvchan rezistorlar (6.11- a , e rasm) REA larni ishlatish va moslashda rostlovchi va sozlovchi elementlar sifatida ishlatiladi.

6.6. Pretsizion rezistorlar

Yuqori aniqlikka ($\pm 0,05 \div 5\%$) va barqarorlikka ($QTK \approx 10^{-4} \cdot 1/^\circ\text{C}$) ega bo'lgan rezistorlar pretsizion rezistorlar hisoblanadi. Ularning nominal qarshiligi 1 Om dan 1 MOm gacha, chegaraviy ishchi kuchlanishi bir necha yuz voltdan ortiq emas, nominal sochilish quvvati diapazoni — 0,05 dan 2 W gacha, chastota diapazoni — birlik megagerslargacha, ishlash muddatining oxiridagi qarshilik o'zgarishi — bir necha foizdir. Pretsizion rezistorlar aniq o'lchov apparaturasida va maxsus ishga mo'ljallangan apparaturaning nozik zanjirlarida, shuningdek, qarshilik magazinlarining elementlari sifatida, bo'lgichlar va yuqori aniqlikdagi shuntlar zanjirlarida hamda turli datchiklar va sxemalar yuklamasi sifatida ishlatiladi.



6.12-rasm. Pretsizion rezistorlar:

a —S2=31; b —S5-5=1; d —S5=416; e —S5=53.

Pretsizion rezistorlarning ba'zi turlari 6.12- a , e rasmda tasvirlangan.

Pretsizion rezistorlar simli va simsiz bo'lishi mumkin. Ikkala holda ham ularning yuqori aniqlikda bo'lishini ta'minlash uchun berilgan nominal qarshilikda texnologik to'g'rilash ishlari bajariladi. Birinchi holda o'ramda o'ramlar soni o'zgartiriladi, ikkinchi holda esa, tok o'tkazuvchi element rostlanadi (sortirovka qilinadi), masalan, karkasda qo'shimcha o'yiqlar o'yiladi. Pretsizion rezistorlarning yuqori barqarorligini ta'minlash uchun turli usullardan foydalaniladi.

Simsiz rezistorlarda issiqlik tarqatuvchi sirtlari kattalashib tok o'tkazuvchi qatlamning qizishi kamaytiriladi, rezistorlar uzoq muddatli elektr termoshlovga qo'yiladi. Hozirgi kunda faqat cheklangan sondagi pretsizion rezistorlar ishlatilmoqda.

Pretsizion rezistorlar sifatida ko'pincha simli rezistorlar ishlatiladi. Uning simi kichik musbat solishtirma qarshilik temperatura koeffitsiyentiga ega bo'lib, eskirish jarayonida o'z xossasini o'zgartirmaydi va atrof-muhit ta'siriga chidamlidir.

Narxining balandligi, o'lchamining kattaligi va ko'pincha cheklangan chastota diapazoniga ega bo'lishi simli rezistorlarning asosiy kamchligi hisoblanadi. Biroq mikrometallurgiyanning

rivojlanishi (shisha izolatsiyali mikrosimlarning olinishi) o'lchamlari pretsizion simsiz rezistorlarning o'lchamlariga yaqin va hatto ulardan ham kichik bo'lgan simli rezistorlar ishlab chiqarishga imkon berdi. Qator konstruktiv choralar ko'rish (qarama-qarshi o'rash, qo'shni o'rash, metall karkaslar qo'llash) natijasida simli rezistorlarning parazit induktivligi va sig'imi lozim bo'lgan minimumga keltirilishi va shu yo'l bilan bu rezistorlarning megagers diapazonda ishlashi ta'minlanishi mumkin.

6.7. Yuqori chastotali rezistorlar va O'YCH rezistorlari

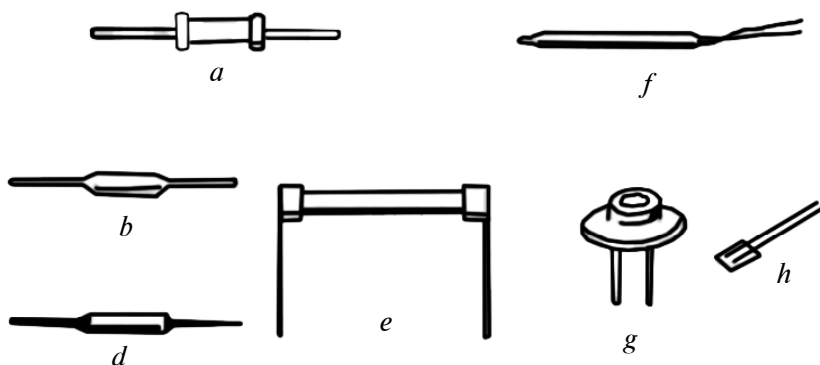
10 MHz dan yuqori bo'lgan radiochastotalarda o'z qarshiliklarini deyarli o'zgartirmaydigan rezistorlar yuqori chastotali rezistorlar hisoblanadi. Bunday rezistorlarning qarshiligi kichik (birlik Om lardan bir necha yuz Om gacha), aniqligi $\pm (5\div 20)\%$ va barqarorligi o'rtacha (QTK $5\cdot 10^{-4}$ $1/^{\circ}\text{C}$) bo'ladi. Nominal sochilish quvvati 0,1—200 W oralig'ida, ishchi kuchlanishi bir necha yuz volt dan oshmaydi, qarshiligi esa, eskirish jarayonida 5—15% dan ortiq o'zgarmaydi. Yuqori chastotali rezistorlar, odatda, apparatlarning yuqori va o'ta yuqori chastota yo'llarini konstruksiyalashda moslashtiruvchi yuklama sifatida, shuningdek, o'lchash, qabul qilish-uzatish va radiolokatsiya apparaturasida ishlatiladi.

Bu rezistorlarning asosiy xossasi yuqori chastotaligidir, bu xossa kesikning yo'qligi hisobiga va emal qoplamasining bo'lmasligi hisobiga ta'minlanadi. Kesik bo'lmagani uchun rezistorda parazit sig'im yuzaga kelmaydi, shu sababdan uning qarshiligi chastotaga bog'liq bo'lmaydi, chunki sig'imga asoslangan shunt paydo bo'lmaydi. Bu hol nominal qarshilik

diapazonini cheklaydi (200—300 Om dan katta emas), lekin o'ta yuqori chastota diapazonida bundan yuqoriroq nominal qarshilik talab etilmaydi. Chiqish simlarining yo'qligi parazit induktivlikni minimumga keltiradi. Bu ham rezistorlarning foydalanish chastota diapazonini kengaytiradi va nihoyat, emal qoplaminig bo'lmasligi dielektrikning tok o'tkazuvchi qatlamga bo'lgan shuntlovchi ta'sirini kamaytiradi va O'YCH diapazonida cheklovchi omil bo'lgan sochiluvchi quvvatning rezistorlar sirtidan issiqlik tarqatishini yaxshilaydi.

Yuqori chastotali rezistorlarning ba'zi bir turlari 6.13- *a, b* rasmda keltirilgan.

O'YCH rezistorlari alohida guruhni tashkil etadi va 10 GHz gacha bo'lgan chastotalarda ishlay oladi. Bu rezistorlar — 60°C dan +85°C gacha va hatto +125°C gacha temperatura diapazonida, 7,5 dan 40 g gacha bo'lgan tebranishlar, 35 dan 150 g gacha bo'lgan zarbalarda, 666 dan $1,33 \cdot 10^{-4}$ Pa gacha bo'lgan past atmosfera bosimida ishlashga mo'ljallangan.



6.13-rasm. Yuqori chastotali, yuqori megaomli, yuqori voltli va maxsus rezistorlar:

a—MON-0,5; *b*—S5-32T; *d*—KIM-E; *e*—S3-6; *f*—STZ-14 termorezistorlari; *g*—SF2-5 fotorezistori; *h*—magnitorezistor.

6.8 Yuqori megaomli va yuqori voltli rezistorlar.

Maxsus ishlarga mo'ljallangan rezistorlar

Yuqori megaomli rezistorlar boshqalaridan nominal sochilish quvvatining past darajadali (o'nlab millivatt va undan kichik tartibda) bilan farq qiladi. Ularning qarshiligi bir necha megaomdan minglab gigaomgacha boradi. Bu rezistorlarning aniqligi $\pm(5\div 30)\%$, $QTK \approx 10^{-3}$, $-1/^{\circ}C$, ishchi kuchlanishi bir necha yuz volt, ishlash muddati oxirida qarshilikning o'zgarishi 10—30%. Yuqori megaomli rezistorlar o'lchash REAlarida (past chastotali ancha kuchsiz toklarni o'lchashda, nurlanish dozimetrnlarda va b.) ishlatiladi.

Yuqori megaomli rezistorlarning bundan katta qiymatlari baland solishtirma qarshilikli yupqa parda ko'rinishidagi kompozitsiyalarni qo'llash yo'li bilan olinadi. Natijada rezistorlar sirtiga sochiluvchi quvvat bir millivattgacha va uning bo'laklari qadar kamayadi.

Yuqori voltli rezistor o'nlab kilovolt tartibdagi chegaraviy ish kuchlanishiga, bir necha yuz kiloomdan o'nlab gigaomgacha nominal qarshilikka, 10—20 aniqlikka ega, $QTK \approx 10^{-3} \cdot 1/^{\circ}C$ va ishlash muddati oxirida qarshiligi 10—25% ga o'zgartiriladi. Nominal sochilish quvvati bir necha o'n millivattdan o'nlab vattgacha boradi. Bu rezistorlar uzatuvchi va boshqa REAlarning yuqori voltli zanjirlarida kuchlanishni bo'lgichlar, kuchlanishni yutgichlar va boshqalar sifatida ishlatiladi.

Yuqori megaomli va yuqori voltli rezistorlarning ba'zilar 6.13-rasm *d*, *e* da tasvirlangan.

Maxsus ishlarga mo'ljallangan rezistorlar (6.13-rasm *f*, *h*) qarshilikning qo'yilgan kuchlanishga (varistorlar), yorug'likka (fotorezistorlar), temperaturaga (termorezistorlar) yoki quvvatga (termistorlar) qarab o'zgarish prinsipiga asoslangan. Bu guruh

rezistorlarni ishlatilish parametrlari va ularning diapazonlariga ko'ra yaxlit to'plam deb tavsiflash mumkin emas. Ular odatda, o'lchagichlar, stabilizatorlar va turli xil signallarni elektr signallariga aylantirgichlar sifatida ishlatiladi va ulardan avtonomika va telemexanika apparaturalarida, shuningdek, o'lchov va indikator REAlarda foydalaniladi.

6.9. Integral mikrosxemalar rezistorlari

Yarimo'tkazgichli integral sxemalarning barcha elementlari (tranzistorlar, diodlar, rezistorlar va kondensatorlar) kremniy, arsenid, galliy asosning r - n o'tishlari bazasida epitaksiya va diffuziya usuli bilan yaratiladi. Yarimo'tkazgichli sxemalar rezistorlari baza sohasida olinadi va ularning qarshiligi soha qarshiligi bilan belgilanadi va 25 Om dan bir necha kiloomlargacha bo'lgan oraliqda bo'ladi. Rezistorlarning texnologik aniqligi $\pm 30\%$ dan oshmaydi, $QTK = 10^{-3} \cdot 1/^{\circ}C$.

Qalin pardali mikrosxema rezistorlarini ipak-grafiya usuli — keramik asos (22XC keramikasi) sirtiga maxsus trafaret orqali surtish va ularni kuydirish (qizigan keramika usuli) yo'li bilan olinadi.

Maxsus ishlarga mo'ljallangan yupqa pardali mikrosxemalar mikroelektron texnikada keng qo'llanilmoqda. Ular asosida yirik gibril integral sxemalar yaratilmoqda. Buning sababi shundaki, yupqa pardali texnologiya elementlarining nominal qiymati chegaralarini kengaytirishga va yanada yuqori aniqlikka, barqarorlikka va ishonchlilikka erishishga imkon beradi.

Yupqa pardali sxemalar rezistorlari metallar yoki boshqa tok o'tkazuvchi moddalar, odatda, oksid asoslarga purkash yo'li bilan olinadi. Rezistorlarning konfiguratsiyasi maskalarning rezitsiv qatlami topologiyasi (joylashtirilishi va o'lchamlari bilan)

orqali belgilanadi. Tok o'tkazuvchi moddalar maskadagi «darcha» orqali purkaladi. Bunda vakuumda termik bug'lantirishdan yoki katod changlatishdan foydalaniladi. Changlatish jarayoni maxsus vakuum qurilmalarida o'tkaziladi.

Maskalar metallardan qilingan va fotorezitsiv bo'lishi mumkin. Fotorezitsiv maskalar ajratish qobiliyati mikrometrlarni tashkil etadigan fotolitografiya usuli bilan olinadi. Biroq texnologik va aniqlik nuqtayi nazaridan maskadagi «darcha»ning minimal yo'l qo'yilgan eni 50—100 mkm ga teng qilib olinadi. Rezistorlarga purkash uchun MLT-ZM qotishmasi, tantal, kermetlar va silitsidlardan foydalaniladi.

6.1-jadval

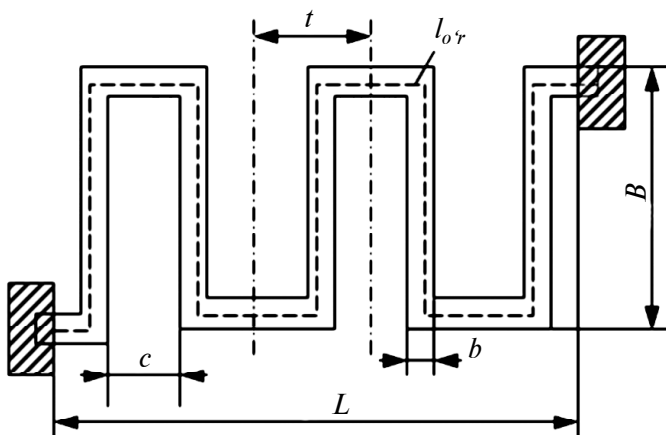
Yupqa pardali rezistorlarning asosiy parametrlari

Material	$\rho \cdot \Omega \text{m}$	QTK, $10^4 \cdot 1/^\circ\text{C}$	R_0 , mW/mm ³
MLT-ZM	200—500	$\pm(1,2 \div 2,4)$	10
Tantal	300—1000	$\pm(0,1 \div 1)$	30
Kermetlar	2000—10000	$\pm(0,5 \div 7)$	20
Silitsidlar	4000—5000	—	10

Purkaladigan materialning asosiy parametri — uning sirti kvadratining qarshiligi $p = \rho_0 / d$ hisoblanadi ($\Omega \cdot \text{sm}^3$), d — changlatib o'tkaziladigan parda qalinligi (sm).

Yupqa pardali rezistorlarni hisoblashda QTK va solishtirma sochilish quvvati P_0 ham muhim parametr hisoblanadi. Turli purkaladigan materiallar asosida olinadigan yupqa pardali rezistorlarning asosiy parametrlari jadvalda keltirilgan.

Yupqa pardali rezistorlar tasma yoki meandr shaklida (6.14-rasm) bo'lishi mumkin va yarimo'tkazgichlarga nisbatan qator



6.14-rasm. «Meandr» turidagi yupqa paradali rezistor geometriyasi:

$l_{орт}$ va b — rezistorning oʻrtacha uzunligi va kengligi;
 t , a , L va B — meandrning odimi, zvenolari orasidagi masofa, uzunligi va kengligi.

afzalliklarga ega: ular barqarorroq ($\pm 10^{-4} \cdot 1/^{\circ}\text{C}$), juda aniq ishlaydi ($\pm 5\%$ gacha) va nominal qarshilik diapazoni 100 kOm gacha boʻlib, odatda, 50 Om÷50 kOm oraliqda chegaralangan.

Nazorat savollari

1. Rezistorlarning taʼrifini aytib bering va ularning odatdagi tuzilishlarini tushuntiring.
2. Rezistorlar qanday asosiy xususiyatlar va parametrlar bilan xarakterlanadi?
3. Umumiy ishlarga moʻljallangan oʻzgarmas va oʻzgaruvchan rezistorlarning qanday turlarini bilasiz?
4. Pretsizion rezistorlarning qanday turlari va oʻziga xos tuzilishlari hamda tayyorlash texnologiyalarini bilasiz?
5. Yuqori chastotali, yuqori megaomli hamda yuqori voltli rezistorlarning qanday turlarini va tuzilishlarini bilasiz?

VII BOB. KONDENSATORLAR

7.1. Tasnifi va konstruksiyalari

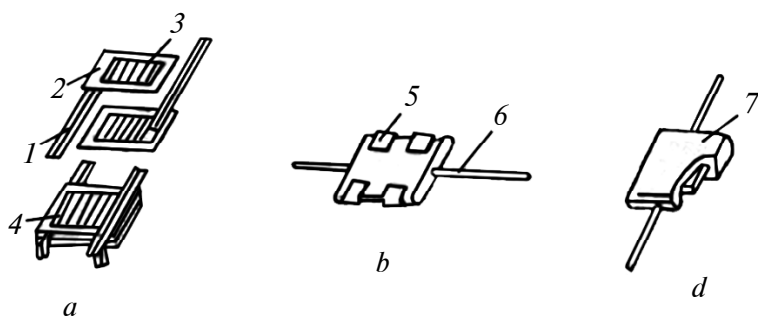
Kondensatorlarning ishlash prinsipi qoplamalariga potensiallar farqi berilganda, ularda elektr zaryad to'planish xususiyatiga asoslanadi.

Vazifasiga ko'ra kondensatorlar konturli, blokirovka qiluvchi, ajratuvchi, filtrli, termokompensatsiyalovchi va sozlovchi; sig'iminining o'zgarishi xarakteriga qarab esa, o'zgarmas, o'zgaruvchan va yarimo'zgaruvchan bo'ladi.

Dielektrik materialiga ko'ra kondensatorlar uch turga bo'linadi: gazsimon, suyuq va qattiq dielektrikli. Birinchi turga o'zgaruvchan va yarimo'zgaruvchan havo kondensatorlari va gaz to'ldirilgan o'zgarmas kondensatorlar, ikkinchi turga esa, radioapparatlarda cheklangan holda ishlatiluvchi moy to'ldirilgan va sintetik suyuqlikli kondensatorlar kiradi. Uchinchi tur kondensatorlar keng tarqalgan bo'lib, ularning turi juda ko'p. Dielektrik materialiga qarab ularni qisqartirilgan belgilar bilan guruhlariga ajratiladi: keramik, nominal ishchi kuchlanishi 1600 V (K10) va 1600 dan yuqori (K15); shishadan ishlangan (K21), shisha-keramika (K22), shisha emaldan ishlangan (K23), sludadan ishlangan (K31); 2 kV gacha (K40) va undan yuqori kuchlanishga (K41) mo'ljallangan folga qoplamali qog'oz kondensator, shuningdek, metall qoplamali (K42) qog'oz kondensator; aluminiydan ishlangan elektrolitik folgali (K50), tantalli (K51) va tantalli hajmiy funksional g'ovak (K52); oksid-yarimo'tkazgichli (K53) va oksid-metalli (K540); vakuumli (K61); polistirolli, folga va metall qoplama bilan, pardali (K70)

va (K71); fluoroplastli pardali (K72); polietilentereftalatli, metall qoplangan va folga qoplama bilan, parda (K73 va K74); kombinatsiyalangan, pardali (K75) va lok pardali (K76) polikarbonatli va polipropilenli, pardali (K77 va K78), o'zgaruvchan, vakuumli (KP1); sozlovchi va havo to'ldirilgan (KT2) va qattiq dielektrikli (KT4). Yupqa pardali, gibrid va yarimo'tkazgichli IS kondensatorlari qattiq dielektrikka ega.

Kondensatorlar dielektriklarining materiali ularning elektrik, konstruktiv va texnologik ko'rsatkichlari yuqori bo'lishligini ta'minlashi kerak; nominal sig'imlarining keng diapazoni, shuningdek, chastota va temperatura jihatidan qo'llanish sohalari, elektrga chidamlilik, massasi va o'lchami kichik bo'lishi, yuqori ishonchliligi, tayyorlashda avtomatlashtirish imkoniyati va ommaviy ishlab chiqarishda narxining past bo'lishi. Sludali, shishali va shisha-keramik kondensatorlar ishonchsizroq va ularni tayyorlashni avtomatlashtirish deyarli mumkin emas, qog'ozli va metall-qog'ozlilari pardaligiga qaraganda pastroq chastotali bo'lib, o'lchami va massa elektrolitik va oksid-yarim-



7.1-rasm. Metall qoplamali sluda kondensatorlar:

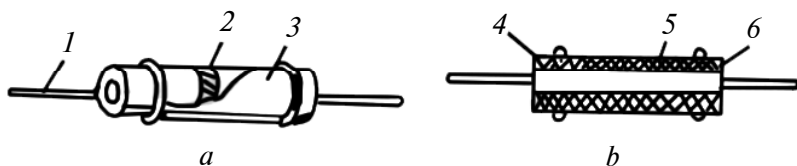
- a*—plastinalar yig'ilmasi; *b*—yig'ilgandan keyingi plastinalar paketi;
d—presslangan kondensator: 1—folga tasma; 2—sluda plastinkasi;
 3—metall qoplamasi; 4—plastinalar paketi; 5—siquvchi moslama;
 6—simli chiqish uchi; 7—plastmassali presslash.

o'tkazgichlikka qaraganda katta. Shuning uchun hozirgi zamon ishlab chiqarishida, asosan, keramik pardali, elektrolitik va oksid-yarimo'tkazgichli kondensatorlar tayyorlanadi (7.1-rasm). Kondensatorlar paketsimon, naychasimon, disk ko'rinishidagi, quyma seksiyalarga bo'lingan, rulonsimon va plastinkali konstruksiyalarda bo'lishi mumkin.

Paketsimon konstruksiya sludali, shisha-emal, shisha-keramika va ba'zi bir keramik kondensatorlarga xosdir (7.1- *a*, *b* rasm).

Paket 4 oralatib qo'yiladigan sluda plastinka 2 va metall qoplama 3 lardan yig'iladi. Ular paketning ikki tarafida folgali tasmalar bilan umumiy kontaktga birlashtiriladi, kontaktlarga sim yoki lentasimon chiqish simlari 6 qalaylanadi. Shisha-emal, shisha-keramika va ba'zi keramik kondensatorlar qoplamalari kumush asosidagi pastani kuydirish yo'li bilan tayyorlanadi. Paketsimon konstruksiya presslanadi va namdan saqllovchi emal bilan qoplanadi.

Naychasimon konstruksiya ba'zi bir keramik kondensatorlarga xosdir. Devor qalinligi 0,25 mm va undan ortiq bo'lgan keramik naychalar 6 ning ichki va tashqi sirtlariga kuydirish yo'li bilan kumush qoplamalar 4 va 5 qoplanadi. Egiluvchan chiqish simlari 1 ni ulash uchun ichki qoplama naychaning tashqi sirtiga chiqariladi va u bilan tashqi qoplama

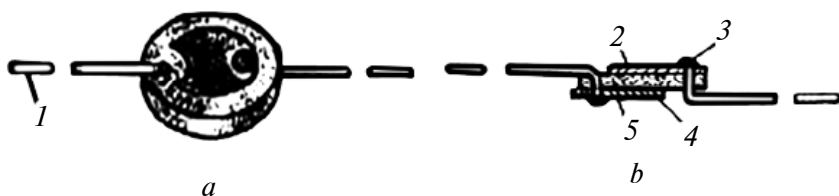


7.2-rasm. Naychasimon keramik kondensator:

a—umumiy ko'rinishi; *b*—konstruksiyasi;

1—simli chiqish uchi; 2—izolatsiyalovchi «tasmacha»;

3—emal; 4, 5—ichki va tashqi qoplama; 6—keramik naycha.



7.3-rasm. Disksimon keramik kondensator:

a—umumiy ko‘rinishi; *b*—tuzilishi;

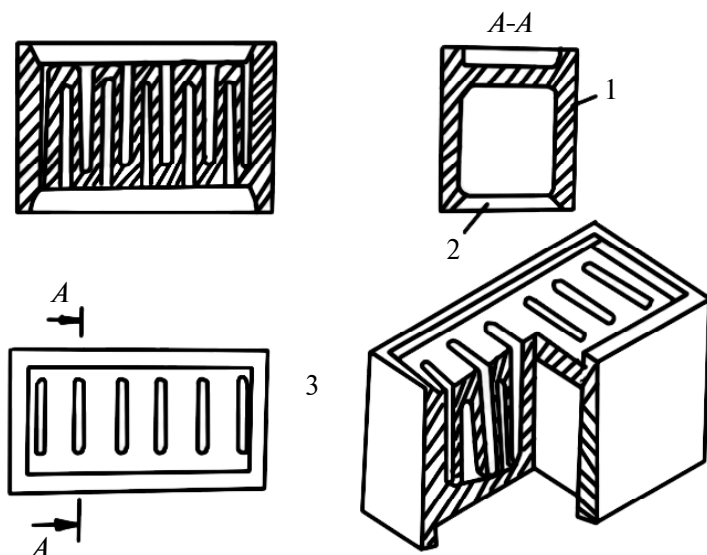
1—simli chiqish uchi; 2, 4—yuqori va pastki kumush qoplama;

3—kavshar; 5—keramik disk.

o‘rtasida izolatsiyalovchi «tasmacha» hosil qilinadi. Kichik o‘lchamdagi kondensatorlarda chiqish simlarini buramasdan va o‘tish hosil qilmasdan qoplamalarga qoplanadi. Naychasimon kondensatorlar namga chidamli emal bilan qoplanadi, ularning rangi sig‘imning barqarorlik guruhini belgilaydi.

Disk ko‘rinishidagi konstruksiya ba’zi bir o‘zgarmas va yarimo‘zgaruvchan keramik kondensatorlarga xosdir (7.3-*a*, *b* rasm). Kumush qoplamalar 2 va 4 keramik diskning ikkala sirtiga kuydirib qoplanadi va yarimoy shaklida (disk qalinligi bo‘yicha teshib o‘tgan sim chiqish uchlari 1 qattiq mahkamlangan) yoki doirasimon (sim chiqish uchlari qoplamalarga qalaylangan) bo‘ladi. Disk ko‘rinishidagi kondensatorlar ham rangli emal bilan bo‘yaladi.

Quyma seksiyalarga bo‘lingan konstruksiyalar KSL (keramik quyma seksiyalarga bo‘lingan) va KLG (keramik quyma germetiklangan) keramik kondensatorlarga xosdir (7.4-rasm). Bu kondensatorlar qaynoq keramikani quyish yo‘li bilan tayyorlanadi. Devorining minimal qalinligi 100 mkm, ular orasidagi havo tirqishiniki esa — 130—150 mkm bo‘ladi. Qoplamalar devorlar sirtida kumush pastaga tiqib olish va uni kuydirish yo‘li bilan hosil qilinadi. Seksiyalarni kommutatsiya qilish uchun ariqchasimon o‘yiqklarining yon tomonlari silliqqlanadi va umumiy qoplama hosil qilinadi, shundan so‘ng bu qoplamalarga



7.4-rasm. Quyma seksiyalarga bo'lingan
keramik kondensator:

1—keramik zagotovka; 2—chiqish qoplamasi sirti;
3—havo tirqishi.

simli chiqish uchlari kavsharlanadi. So'ngra kondensatorlar loklanadi, rangli emal bilan qoplanadi yoki nuqta qo'yish yo'li bilan temperatura barqarorlik guruhlari bo'yicha markalar qo'yiladi.

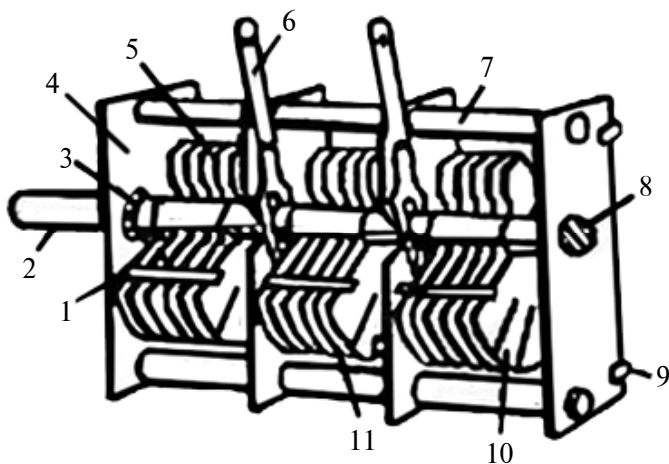
Rulon ko'rinishidagi konstruksiyalar quruq qog'ozli, pardali va elektrolitik kondensatorlarga xosdir. Qog'oz va pardali kondensatorlar yoki parda bilan ajratilgan folga qoplamalarni (qog'ozning qalinligi 5 mkm dan, pardaniki 10—20 mkm dan, aluminium qoplamaniki 80 mkm dan kam emas) birgalikda rulon holida o'rab tayyorlanadi. Metall-qog'oz va metall-pardali kondensatorlar qoplamalari dielektrikdan qilingan tasma sirtiga yupqa metall qatlam (mikrometrning yuzdan bir ulushlarida) qoplash yo'li bilan tayyorlanadi.

Elektrolitik kondensatorlar ikkita qoplama (oksidlangan va oksidlanmagan) tasmalari orasiga elektrolit shimdirilgan qog'oz

yoki xom surp tasmasini kiritib, ularni rulon ko‘rinishida o‘rab tayyorlanadi. Mikrometrning yuzdan bir ulushi qalinligidagi aluminiy ($\epsilon=10$) yoki tantal ($\epsilon=25$) ning oksidlangan pardasi dielektrik rolini bajaradi.

Dielektrikning kichik qalinlikda bo‘lishi elektrolitik kondensatorlar yuqori solishtirma sig‘imda bo‘lishligini ta‘minlaydi.

Ko‘p plastinkali konstruksiya o‘zgaruvchan sig‘imli havo kondensatorlariga xosdir (7.5-rasm). Korpus 4, stator va rotor seksiyalari, o‘q va statorni osish sistemalari, o‘q 2 va tok ajratgich 6 bunday kondensatorlarning asosiy elementi hisoblanadi. Stator seksiyasi plastinalar 5 dan, rotor seksiyasi esa plastinalar 10 va 11 dan iborat. Ular turli yo‘llar bilan (chokni bostirish, kavsharlash, chetlarini qayirish, o‘tkazish usuli) shvellarlarga va o‘qqa o‘rnatilgan bo‘ladi. Rotor, odatda, korpusga (yerga ulangan) stator esa, undan ajratilgan bo‘ladi.



7.5-rasm. O‘zgaruvchan sig‘imli ko‘p plastinkali havo kondensatorlari:

- 1—rotor tarog‘i; 2—o‘q; 3—zoldirli podshipnik; 4—korpus;
5—stator plastinkasi; 6—tok olgich; 7—mahkamlash vali;
8—turumostligi; 9—mahkamlash plankasi; 10, 11—rotorning qirqilgan va qirqilmagan plastinkasi.

O'qni aylantirganda, rotor va stator plastinalarining o'zaro holati 0 dan 180° gacha bo'lgan oraliqda o'zgaradi, natijada ular to'siladi va kondensatorning sig'imi o'zgaradi. Sig'imning o'zgarish qonuni aylanish burchagiga qarab, ko'pincha rotor plastinalarining shakli, ba'zida esa, stator plastinalarining shakli bilan belgilanadi. Turumostligi 8 o'qning ravon aylanishini sozlash uchun xizmat qiladi. Rotorning chekkadagi plastinalari 10 qirqilgan bo'ladi. Plastina sektorining bir qismini qayirib yoki ichiga bukib sig'imni berilgan kichik bir aylanish burchagi uchun kondensator sig'imining o'zgarish qonuniga muvofiq talab etiladigan qiymatga to'g'rilanadi.

7.2. Asosiy parametrlar

Barcha turdagi kondensatorlarning asosiy parametrlari — nominal sig'im, aniqlik sinfi, sig'imning temperatura koeffitsiyenti, nominal ishchi kuchlanish, izolatsiya qarshiligi, chastota xarakteristikalar, o'zgaruvchan va yarimo'zgaruvchan kondensatorlar uchun esa, bundan tashqari sig'imning aylanish burchagiga ko'ra o'zgarish qonuni va uning diapazonidan iborat.

Kondensatorning sig'imi (F) umumiy holda $C = Q \cdot U$ ifodadan aniqlanadi.

Bu yerda, Q — qoplamalarda yig'ilgan elektr zaryadi (Kl);
 U — qoplamalardagi kuchlanish (V).

Yassi elektrodli kondensatorlar sig'imi (pF) $S = 0,0884 \frac{\varepsilon S}{d}$,

bu yerda, ε — dielektrikning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi;

S — qoplamalar yuzasi (sm²);

d — dielektrikning qalinligi (sm).

Ko'p plastinkali, paketsimon va quyma seksiyalarga bo'lingan kondensatorlar sig'imi (pF)

$$C = 0,241 \cdot \frac{\varepsilon l}{\lg \frac{D_2}{D_1}},$$

bu yerda, l — qoplamalarning silindrsimon yasovchisi bo'yicha uzunligi, sm; D_1 va D_2 — naychaning tashqi va ichki diametri (sm).

Naychaning qalinligi $\Delta = D_1 - D_2$ bo'lsa, u holda,

$$C = 0,241 \cdot \frac{\varepsilon l}{\lg \left(1 - \frac{\Delta}{D_1} \right)}.$$

Rulon ko'rinishidagi kondensatorlar sig'imi (pF)

$$C = 0,1768 \cdot \frac{\varepsilon b l}{d},$$

bu yerda, b va l — tasmaga surtilgan qoplamaning eni va uzunligi (sm).

Hajmiy g'ovak anodli kondensatorlarning sig'imini yassi elektrodli kondensatorlar sig'imi kabi hisoblash mumkin. Bunda qoplama yuzasi S deb yassi silindrsimon sirti yuzasidan 40—50 marta katta bo'lgan g'ovak anodning to'la samarali maydoni tushuniladi, dielektrikning qalinligi d uchun esa, oksidlangan yupqa tantal pardasining qalinligi olinadi. Kondensator sifatining muhim xarakteristikalaridan biri solishtirma sig'im (kondensatorning hajmi V ga nisbatan olingan sig'im (pF/sm³))

$$C_{cons} = \frac{c}{v}$$

hisoblanadi.

Kichik o'lchamli yoki jajji kondensatorlar yuqori solishtirma sig'imga ega bo'lsalar-da, ularning nominal ish kuchlanishlari,

odatda, nisbatan past bo'ladi. Qog'ozli va elektrolitik kondensatorlarning solishtirma sig'implari eng yuqori bo'lib, sig'implarining dielektrik qalinligini kamaytirish (qog'ozlilariniki 5 mkm gacha, elektrolitiklariniki esa mkm ning yuzdan bir bo'laklarigacha) va o'rashda qoplama yuzasini kattalashtirib, yanada oshirish mumkin. Kondensatorlar ko'pchilik guruhining asosiy aniqlik darajasi uchun nominal sig'implar qatori mavjud: *I* sinf ($\pm 5\%$) — E24 qatori; *II* sinf ($\pm 10\%$) — E12 qatori; *III* sinf ($\pm 20\%$) — E6 qatori (harfdan keyingi raqam sig'im qiymatlari gradatsiyasi (zichligi) sonini ko'rsatadi. Bu qiymatlar 10^n ga ko'paytirilishi mumkin, bu yerda n — butun musbat yoki manfiy son).

Elektrolitik kondensatorlarning nominal sig'implari 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000; 2000; 5000 qatoridan tanlanadi. To'g'ri burchakli korpuslardagi qog'oz va yupqa pardali dielektrikli kondensatorlarning nominal sig'imi (0,1 mκF va undan yuqori) quyidagi qiymatlar qatoriga ega: 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 20; 40; 60; 80; 200; 400; 600; 800; 1000.

Blokirovka qiluvchi va ajratuvchi kondensatorlarni, odatda, *I* va *II* sinflar bo'yicha konturga oidlarini — 1,0 ($\pm 2\%$), 0,5 ($\pm 1\%$) va hatto yuqori daraja ($\pm 0,5\%$) bo'yicha tanlanadi, filtrllovchilari esa —50 dan +80% gacha bo'lgan parametr tarqoqligiga ega.

Kondensatorlar sig'imining barqarorligi uning temperatura, eskirish, namlik, fon nurlanishi va boshqalar kabi barqarorlikni buzuvchi omillar ta'sirida o'zgarishi bilan belgilanadi. Temperatura eng katta ta'sir ko'rsatadi. Uning sig'imining katta bo'lmagan kondensatorlar sig'imiga ta'siri sig'imning temperatura koeffitsiyenti ($1/^\circ\text{C}$) bilan baholanadi:

$$CTK = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta t},$$

bu yerda, C_0 — kondensatorning normal temperaturadagi koeffitsiyenti (pF);

ΔC — sig'imning temperatura Δt ga o'zgargandagi chetlanishi ($^{\circ}\text{C}$).

Ko'pchilik kondensatorlar uchun temperaturaning ishchi diapazonlarida CTK ning o'zgarmasligi kuzatiladi, ya'ni sig'imning temperaturaga bog'liqligi chiziqli qonunga yaqin ekan. Bu hol, ayniqsa, yuqori chastotali keramik kondensatorlarga xosdir. Ularda CTK harf (P—plus, M—minus, MPO—nol) va CTK ning $10^{-5} \cdot 1/^{\circ}\text{C}$ ga ko'paytirilgan qiymatini ko'rsatuvchi raqamlar bilan belgilanadi. Bunda kondensatorlar ma'lum rangdagi emal bilan bo'yaladi va belgi yozuvi bo'ladi (yoki bo'lmaydi). Kulrang rangga bo'yalgan qizil belgili kondensatorlar $P60 \pm 40$ barqarorlik guruhiga ega, ya'ni ularda $\text{CTK} + (60 \pm 40) \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$; yashil rangga bo'yalgan belgisiz kondensatorlar $M1500 \pm 250$ barqarorlik guruhiga ega, ya'ni ularda $\text{CTK} = -(1500 \pm 250) \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$. To'q sariq rangga bo'yalgan kondensatorlar chiziqsiz o'zgarish qonunlariga va N harfi bilan belgilanuvchi barqarorlik guruhiga ega; bu harfdan so'ng temperaturaning eng oxirgi qiymatlaridagi sig'imining o'zgarishini (%) ko'rsatuvchi raqam yoziladi. Masalan, to'q sariq rangli, qizil nuqtali kondensatorlar (N20) barqarorlik guruhiga ega, ya'ni eng oxirgi temperaturada ularda sig'im chetlanishi $\pm 20\%$ ni tashkil etadi. Keramik kondensatorlarning barqarorlik guruhlarining to'la ro'yxatini va ularning ranglar asosida markalanishi qoidalarini ma'lumotnomalardan topish mumkin.

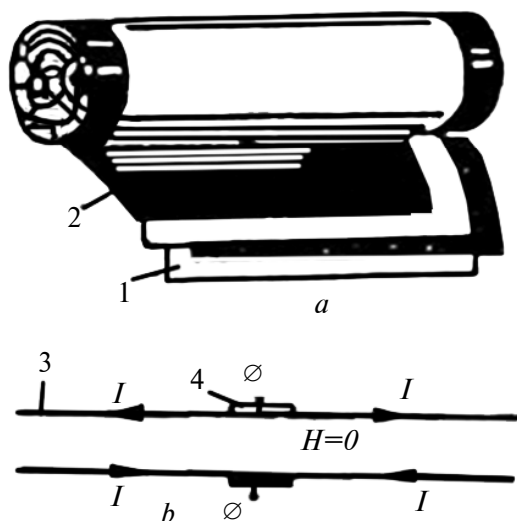
Katta sig'imli past chastotali kondensatorlar (qog'oz, yupqa parda, elektrolit va oksid-yarimo'tkazgichli) sig'imning temperaturaga qarab o'zgarish qonuni, odatda, nochiziqlidir. Shuning uchun bu kondensatorlarning temperaturaning oxirgi qiymatlaridagi sig'imining chegaraviy chetlanishlari bilan foizlarda baho-

lanuvchi temperatura barqarorligi yuqori chastotali kondensatorlarnikiga qaraganda ancha pastdir.

Kondensatorlarning elektrga chidamliligi nominal va sinov kuchlanishi, shuningdek, haddan tashqari kuchlanish bilan tavsiflanadi. Kondensator texnik hujjatlarda ko'rsatilgan sharoitda, minimal ishlash muddatida mumkin bo'lgan maksimal kuchlanish, nominal kuchlanish hisoblanadi. Sinov kuchlanishi nominaldan yuqori bo'lib, kondensatorning elektrga chidamliligini tekshirishga xizmat qiladi. Haddan tashqari kuchlanish ham nominaldan katta bo'lib, uni kondensatorning chiqish simlariga qisqa muddatga berilishi mumkin.

Kondensatorlar izolatsiyasining qarshiligi adsorbsiya toki va namlikning sirtidagi dissotsiatsiyasi oqibatida paydo bo'ladigan sizilish toklari bilan belgilanadi. Izolatsiya qarshiligi temperatura va atrof-muhitning namligiga bog'liq, shuning uchun uni va kondensatorning barqaror ishlashini oshirish uchun ular germetik qilib ishlanadi. Keramik, sludali va yupqa pardali kondensatorlarning izolatsiya qarshiligi $10^4 \div 10^5$ MOm, qog'ozli va metall-qog'ozlilarniki $10^7 \div 10^8$ MOm ni tashkil etadi. Elektrolitik kondensatorlarda sizilish toklari ancha yuqori (milliamperning ulushi) bo'ladi.

Kondensatorlarning chastotaviy xossalari parazit induktivlik va aktiv sarflanishlar bilan tavsiflanadi. Ko'pgina kondensatorlarning parazit induktivligi chiqish uchlari konstruksiyasiga, shuningdek, rulon ko'rinishidagi kondensatorlar qoplamalari orasidagi o'zaro induksiyaga bog'liq. Uchlari qanchalik yo'g'on va kalta bo'lsa, parazit induktivlik shunchalik kam bo'ladi. Qog'ozli va metall-qog'ozli kondensatorlar parazit induktivlikni kamaytirish uchun «induksiyasiz» o'rov qo'llaniladi (7.6-a rasm): qoplamalardan birining chiqarilgan o'ramlari bir tarafdan, ikkinchisidiki esa, qarama-qarshi tomondan metall bilan qoplanadi yoki chiqish uchlari simmetrik joylashtiriladi (7.6-b rasm).

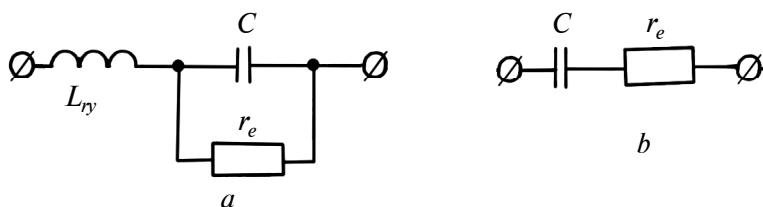


7.6-rasm. Qog'oz kondensatorlarning parazit induktivligini kamaytirish: *a*—«induksiyasiz» o'ram bilan; *b*—chiqish uchlarini simmetrik joylashtirish; 1—qog'oz; 2—folga; 3—qoplamalarni yoyish; 4—barmoqchasimon uchlarni o'rnatish.

Bunda kondensatorga kirayotgan va undan chiqayotgan tok qoplamalarda qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lib, o'z induktsiyasini munimumga keltiradi.

Aktiv sarflanishning qandayligiga qarab (dielektrikda yoki qoplamalar va chiqish uchlarida) kondensatorlarning ekvivalent sxemalari turli ko'rinishda bo'ladi.

Yuqori chastotali kondensatorlarning ekvivalent sxemalari uchun chiqish uchlarining L_R parazit induktivligi va dielektrikdagi r_R sarflar xosdir (7.7-*a* rasm). Qog'ozli va yupqa pardali past chastotali kondensatorlarning ekvivalent sxemasi 7.7-*b* rasmda ko'rsatilgandagiga o'xshashdir. Elektrolitik kondensatorlarning ma'lum chastotada qo'llanishining asosiy cheklanishi elektrolitdagi r_e sarflanishdir. Masalan, 7.7-*b* rasmda keltirilgan sxemadan ko'rinib turibdiki, elektrolit kondensatorlarning mumkin



7.7-rasm. Kondensatorlarning ekvivalent sxemalari:

a—yuqori chastotali kondensatorlar;

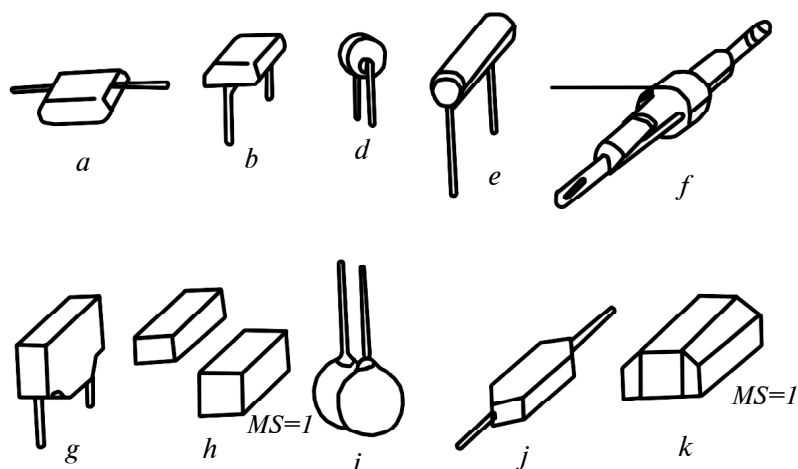
b—past chastotali kondensatorlar.

bo‘lgan qo‘llanish sohasi doimiy tok va tovush chastotalari bo‘yicha diapazon bilan cheklanadi.

7.3. O‘zgarmas sig‘imli yuqori chastotali kondensatorlar

Yuqori chastotali kondensatorlar (keramik, sludali, shisha-emal, shisha-keramika va shisha) kichik parazit induktivlikka ega va ularda dielektrikdagi sarflanishlar ancha kam, barqarorligi (10^{-5} $1/^{\circ}\text{C}$) va aniqligi ($1\pm 2\%$ gacha) yuqori bo‘lib, yetarlicha issiqbardoshlikka, kichik o‘lcham va massaga ega.

Yuqori chastotali kondensatorlar o‘ta yuqori, yuqori va oraliq chastota generatorlari hamda kuchaytirgichlari sxemalarida ishlatiladi. Yuqori chastotali kondensatorlarning eng aniqlari va barqarorlari yuqori chastota zanjirlarining konturlarida, qolganlari esa ajratuvchi, filtrlovchi va termokompensatsiyalovchi kondensatorlar sifatida ishlatiladi. Yuqori chastotali kondensatorlarning nominal sig‘imi bir birlikdan yuzlab pikofaradagachani tashkil etadi, ba‘zilariniki 1 mkF gacha borishi mumkin, shuning uchun ular yuqori va past chastotalar bo‘yicha ajratuvchi, hatto filtrlovchilar sifatida ishlatiladi (masalan, KM, KLG, KLS). Yuqori chastotali kondensatorlar ba‘zilarining tuzilishlari 7.8-*a—k* rasmlarda keltirilgan.



7.8-rasm. Yuqori chastotali kondensatorlar:

a—KLG; *b*—KM=6; *d*—KD=2D; *e*—KT=1; *f*—KTP («0» variant);
g—K10=17 (*a* va *b* variant); *h*—K10=50; *i*—K15=5;
j—KSOT; *k*—K22=4.

Keramik quyma germetiklangan va seksiyalarga bo‘lingan KLG va KLS kondensatorlari katta nominal sig‘imga va nisbatan kichik o‘lcham $4 \times 5 \times (4 \div 10)$ mm ga ega. Termobarqaror keramikadan ishlanuvchi kondensatorlar, odatda, kichik sig‘imga va yuqori aniqlikka ($\pm 2\%$; $+5\%$), segnetokeramikadan tayyorlanganlari esa, barqarorligi va aniqligi past bo‘lsa-da (-20% dan $+80\%$ gacha), eng katta sig‘imga ega bo‘ladi.

Keramik, kichik o‘lchamli paketsimon KM-6 (yaxlit) kondensatorlari paketga presslangan plastinkalar qalinligining kichikligi (0,2 mm) yoki dielektrik doimiysi yuqori bo‘lgan keramika (tikoid-150, segnetto keramika) qo‘llanishi sababli yuqori solishtirma sig‘imga ega.

Disksimon keramik KDU va KDO kondensatorlari apparaturaning yuqori chastotali zanjirida kontur, ajratuvchi va filtrlovchi (tayanch) kondensatorlar sifatida ishlatiladi. Disk (diametri 8,5—16,5 mm, qalinligi 2—5 mm) qoplamalariga parallel

yoki tik qilib kavsharlangan qisqa, yo'g'on, tasmasimon chiqish uchlari bo'lgan KDU kondensatorlari kichik xususiy induktivlikka ega va ular 500 MHz gacha bo'lgan chastotalarda qo'llanilishi mumkin. KDO (filtrlovchi) kondensatorlar dielektrik disk o'rnatilgan, rezba vtulkali metall gardishga joylashtirilgan bo'ladi. Musbat uchi tasmasimon bargcha ko'rinishida bo'lib, manfiy uchi esa, rezba vtulkadan iborat. Shu vtulka yordamida kondensator metall asosga burab o'rnatiladi. KD-2E (disksimon yuqori ishonchli) kondensatorlaridan konturlarda foydalaniladi. Ularning diametri 6—10 mm, qalinligi 7 mm ga yaqin.

Keramik, naychasimon KT, KT-1E va KT-2E kondensatorlari yuqori aniqlik, barqarorlik va ishonchlilikka ega bo'lib, ko'pincha konturlarda ishlatiladi, o'lchami $(3,5 \div 7) \times (10 \div 50)$ mm va chiqish uchlari — radial, egiluvchan simga ega. KT-1E va KT-2E (ishonchliligi yuqori) kondensatorlari tuzilishiga ko'ra OMLT rezistorlariga o'xshaydi (naychalarga, aksincha, chiqish simlari bo'lgan qalpoqchalar kiydirilgan).

Keramik naychasimon o'tish (KTP) va tayanch (KO) kondensatorlari 750 V gacha bo'lgan kuchlanishda filtrlovchi sifatida ishlatiladi, apparatura shassisiga metall rezbali gardish yordamida burab o'rnatiladi. Keramik yuqori voltli impulsli kondensatorlar (KVI) 5 dan 15 kV gacha bo'lgan kuchlanish zanjirlarida ishlatiladi, odatda, silindr shaklida bo'lganda egiluvchan aksial chiqish simlariga ega, qisqartirilgan yassi silindr ko'rinishidagi kondensatorlarda esa, yon tomonlarida presslangan rezbali vtulkalar bo'ladi. Bu kondensatorlar televizion qabul qilgichlarning yuqori voltli to'g'rilagichlarida qo'llaniladi.

Keramik jajji K10 kondensatorlaridan mikrosxemalar va mikroyig'ilmalarning komponentlari sifatida foydalaniladi.

Sludali presslangan KSOT va K21U-3E kondensatorlari turlicha bo'lib, o'lchamlari, massalari, chiqish uchlari (simli,

tasmali, rezbali) bilan farq qiladi va yuqori chastota zanjirlarida konturga oid va ajratuvchi sifatida ishlatiladi. Bu kondensatorlar barqarorligiga ko'ra to'rt guruhga bo'linadi, korpusda A, B, D va E harflari bilan belgilanadi. E guruhdagi kondensatorlar (metall qoplamali) eng barqaroridir, chunki ularning STK si, asosan, folganing emas, balki dielektrik (sluda) ning KTRsi bilan belgilanadi.

Kondensatorlarga sterezin shimdiriladi va termoreaktiv plastmassa bilan presslanadi.

Shisha kondensatorlar (K21-7) yuqori chastota, shuningdek, impuls qurilmalarida ishlashga mo'ljallangan bo'lib, tropik sharoitga moslab ishlab chiqariladi va bosma platalarga o'rnatiladi.

Shisha-keramika K22-4 kondensatorlari germetiklangan mikrosxemalarda ishlatiladi.

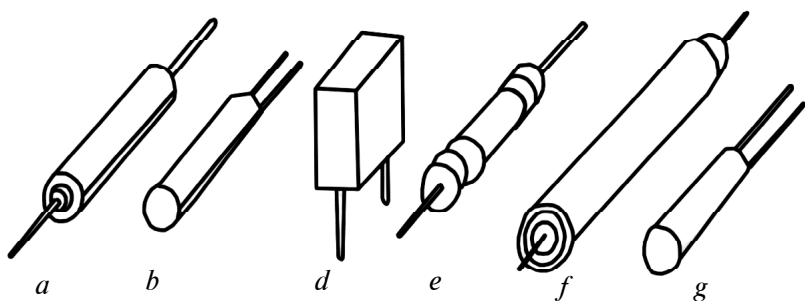
7.4. O'zgarmas sig'imli past chastotali kondensatorlar

Past chastotali o'zgarmas, pulslanuvchi va o'zgaruvchan tok zanjirlarida filtrlovchi, blokirovka qiluvchi va ajratuvchi kondensatorlar sifatida katta nominal sig'imli kondensatorlar ishlatiladi. Qog'ozli, metall-qog'ozli, yupqa-pardali va, ayniqsa, elektroliitik, shuningdek, oksid-yarimo'tkazgichli kondensatorlar shunday kondensatorlar hisoblanadi.

Qog'ozli, metall-qog'ozli va yupqa pardali kondensatorlar, ko'pincha, ajratuvchi va blokirovka qiluvchi sifatida, kichik sig'imli yupqa pardalilari konturlarida, katta sig'imli qog'ozlilari esa past chastotali filtrlarda ishlatiladi.

Qog'ozli, metall-qog'ozli va yupqa pardali kondensatorlarning ba'zilarining tuzilishlari 7.9-a, g, rasmda keltirilgan.

Qog'ozli kondensatorlar dielektrikning qalinligi kichik bo'lganligidan (5 mkm gacha) yuqori solishtirma sig'imga ega,



7.9-rasm. Qog'ozli, metall-qog'ozli va yupqa pardali kondensatorlar:
a—K24R-5; *b*—K71-5; *d*—K71-7; *e*—K73-16;
f—K75-24; *g*—K77-26.

yetarlicha temperaturaga bardoshli va arzon narxda ishlab chiqariladi.

Metall-qog'ozli kondensatorlar yana ham yuqori solishtirma sig'imga ega, chunki ular juda yupqa (1 mkm) aksial chiqish uchlariga ega va bir tarafi yassilangan. Korpus diametri 5÷13 mm, uzunligi 14÷36 mm.

K72-9 kondensatorlar (ftoroplastli) termobardosh, zarbga chidamli. Ular aksial chiqish uchlari bo'lgan silindrik korpusda ishlab chiqariladi.

Ftoroplastli kondensatorlar ichida issiqbardosh FT (+200°C gacha) kondensatorini ko'rsatib o'tish kerak. Ular nominal sig'imi va ish kuchlanishiga qarab uch xil korpusga ega. Biroq o'lchamlarining ancha kattaligi sababli ular mikroelektron apparaturalar uchun yaroqsizdir. 200 dan 500 V gacha bo'lgan kuchlanishni o'zgarmas tok zanjirida dozimetrik kondensator sifatida qo'llaniladigan K72-1, K72-4, K72-8 va FB-1 ftoroplast kondensatorlari alohida guruhni tashkil etadi. Ularning sig'imi 500 pF dan oshmaydi, massasi esa 7,5 g.

To'g'ri burchak shaklidagi K73P-3 kondensatorlari (polietilentereftalatli) diametri 6÷22 mm va uzunligi 18÷48 mm bo'lib, aksial chiqish uchlariga ega: ikki yon tomoni yassilangan.

Silindrsimon shakldagi K73-22 kondensatorlari (o'tishga oid, kichik o'lchamli, polietilentereftalatli) ning diametri $6\div 9$ mm va uzunligi $18\div 20$ mm, bir tomonida o'ziga xos ko'rinishdagi izolator — kallakka ega. Shu kallak orqali asosiy chiqish uchi o'tadi, ikkinchi uchi esa qarama-qarshi tomonda bo'lib, korpusga ulangan.

K73-18 kondensatorlari (o'tishga oid, zichlangan, polietilen-tereftalatli) tuzilishiga ko'ra K73-22 larga o'xshash, 30 V kuchlanishda 0,15 dan 1000 MHz gacha bo'lgan diapazonda radioxalqitlarni yo'qotishga mo'ljallangan, nominal sig'imi 0,27 mkF, massasi 5,5 g dan ortiq emas.

K75 guruhidagi (kombinatsiyalangan) kondensatorlar yuqori ish kuchlanishi (50 kV gacha), katta nominal sig'imi (10 mkF gacha) va katta massasi (6 kg gacha) bilan xarakterlanadi. Bularning ichida K75-24 («a» varianti) kondensatorlari massa va o'lchamlariga ko'ra eng kichiklari hisoblanadi: diametri $8\div 24$ mm, korpus uzunligi $36\div 52$ mm, massasi $7,5\div 70$ g bo'lib, nominal sig'imi 2,2 mkF dan katta emas.

K76-5 kondensatorlari (lok pardali germetik) dielektrikning qalinligi 3 mkm bo'lib, K73-22 kondensatorlarinikiga o'xshash shaklga ega.

K77-1 kondensatorlari (yarimkarbonatli) juda yuqori so-lishtirma va issiqbardoshlikka ega.

K77-2 kondensatorlari (yarimkarbonatli, doirasimon) mas-sasi 2 dan 10 g gacha bo'lib, ikki xil aksial chiqish uchli va bir tomonda parallel chiqish uchlari bo'lgan holda (ikkala holda ham yon tomonlari yassilangan) bo'ladi.

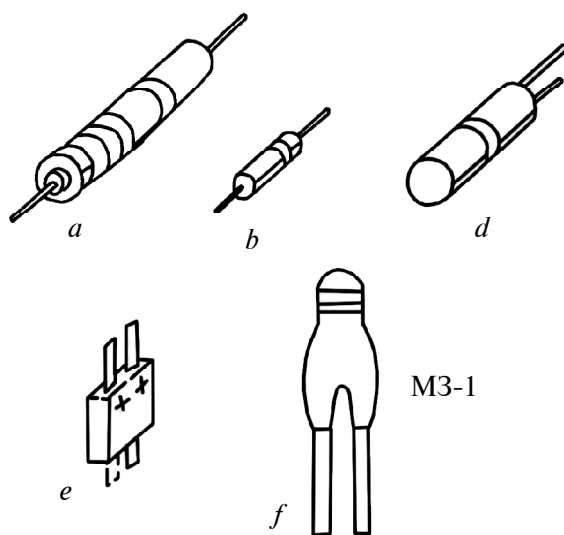
Pardali kondensatorlarda sig'imning temperatura koeffi-tsiyenti $+1500 \cdot 10^{-6}$ $1/^{\circ}\text{C}$ dan oshmaydi.

Elektrolitik va yarimo'tkazgichli kondensatorlar katta solish-tirma sig'im va energiyaga ega. Ularning kamchiligi paramet-ralarining barqaror emasligi, sig'imining past temperaturalarga

bog'liqligi, chastotalar diapazoni cheklanganligi (o'zgarmas va pulslanuvchi past chastotali toklar), ba'zi bir turlarining qutbliligi (kondensatorning faqat ma'lum bir kuchlanish fazasida ishlay olishi) dan iborat. Shuning uchun ular filtrlovchi, ba'zan blokirovka qiluvchi sifatida ishlatiladi va dielektrikning materialiga qarab elektrolitik aluminiyli, tantalli, niobiyli va oksid-yarimo'tkazgichli bo'lishi mumkin. Elektrolitik kondensatorlarda elektrolitlar sifatida kislota va ishqorlarning konsentratsiyalangan aralashmalari ishlatiladi. Oksid-yarimo'tkazgichli kondensatorlarda elektrolit o'rniga qattiq holdagi yarimo'tkazgich — marganes oksidi MnO_2 ishlatiladi.

Elektrolitik va oksid-yarimo'tkazgichli kondensatorlarning asosiy parametrlari 7.1-jadvalda, ularning ba'zilarining tuzilishi esa, 7.10-*a—f* rasmlarda keltirilgan.

K50-15 (elektrolitik aluminiyli) kondensatorlar o'ziga xos uch (qutblilari uchun) yoki besh (qutblimaslari uchun) o'ramli



7.10-rasm. Elektrolitik va oksid-yarimo'tkazgichli kondensatorlar:
a—K50-15; *b*—K52-1V; *d*—K53-6A; *e*—K53-28; *f*—K53-30.

choʻzilgan silindrsimon shaklda boʻlib, yuqori ishonchlilikka, mexanik yuklanishga bardoshlilikka, issiqbardoshlikka, uzoq muddat ishlash xususiyatiga va elektr xarakteristikalarining barqarorligiga ega. Korpusning diametri 9 va 12 mm, uzunligi 28, 35, 60, 70 mm. Ular normal va tropik iqlim sharoitiga moslab ishlab chiqariladi.

K50-29 kondensatorlari (elektrolitik aluminiyli) nominal sigʻimlar va ishchi kuchlanishning keng diapazoniga ega, uni qutbli, silindrsimon shaklda, aksial chiqish uchili, ikki yon tomoniga kompaund qoʻyilgan boʻladi. Korpusining diametri $6\div 21$ mm, uzunligi $21,5\div 50$ mm.

K50-31 kondensatorlari ham shunday shaklda (diametri 6 dan 3,5 mm gacha, uzunligi 21,5 dan 33 mm gacha), lekin nisbatan kichik sigʻimli boʻladi.

K52-1B kondensatorlari (tantalli, hajmiy gʻovak) diametri $3\div 7,5$ mm va uzunligi $11\div 22,5$ mm boʻlgan kumush silindrsimon korpusda boʻlib, normal va tropik iqlim sharoitiga moslab ishlab chiqariladi. Tantal oksidining kukunidan qilingan hajmiy gʻovak anodning qoʻllanilishi uning suyuq elektrolitga (xlorid va azot kislotalar aralashmasi) tegib turish sirtini oshiradi. Shuning uchun katta nominal sigʻimli bunday kondensatorlar unchalik katta boʻlmagan massa va oʻlchamga ega boʻladi.

K52-9 va K52-10 (tantalli, hajmiy gʻovak) kondensatorlar silindrik shaklda, diametrlari, mos ravishda, $4,8\div 7,5$ mm va $3\div 7,5$ mm li va uzunligi $18\div 22$ mm va $11\div 24$ mm boʻladi. K52-9 (germetik) kondensatorlari issiqbardoshroq. K52-10 (zichlash-tirilgan korpuslarda) esa, oʻlchami va massasiga koʻra kichikroq, lekin past nominal ishchi kuchlanishga ega.

Oksid oʻtkazgichli nisbiy va tantalli kondensatorlar elektrolitik kondensatorlarga nisbatan katta boʻlmagan hajm va massaga ega, chunki ularda elektrolit oʻrnida yarimoʻtkazgich oksidning yupqa pardasi ishlatiladi, shunga koʻra ularning nominal kuchlanishi ham pasayadi.

K53-4 kondensatorlari (niobiyli) da marganes oksidining yarimo'tkazgich pardasi o'lchamni kichraytirishga (diametri 7,2 mm, uzunligi 7,5÷16 mm) imkon beradi.

K53-6A (tantalli) kondensatorlari diametri 10,5 mm va uzunligi 18,2 mm bo'lgan silindrsimon korpusga ega bo'lib, ularning sig'imi va ish kuchlanishi kichik, issiqbardoshligi yuqori, massasi esa unchalik katta emas.

K53-15, K53-16 va K53-17 kondensatorlari gibrid integral sxemalarning osma korpussiz komponentlari sifatida ishlatiladi, nisbatan katta bo'lmagan nominal sig'imga va ishchi kuchlanishga ega, lekin mexanik yuklanishlarga ancha bardoshli va massasi kichik, chiqish simi yo'qligi sababli ularni bevosita mikroyig'ilmaning kontakt yuzachasiga qalaylash yoki payvandlash mumkin.

K53-22 kondensatorlari to'g'ri burchakli korpusining o'lchamlari (2÷4)x(3,1)x6 mm bo'lib, bitta (musbat) aksial chiqish uchiga ega.

K53-25 kondensatorlari (chiqish simisiz, himoyalanmagan) ham to'g'ri burchakli korpusda (o'lchami (4,5÷17)x(4÷16)x1 mm) bo'lib, yuqori qismida mikroyig'ilmaning kontakt yuzasiga ulash uchun qalaylangan kontakti bor.

Diametri (3,2÷10) mm va uzunligi (7,5÷25) mm bo'lgan silindrsimon shakldagi K53-27 kondensatorlari ikkita aksial chiqish uchiga ega.

(7,1÷17)x(10÷20)x2,5 mm o'lchamli to'g'ri burchak shaklidagi K53-28 kondensatorlari to'rtta aksial chiqish uchiga (har birining yonida 2 tadan) ega bo'lib, termobardoshli va bosma platalarga o'rnatishga mo'ljallangan.

O'ziga xos kolbasimon shakldagi K53-30 kondensatorlari folgadan ishlangan shokildasimon chiqish uchlariga ega bo'lib, balandligi 4÷9,5 mm va 4÷4,5 mm dir.

7.5. O'zgaruvchan sig'imli havo kondensatorlari

Radio qabul qilgich yoki radiouzatgich ish chastotasini qayta o'zgartirish uchun tebranish konturining induktivligi yoki sig'imi o'zgartiriladi. Yer yuzasidagi qurilmalarda, ko'pincha, konturning sig'imi o'zgartiriladi. Buning uchun o'zgaruvchan havo kondensatorlaridan foydalaniladi. Rotor plastinalarining statornikiga nisbatan burilish burchagiga qarab ular orasidagi sig'imning amaldagi qiymati o'zgaradi. Bunda o'zgaradigan kattalik plastina maydoni hisoblanadi, tirqish va dielektrik doimiysi esa o'zgarmay qoladi.

Keng eshittirish chastotalar diapazonida to'g'ri chastotali, to'g'ri sig'imli, to'g'ri to'liqinli, hajmiy logarifmik va chastota logarifmik kondensatorlar ishlatiladi. Ularda rotorning burilish burchagiga mutanosib holda, mos ravishda, chastota, sig'im, to'liqin uzunligi yoki logarifmik qonunga ko'ra sig'im va chastota o'zgaradi.

O'zgaruvchan havo kondensatorlari tuzilishining asosiy xarakteristikasi plastinalar orasidagi tirqishdir. U kondensatorlarning elektrga nisbatan chidamliligi, barqarorligi, o'lchamlarga nisbatan qo'yiladigan shartlar va texnologiya imkoniyatlariga qarab tanlanadi. Uzatuvchi qurilmalar uchun kondensatorlardagi millimetrning o'ndan bir ulushiga qadar va undan kichik bo'lishi kerak. Bunda impulsda elektr chidamlilik va generatsiya qilinadigan chastotalarning yuqori barqarorligi ta'minlanadi, biroq o'lchamlar keskin kattalashib ketadi. Generatsiya chastotasi qanchalik yuqori bo'lsa, plastina shuncha kam kerak bo'ladi. Shuning uchun o'zgaruvchan sig'imli kondensatorlar KB (QT) va YKB (UQT) uzatgichlarida nisbatan ma'qul o'lchamlarga ega.

Radio qabul qilish qurilmalaridagi o'zgaruvchan kondensatorlar uchun tirqish, asosan, kichik o'lchamlar olish shartlari va barqarorlikka bo'lgan talab asosida tanlanadi. Talab etiladigan barqarorlik qanchalik yuqori bo'lsa, tirqish va kondensatorning o'lchami shunchalik katta bo'ladi. Chastotaning avtomatik moslagichi bo'lgan qabul qilish qurilmalarida kichik o'lchamli kondensatorlar ishlatish muhimdir. Ikkinchi va uchinchi sinf qabul qilgichlariga ham shunday talab qo'yiladi. Biroq texnologiyaning imkoniyatlari mumkin bo'lgan minimal tirqishni 0,15—0,2 mm qilib cheklaydi. Odatda, tirqish 0,5—1 mm ga teng qilib olinadi.

7.6. Yarimo'zgaruvchan kondensatorlar.

Maxsus kondensatorlar

Yarimo'zgaruvchan kondensatorlar radioqurilma chastotasini ishlatish jarayonida moslash yoki ishlab chiqarishda sozlashga mo'ljallangan. Bu kondensatorlarning sig'imi qayd etilgan holatda o'zgarmasligi kerak.

Yarimo'zgaruvchan kondensatorlarning asosiy parametrlari 7.1-jadvalda ulardan ba'zilarining tuzilishi esa, 7.11-*a, b* rasmda keltirilgan.

7.1-jadval

Yarimo'zgaruvchan kondensatorlarning parametrlari

Turi	Sig'im o'zgarish diapazoni, pF		STQ 104 1/°C	Nominal ishchi kuch- lanishi, V
	Minimal	Maksimal		
KPVM	1—1,8	4—17	+100	350; 650
KT-2	1,5—5	3—50	+300	160
KT4-27	0,4—2	4—20	—75	25; 50
KPK-MP	4—15	8—30	—(200÷800)	350

Turi	Yo'l qo'yiladigan tezlanish			Ishchi temperatura intervali, °C	Minimal atmosfera bosimi, Pa	Mas- sasi, g
	tebranishda	zarbada	chiziqli tezlanishda			
KPVM	30	35	50	—60÷+125	5	8—15
KT-2	7,5	35	50	—60÷+125	666	3—7,5
KT4-27	40	150	500	—60÷+85	$1,33 \cdot 10^{-4}$	0,07; 0,2
KPK-PM	4	25	16	—60÷+85	5	3

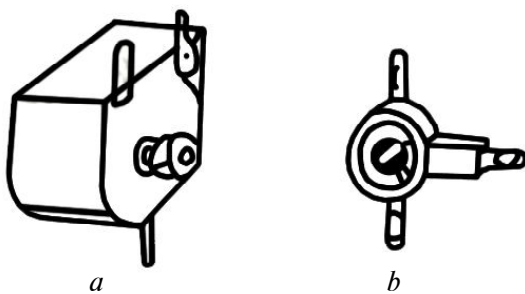
Yarimo'zgaruvchan kondensatorlar havoli va keramikali bo'ladi.

Yarimo'zgaruvchan havoli kondensatorlar tuzilishi jiha-
tidan taxminan havoli kondensatorlarga o'xshash, biroq ular
plastinalarining tirqishlari kichik, soni esa kam bo'ladi.

KPVM (kichik o'lchamli) kondensatorlar korpussizdir.
Stator plastmassa plataga o'rnatilgan. Rotorning o'rnini qayd
etish qotirib qo'yish gaykasi yordamida bajariladi. KPVM
kondensatorlari uch xil variantda ishlab chiqariladi: 1. KPVM
(to'g'ri sig'imli, odatdagicha, burilish burchagi 180°); 2. KPVM
(to'g'ri sig'imli, «kapalak» turi, burilish burchagi 90° li); 3. KPVM
(«differensial»).

KT-2 kondensatorlari (kichik o'lchamli, germetik, korpus
ichiga joylashgan) sig'im o'zgarishining eng katta diapazoniga ega.

YCH va O'YCH diapazonlarida, 25 va 50V kuchlanishda
ishlashga mo'ljallangan KTU-27 kondensatorlari kichik o'l-
chamli, tebranish va zarbaga bardoshli bo'lib, yuqori «baland-



7.11-rasm. Yarimoʻzgaruvchan (moslovchi) kondensatorlar:

a—KT; *b*—KPK-MP.

lik»ka va barqarorlikka ega. Massasi 0,6 g dan katta boʻlmagan KT4-25 kondensatorlari ham xuddi shunday xossalarga ega.

Keramik, yarimoʻzgaruvchan sozlovchi KPK-MP kondensatorlari (kichik oʻlchamli, bosma montaj uchun) doirasimon keramik asos — statorga ega. Uncha katta boʻlmagan dielektrik singdiruvchanligi boʻlgan bu statorning ustiga dielektrik singdiruvchanligi katta boʻlgan harakatlanuvchi keramik yupqa rotor mahkamlangan. Kondensator qoplamalari stator va rotorda halqasimon sektor koʻrinishida ishlangan. Rotorni otvyortka bilan aylantirib, qoplama sektorlarning toʻsilish yuzasi oʻzgartiriladi. Sozlovchi keramik KT4-20 kondensatorlari yanada kichik oʻlchamlarga ega.

Maxsus kondensatorlar — varikondlar va varikaplardir.

Varikondlar sigʻimning temperaturaga keskin noxiziq bogʻlanishiga ega boʻlgan segnet keramik kondensatorlardan iborat. Ular elektr zanjirlari, masalan, chastotakuchaytirgichlarning parametrlarini boshqarishda ishlatiladi.

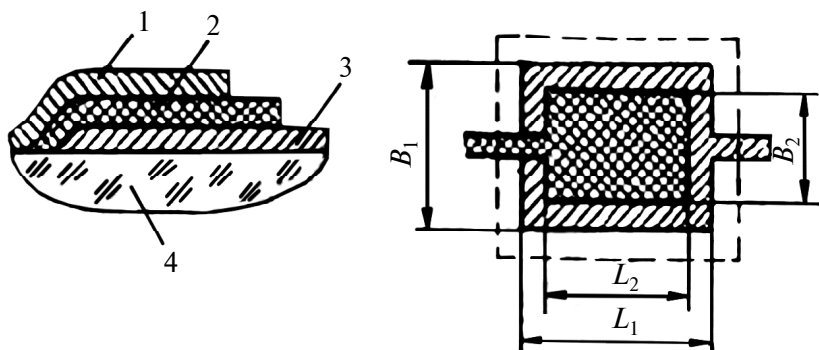
Varikaplarda oʻzgaruvchan modullovchi kuchlanish berilganda va oʻzgarmas berkituvchi kuchlanishda (taxminan 4 V) $r-n$ oʻtish bazasi kichik sigʻimli (bir necha oʻn pikofaradali) kondensatorlarga oʻxshaydi. Uning sigʻimi modullovchi kuchla-

nish amplitudasi voltning o'ndan bir ulushlaricha bo'lganida bir necha pikofaradaga o'zgarishi mumkin. Varikaplar ultraqisqa to'liq diapazonida chastotali modulatsiyalash uchun, shuningdek, avtosozlash uchun ishlatiladi.

7.7. Integral mikrosxemalar kondensatorlari

Yarimo'tkazgichli IS monokristalida kondensatorlar hosil qilish uchun $r-n$ o'tishlar sig'imidan foydalaniladi. Ammo bunday kondensatorlar sig'implarning cheklangan diapazoniga (20—200 pF), past temperatura barqarorligi (10^{-3} $1/^{\circ}\text{C}$) va parametrlarning katta texnologik tarqoqligiga (± 30 %) ega.

Gibrid IS larning yupqa pardali kondensatori (7.12-rasm) bundan yuqoriroq xossalarga ega: sig'implari diapazoni 1 dan 10000 pF gacha bo'lgan oraliqda yotadi, temperatura barqarorligi $\pm 2,10^{-4}$ $1/^{\circ}\text{C}$ ni tashkil etadi, parametrlarning texnologik tarqoqligi 10 % ga teng. Bunday kondensatorlar dielektrik ko'rinishdagi uch qatlamli strukturadan va unga purkash yo'li kichik omli metall qoplangan ikkita yupqa pardali qoplamadan iborat.



7.12-rasm. Yupqa pardali kondensatorlar:

1, 3—yuqori va pastki qoplamalar; 2—dielektrik; 4—asos.

Qoplamalar sifatida ko‘pincha aluminiydan foydalaniladi. Chunki boshqa metallar (masalan, oltin)ga nisbatan uning atomlari sustroq harakatlanadi. Bu hol metallning yupqa dielektrik qatlami orqali diffuziyasi yuz beruvchi qoplamalar orasidagi qisqa tutashuvlar sonini kamaytiradi. Bundan tashqari, aluminiy nisbatan past bug‘lanish temperaturasi (1500°C), kichik solishtirma qarshilikka ($\rho = 0,06 \text{ Om}$) ega, texnologiyabop va arzondir.

Yupqa pardali kondensatorning dielektrigi sifatida olinadigan materialning elektrga nisbatan chidamliligi yuqori va sarfi kam bo‘lishi kerak. Bundan tashqari u yuqori adgeziya va iloji boricha katta dielektrik singdiruvchanlikka ega bo‘lishi lozim.

Turli materiallar asosida hosil qilinadigan yupqa pardali kondensatorlarning asosiy parametrlari 7.2-jadvalda keltirilgan.

Yupqa pardali kondensatorlar borgan sari kamroq qo‘llanilmoqda, chunki mikroyig‘ilmalarga o‘rnatilganda yupqa pardali kondensatorlar (ayniqsa, katta sig‘imlilari)ga nisbatan bir xil yoki hatto kichik yuzani oladigan yaxlit keramik K10 kondensatorlari va oksid yarimo‘tkazgichli, elektrolitik K53-15, K53-16 va K53-18 kondensatorlari seriyalab chiqarildi. Sanoatda B18 va B18A kondensator yig‘ilmalari ham ishlab chiqarildi.

7.2-jadval

Yupqa pardali kondensatorlarning asosiy parametrlari

Material	Solishtirma sig‘imi C , pf/sm^2	TQS 10^{-4} $1/C$	Elektrga nisbatan chidamliligi, V/min	Ishchi kuchlanishi, V	$f = 1$ kHz dan
Kremniy monooksidi	$(5 \div 15) \cdot 10^8$	3,5	200—400	15	$(0,2 \div 2) \cdot 10^{-2}$
Germaniy monooksidi	$8 \cdot 10^3$	5	50—150	10	$(0 \div 0,5) \cdot 10^{-4}$
Xalkogenid shisha	$(10 \div 20) \cdot 10^3$	—	400	10	$(0,4 \div 2) \cdot 10^{-2}$

Nazorat savollari

1. Kondensatorlar qanday tasniflanadi va ularning qanday o'ziga xos konstruksiyalarini bilasiz?
2. Kondensatorlar qanday asosiy parametrlar bilan xarakterlanadi?
3. Yuqori chastotali keramik kondensatorlarning qaysi asosiy turlarini bilasiz?
4. Qog'ozli va yupqa pardali kondensatorlar elektrga oid xarakteristikalari, konstruksiyalari va qo'llanilish sohalariga qarab bir-biridan qanday farq qiladi?
5. Elektrolitik kondensatorlarning konstruksiyalari, asosiy turlari, vazifalari va xossalari qanday?
6. O'zgaruvchan sig'imli kondensatorlarning vazifasi va tuzilish elementlarini tushuntirib bering.
7. Yarimo'zgaruvchan va maxsus kondensatorlarning qanday turlarini bilasiz?

VIII BOB. INDUKTIVLIK G'ALAKLARI

8.1. Tasnifi va konstruksiyalari

Radiotexnik apparaturaning yuqori chastotali qismlari va zanjirlarida qo'llanilish sohasi va tuzilishi turlicha bo'lgan induktivlik g'altaklari qo'llaniladi. Qarshilik va kondensatorlardan farqli ravishda ular sanoatda keng ko'lamda ishlab chiqarilmaydi.

Qo'llanish sohasiga qarab g'altak o'lchamlari, ularning shakli, o'rash usuli, sim izolatsiyasining qalinligi, karkas material turlicha bo'lishi mumkin.

Induktivlik g'altaklari konstruksiyasi qaysi chastota diapazonida va necha quvvatli tebranma konturlarida qo'llanilishiga ham bog'liq bo'ladi. Tebranma kontur ishchi diapazoni ortgan sari, odatda, g'altak induktivlik qiymati kamayadi.

Induktivlik g'altagining asosiy elementlari bo'lib karkas, o'ram va ekran hisoblanadi.

Karkas. U o'ram uchun asos bo'lib xizmat qiladi va o'ramning mexanik mustahkamligi va bikirligini, chiqishlar va o'zakning mahkamligini hamda shassiga qulay mahkamlanishini ta'minlashi kerak. Karkas uchun material induktivlik g'altagiga qo'yilayotgan talablardan kelib chiqqan holda tanlanadi, ya'ni karkas dielektrigidagi yo'qotishlarning ruxsat etilgan qiymati va tashqi ta'sirlar (temperatura, namlik va boshqalar) natijasida karkas geometrik o'lchamlari o'zgarishi. Katta quvvatli tebranma konturlarda ishlatiladigan induktivlik g'altaklari yana elektr jihatidan ham mustahkam bo'lishi talab qilinadi.

Induktivlik g'altaklari konstruksiyasi va karkas o'lchamlari turlicha bo'lishi mumkin. Karkaslar yuqori chastotali press kukunlar, keramika, polistirol va yuqori chastotali dielektriklardan tayyorlanadi. Keramikadan yasalgan yig'ma karkaslar glazur yordamida yopishtiriladi, so'ngra kuydiriladi. Keramik karkaslar uchun radiofarfor, ultradiofarfor va steatit qo'llaniladi.

Karkasdagi kanavkalar o'ramlarni siljishiga olib keladigan mexanik ta'sirlarni kamaytirish natijasida induktivlik barqarorligini oshirishga olib keladi. Kanavkali karkaslarda o'ramlar uchun yo'qotishlarning ortishiga olib keladigan misli kumushlangan izolatsiyasiz simlar qo'llaniladi. Sim chiqishlarini mahkamlash uchun karkasda yoki tirqish, yoki montajli lepestok hosil qilinadi.

O'ram. O'rta va uzun to'lqin diapazonida ishlaydigan g'altaklar, odatda, linsentrat sim, qisqa to'lqinli g'altaklar uchun esa bir tolali emallangan simlar qo'llaniladi. Linsentrat — bu ipak bilan izolatsiyalangan, emal bilan qoplangan diametri 0,07—0,2 mm bo'lgan katta miqdordagi (7 tadan 119 tagacha) mis simlardan o'ralgan o'ram.

Ekran. Ba'zi alohida tizimlar orasidagi parazit aloqalarni va tashqi magnit maydonlar ta'sirini kamaytirish maqsadida, induktivlik g'altaklari berk metall elektr o'tkazuvchi ekranlar bilan himoyalangani.

O'zgaruvchan magnit maydoni ta'sirida ekranda uyurma toklar induksiyalanadi. Ular o'z navbatida dastlabki maydonga qarama-qarshi yo'nalgan magnit maydon hosil qiladilar. Natijada g'altak tashqi magnit maydonining ta'siri sustlashadi. Ekran materialining solishtirma elektr qarshiligi qancha kichik bo'lsa, bu maydon shuncha katta bo'ladi. Ekran ta'sirida yo'qotishlar va g'altakning xususiy sig'imi ortadi, induktivligi esa kamayadi.

Ekran tayyorlashda kichik elektr qarshilikka ega bo'lgan materiallar — mis, latun va aluminiy qo'llaniladi.

Radio qabul qilgich va uzatish qurilmalarida ko'pincha induktivligi boshqariladigan g'altaklar qo'llaniladi. Chunki ular keng diapazon polosasida tebranma konturni sozlovchi asosiy qism hisoblanadilar. Bunday g'altak o'ramlarining bir qismi katta diametrli o'zakka, qolgan qismi esa — kichik diametrli karkasga o'raladi. Kichik g'altak kattasining ichiga joylashtiriladi va o'qi katta g'altak o'qiga perpendikular joylashgan valikka mahkamlanadi, o'ram chiqishlari esa ketma-ket ulanadi. Valik buralganda g'altaklarning o'zaro ta'siri o'zgaradi va natijada induktivlik ham o'zgaradi.

8.2. Asosiy parametrlari

Yuqori chastotali g'altakning son va sifat ko'rsatkichlari bo'lib uning induktivligi, asilligi, xususiy sig'imi va induktivlikning temperatura koeffitsiyenti hisoblanadi.

G'altak induktivligi — asosan, uning o'lchamlari, shakli va o'ramlar soniga bog'liq bo'ladi. G'altak o'lchamlari qancha katta va undagi o'ramlar soni qancha ko'p bo'lsa, induktivlik shuncha katta bo'ladi. Bundan tashqari, g'altak induktivligida unga kiritilayotgan o'zak va uni ekranga joylashtirish katta rol o'ynaydi. Radiotexnik apparaturada induktivligi mikrogenridan o'nlab milligenrigacha bo'lgan yuqori chastota g'altaklari qo'llaniladi.

G'altakda sochilayotgan energiyani kondensatorlardagi kabi yo'qotishlarning tangens burchagini ($\text{tg } \delta$) orqali ifodalasa bo'ladi. Lekin, o'zgaruvchan tok zanjirlarida ishlayotgan g'altakning ish sifatini yo'qotishlarning tangens burchagi bilan emas, balki unga teskari bo'lgan kattalik — **asillik** (Q_L) bilan ifodalash qabul qilingan.

Radioappaturalarda, odatda, o'rtacha asillikka ega bo'lgan (40—200 tartibdagi) g'altaklar qo'llaniladi. Yuqori asillikka ega bo'lgan g'altaklar (300 dan yuqori) faqat maxsus holatlardagina (masalan, o'tkir rezonans xarakteristikaga ega bo'lgan kontur va filtrlarda) qo'llaniladi.

G'altak o'ramlari va qatlamlari sig'im hosil qiladi. Bu sig'imni g'altakka parallel ulangan kondensator, deb qarash mumkin. G'altakning bu *xususiy sig'imi* uning sifat ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi (asillik va barqarorlik kamayadi, tebranma konturdagi chastota diapazonini egallash koeffitsiyentini kamaytiradi, drossel sifatida ishlatilayotgan g'altak ta'sirini yomonlashtiradi). Shu sababli g'altaklar loyihalashtirilayotganda uning o'lchamlarini kichraytirishga harakat qilinadi.

G'altakning xususiy sig'imi ko'p hollarda uning o'lchamlari va o'rash usuliga bog'liq bo'ladi. Katta o'lchamlarga ega bo'lgan g'altak katta xususiy sig'imga ega bo'ladi (asosan, g'altak diametri katta ta'sir ko'rsatadi). Bir qadam oraliqda o'ralgan bir qatlamli g'altaklar (1—3 pF) va universal o'ramli ko'p qatlamli g'altaklar (5—30 pF) kichik sig'imga egadirlar. O'ramlarni alohida seksiyalarga ajratish yo'li bilan ham xususiy sig'imni kamaytirish mumkin.

Atrof-muhit temperaturasi o'zgarsa g'altak o'lchamlari ham o'zgaradi, natijada uning induktivligi ham o'zgaradi. Temperatura 1°C ga o'zgarganda induktivlikning nisbiy o'zgarishi induktivlikning temperatura koeffitsiyenti (ITK) deyiladi. ITKni kamaytirish uchun maxsus choralar ko'riladi. Bir qatlamli g'altaklarda bu maqsadda keramik materialdan tayyorlangan karkaslar qo'llaniladi va o'rash jarayoni 80—120°C li uzatma yordamida amalga oshiriladi.

Tebranma konturlarda ITK ta'sirini kamaytirish maqsadida kontur g'altagiga sig'imni manfiy temperatura koeffitsiyentiga ega bo'lgan termokompensatsiyalovchi kondensator ulanadi.

8.3. Yuqori chastota induktivlik g'altaklari

Yuqori chastota induktivlik g'altaklari chulg'am ko'rinishida ishlanadi va yuqori chastotali elektromagnit maydonni to'plashga mo'ljallanadi. Chastotalar diapazoniga qarab induktivlik g'altaklari uzun to'liqinli — UT, o'rta to'liqinli — O'T, qisqa to'liqinli — QT va ultraqisqa to'liqinli — UQT bo'ladi va shunga bog'liq holda ularning konstruksiyasi shakllari, ishlab chiqarish materiali va texnologiyasi tanlanadi.

Vazifasiga qarab kontur induktivlik g'altaklari, aloqa g'altaklari, variometrlar va yuqori chastota drossellarga bo'linadi.

Tuzilishiga ko'ra g'altaklar karkassiz yoki karkasli, o'zakli yoki o'zaksiz, ekranli yoki ekransiz, bir qatlamli yoki ko'p qatlamli, silindrsimon, yassi yoki toroidal, texnologik ishlani-shiga qarab esa kuydirilgan, o'ralgan, bosma va yupqa pardali bo'lishi mumkin.

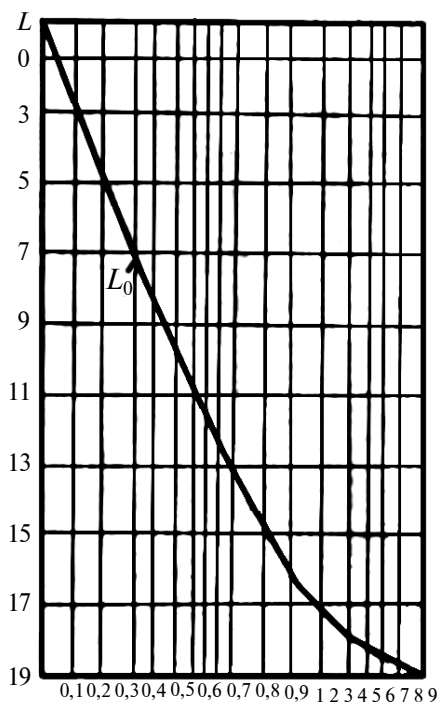
Yuqori chastotali induktivlik g'altagi nostandart buyum bo'lib, alohida hol uchun ularning konstruksiyasi berilgan elektr parametrlari bo'yicha hisoblab chiqiladi. Bu parametrlarning asosiylari nominal induktivlik, induktivlikning ruxsat etilgan chetlanishlari, asillik, temperaturaga barqarorlik va xususiy sig'imdan iborat.

G'altakning nominal induktivligi u qo'llanilayotgan to'liqinlar diapazoniga bog'liq. UQT g'altaklari uchun induktivlik mikro-genrining o'ndan, yuzdan bir ulushlariga, qisqa to'liqin va o'rtacha to'liqin g'altaklari uchun — bir va yuzlab mikro-genri, uzun to'liqin g'altaklari uchun esa — birlik genrilarni tashkil etadi. Qandaydir zanjirlarda yuqori chastota tokini kamaytirishga mo'ljallangan drossel induktivligi o'nlab mikro-genrini tashkil etadi.

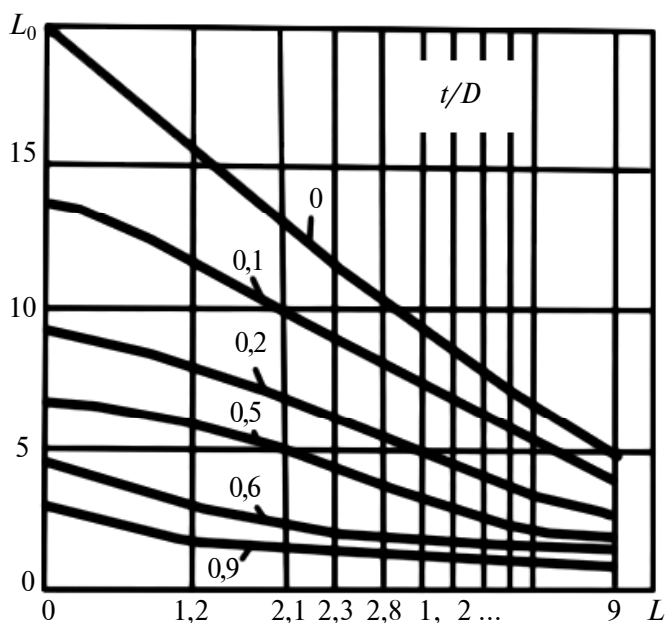
Cheksiz uzun solenoid (g'altak) yoki toroid g'altak induktivligi (mk Gn) $L = \pi^2 D^2 N^2 \cdot 10^{-3} / l$ formula orqali hisoblanadi (bu yerda, D — karkas diametri (sm); l — o'ram uzunligi (sm); N — o'ramlar soni).

Amalda g'altak o'ramining diametri va uzunligi bir-biriga yaqin bo'ladi, natijada ularning magnit maydoni to'la berk bo'lmaydi va magnit energiyaning bir qismi fazoga tarqaladi. Buni hisobga olish uchun keltirilgan formulaga sochilish koeffitsiyenti kiritiladi:

$L = k\pi^2 D^2 N^2 \cdot 10^{-3} / l = (k\pi^2 D / l) DN^2 \cdot 10^{-3} = L_0 DN^2 \cdot 10^{-3}$, bu yerda L_0 — g'altak shakli, ya'ni l/D nisbatga bog'liq bo'lgan o'lchamsiz koeffitsiyent. Bir qatlamli g'altaklar uchun L_0 koeffitsiyentning l/D ga bog'liqligi 8.1-rasmda ko'rsatilgan. 8.2-



8.1-rasm. Bir qatlamli g'altaklar uchun L_0 koeffitsiyentining l/D nisbatga bog'liqligi.



8.2-rasm. Ko'p qatlamli g'altaklar uchun L_0 koeffitsiyentining l/D va t/D larga bog'liqligi.

rasmda shunga o'xshash bog'lanish ko'p qatlamli g'altaklar uchun keltirilgan. Bundagi bog'lanish l/D nisbatning o'zgarishiga moslab berilgan, bu yerda t — chulg'amning chuqurligi (qalinligi) (sm); $D = D_0 + 2t$ — chulg'amning tashqi diametri (sm); D_0 — chulg'amning karkas diametriga teng bo'lgan ichki diametri (sm).

Induktivlik uchun ruxsat etilgan chetlanishlar g'altak qanday ishga mo'ljallanganligiga bog'liq. Masalan, kontur g'altakning induktivlik uchun ruxsat etilgan chetlanishlar $\pm(0,2\div 0,5)\%$ ni, bog'lanish g'altagi va yuqori chastota drosseliniki $\pm(10\div 15)\%$ ni tashkil etadi. Kontur g'altaklarini tayyorlashda qo'shimcha choralar ko'rmasdan turib, bunday aniqlikka erishish mumkin emas. Aytaylik, yaxlit bir qatlamli g'altak diametri 5 mm bo'lsin. Shuningdek, ma'lumki, induktivlikdagi xatolik g'altakning geo-

metrik o'lchami va o'ramlar sonining xatoliklari bilan quyidagicha bog'langan:

$$\Delta L / L = 2\Delta D / D + 2\Delta N / N - \Delta / l.$$

Birinchi yaqinlashishda $\Delta L / L \approx 2\Delta D / D$ deb hisoblab va induktivlik uchun ruxsat etilgan chetlanishlarni $\pm 0,5\%$ deb olib, $\Delta D / D = \pm 25\%$ ekanini topamiz. Bizning misolimizda diametrning absolut xatoligi $\Delta D = \pm 12,5$ mkm dan ortmasligi kerak. Bunday qo'yimni ta'minlash plastmassa karkas tayyorlashda ancha qiyin, keramik karkas tayyorlashda esa, umuman mumkin emas. Demak, kontur g'altaklar moslash elementiga ega bo'lishi zarur. G'altak parametrlarini $\pm 15\%$ tartibidagi chegarada rostlashga imkon beruvchi, g'altak ichiga kiritiladigan moslovchi o'zak shunday element hisoblanadi. O'zaklar magnit va diamagnit materiallardan turli shaklda tayyorlanadi.

Magnit o'zakli g'altak induktivligi μ_o marta kattalashadi:

$$L_{O'} = \mu_o \cdot L,$$

bu yerda, L o'zaksiz g'altak induktivligi, Gn;

$\mu_o = (0,25 \div 0,5)$; μ — o'zakning amaldagi magnit singdiruvchanligi. U o'zak materialining magnit xossalari va shakliga bog'liq. 0,25 koeffitsiyent silindrik o'zaklar uchun, 0,5 esa po'lat qoplamalilarga to'g'ri keladi.

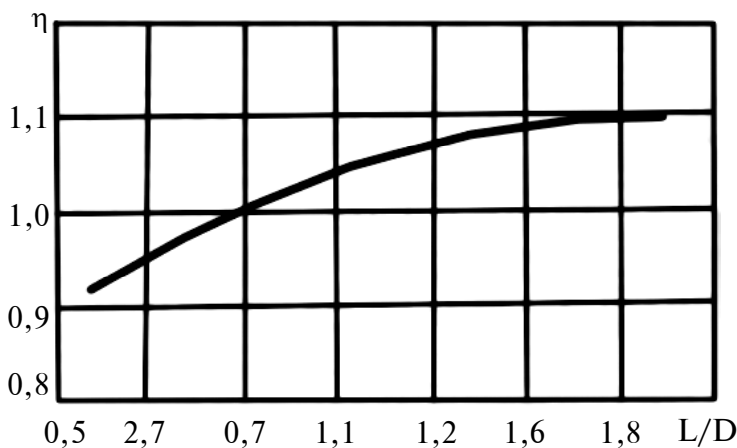
Magnit materiallar (karbonil temir, alsifer, ferritlar) dan ishlangan o'zaklarning qo'llanilishi g'altak o'ramlar sonini kamaytirishga imkon beradi.

Darhaqiqat, agar karbonil temirdan ishlangan po'lat qoplamali o'zak ($\mu = 10$) qo'llansa, u holda $\mu_o = 5$ bo'lganda, berilgan $L = 50$ mk Gn induktivlikli g'altak chulg'aming induktivligi 5 marta kam (10 mk Gn) bo'lishi mumkin. Natijada chulg'amning o'ramlar soni ancha kamaytiriladi.

Magnit o'zaklar, asosan, uzun va o'rtacha to'liqin g'altaklarida foydalaniladi. Ular moslagich vazifasini bajarish bilan birga zarur bo'lgan o'ramlar sonini ham, natijada o'lchamlari va massasini ham kamaytiradi. QT va UQT diapazonlar g'altaklarida magnit o'zaklarni qo'llash unchalik o'rinli emas, chunki ularning induktivligi va o'ramlar soni katta emas, undan tashqari chastota ortishi bilan μ kamayadi. Shuning uchun bunday g'altaklarni yasashda mis yoki aluminiy qo'llaniladi. Shunda ularning parametrlari $\pm 5\%$ chegarada rostlanadi.

Va, nihoyat, g'altak induktivligi geometriya va ekran materialiga bog'liq. Kaskadlar orasidagi parazit bog'lanishlarni bartaraf qiluvchi ekranlar g'altaklarga kiydiriluvchi, doira yoki to'g'ri burchak shaklidagi metall qalpoqchalar ko'rinishida yasaladi. Ekranlashning mohiyati quyidagilardan iborat: g'altakning magnit maydoni ekranning sirtqi qatlamida uyurma toklar paydo qiladi, ular esa, teskari yo'nalishda maydon hosil qiladi. Agar ekran qalinligi uyurma toklarning sirtqi kirish qatlami (kirish chuqurligi)dan katta bo'lsa, g'altak maydonning boshqa manbalar va qabul qilgichlarning maydonlari bilan o'zaro ta'siri bo'lmaydi. Bo'lishi mumkin bo'lgan sig'im bog'lanishlarining oldini olish uchun ekran yerga ulanadi. Ekran materialining o'tkazuvchanligi qanchalik yuqori bo'lsa, uyurma toklar shunchalik yuqori bo'ladi va ekranning ekranlash xossalari shunchalik yuqori bo'ladi. Uzun va o'rtacha to'liqlarda aluminiy ekranlar, qisqa to'liqlarda esa mis ekranlar qo'llaniladi. Odatda, 0,5—1 mm bo'lgan ekran va qalinligi texnologik mulohazalarga ko'ra (shtamplash — cho'zishning mumkinligi) tanlanadi.

Ekranlashtirilgan L_e g'altak induktivligi ekranlashtirilmagan L g'altanikidan kichik bo'ladi. Bunga sabab ekranning tashqi maydonidir:



8.3-rasm. Bir qatlamli g'altaklar uchun η koeffitsiyentning l/D ga bog'liqligi.

$$L_e = L[1 - \eta(D / D_e)^3],$$

bu yerda, η — chulg'amning uzunligi va diametrining nisbatiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyenti; D_e — ekranning ichki diametri (8.3-rasm).

Berilgan induktivlik va ish chastotasida g'altakning asilligi undagi sarflarning umumiy qarshiligi orqali aniqlanadi:

$$Q = \omega L / R_2; \quad R_2 = R_j + R_d + R_z + R_o + R_{CL},$$

bu yerda, R_j — chulg'am simining yuqori chastota tokiga qarshiligi;

R_d — karkasdagi dielektrik sarflar va chulg'am simi izolyatsiyasining qarshiligi;

R_e — ekran kiritadigan sarflar qarshiligi;

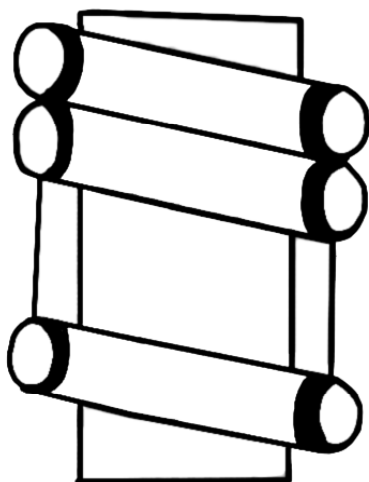
R_o — o'zakdagi sarf qarshiligi;

R_{CL} — g'altakning rezonans xossalari hisobidagi sarflar qarshiligi.

Radioapparatlarda qo'llaniladigan induktivlik g'altaklarining asilligi 30 dan 300 gacha bo'ladi. G'altak asilligi qanchalik yuqori bo'lsa, uning o'lchamlari shunchalik katta bo'ladi. Berilgan asillikda g'altak konstruksiyasining eng ma'qul ko'rinishi mavjuddir. Bunda uning o'lchamlari berilganidan katta ham, kichik ham bo'lmasligi kerak.

Sarfning asosiy qismi simning yuqori chastota tokiga bo'lgan qarshiligi bilan aniqlanadi. U sirtqi effekt (8.4-rasmga qarang) va yaqinlik effektiga bog'liq. O'tayotgan tok chastotasi ortishi bilan uning to'g'ri chiziqli simdagi taqsimoti sirtga yaqin «halqa» ko'rinishini oladi. Bu holda simning yuqori chastotali tokka qarshiligi $R_j = R_{sim} = \rho l / S_x$ (bu yerda, S_x — «halqa»ning yuzasi) bo'ladi. Bunda chastota qanchalik yuqori bo'lsa, «halqa» shunchalik yupqa, uning yuzasi kichik va, demak R_{sim} qarshilik katta bo'ladi. Simning diametri qanchalik katta bo'lsa, ish chastotasi va simning elektromagnit parametrlari bilan belgilanadigan muayyan kirish chuqurligida R_{sim} shunchalik kichik bo'ladi.

«Yaqinlik effekti» quyidagilardan iborat: simning chulg'amida simda paydo bo'ladigan uyurma toklar va magnit maydonning o'zaro ta'siri natijasida asosiy tok g'altakning karkasiga yaqin bo'lgan sohaga suriladi (8.4-rasm — kesimning qoraga bo'yalgan o'roqsimon bo'lagi). Bu holda simning yuqori chastota tokiga qarshiligi $R_j = R_{o'r} = \rho l / S_{o'r}$ (bu yerda $S_{o'r}$ — «o'roq» ning yuzasi). Bunda «o'roq»ning yuzasi halqa yuzasidan kichik bo'lib qoladi yoki $R_j'' - R_j' > 0$, ya'ni simning yuqori chastota tokiga R_j qarshiligi yanada ortadi. «Yaqinlik effekti» karkas diametriga ham, sim diametriga ham bog'liq. Karkas diametri qancha katta bo'lsa, «yaqinlik effekti» ning ta'siri va yuqori chastota tokiga qarshilik shuncha kam bo'ladi, demak, g'altak asilligi ortadi. Sim diametri qancha katta bo'lsa, tok taqsimotining «o'roqsimonligi»

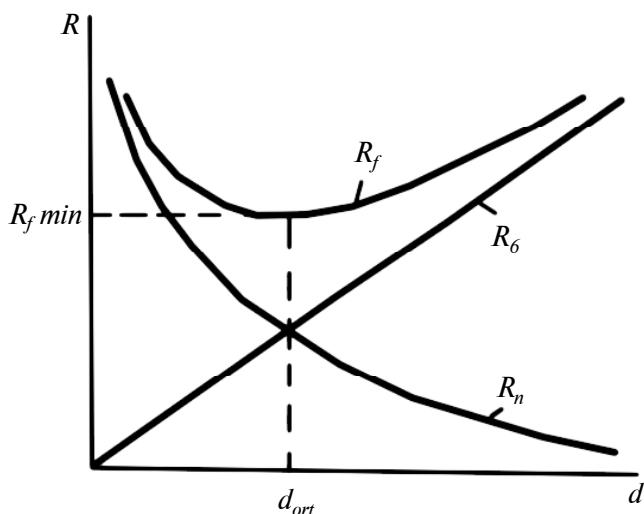


8.4-rasm. «Yaquinlik effekti» da g'altak
simidagi tok taqsimoti.

shunchalik kuchli, undagi sarf qarshiligi shunchalik yuqori va g'altakning asilligi shunchalik kichik bo'ladi.

Chulg'am simining diametrga bog'liqlik chizmasida (8.5-rasm) sirt effekti va «yaquinlik effekti» ta'sirini yig'ib shunday xulosaga kelish mumkinki, berilgan o'lchamlarda simning yuqori chastota tokiga qarshiligining eng kichik qiymati R_{min} ni olish uchun (g'altakning eng yuqori asilligi) chulg'am simning eng ma'qul diametrini tanlash kerak.

Induktivlik g'altaklarining temperatura barqarorligi ularning L induktivligi va Q asilligining temperatura ta'sirida o'zgarishi bilan aniqlanadi. Temperaturaga qarab g'altak karkasining uzunligi va diametri o'zgaradi, temperaturaning ortishi induktivlikni oshiradi, pasayishi esa — uni kamaytiradi. G'altakning temperatura barqarorligi miqdor jihatdan induktivlikning temperatura koeffitsiyenti ITK va induktivlikning temperatura nobarqarorligi (sikllimasligi) va induktivlikning ITNK bilan baholanadi:



8.5-rasm. G'altakning yuqori chastotali tokka qarshiligining chulg'am simining diametriga bog'liqligi.

$$\text{ITK} = \Delta L / (L_0 \Delta t); \quad \text{ITNK} = 100\% \cdot (\dot{L}_0 - L_0) / L_0,$$

bu yerda, L_0 — 20°C induktivlik, Gn;

ΔL — temperatura Δt ga o'zgargandagi induktivlik o'zgarishi (Gn);

$\dot{L}_0$ berilgan ish diapazonida temperaturaning bir qancha o'zgarish sikllarini o'tkazgandan so'ng olinadigan 20°C dagi induktivlik (Gn).

Nosikllilik g'altak parametrlarining qaytmas geometrik o'zgarishlari, jumladan, g'altak o'ramining siljishi va deformatsiyasi oqibatidir.

Keramik yoki polistirol karkas yoxud press kukundan qilingan karkasli bir qatlamli g'altaklarda $\text{ITK} = (50 \div 100) \cdot 10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}$, ko'p qatlamli g'altaklarda esa, $(100 \div 200) \cdot 10^{-6} \text{ } 1^\circ\text{C}$ ga teng. Nosikllilik koeffitsiyentining qiymati foizning o'ndan bir ulushidan tortib birlik foizlargacha boradi. Magnit o'zakli g'altaklarda

$ITK_{o'} = ITK + TK_{\mu_{o'}}$ (bu yerda, $TK_{\mu_{o'}}$ — o'zakning amaldagi magnit singdiruvchanligining temperatura koeffitsiyenti). Bu formuladagi ikkinchi qo'shiluvchi ko'pincha birinchisidan katta bo'lganligidan, o'zakli g'altakning temperatura barqarorligi o'zaksiz g'altaknikidan doim yomon bo'ladi. Ferrit o'zaklari bo'lgan kichik o'lchamli va jajji g'altaklar induktivligining barqarorligi, odatda, past bo'ladi. O'zakning $\mu_{o'}$ si qancha yuqori bo'lsa, barqarorlik shuncha past bo'ladi.

Induktivlikning temperaturaga barqarorligini oshirish uchun KTR kichik bo'lgan (keramika) karkas olinishi, simni karkasga zich qilib yopishtirilishi («qaynoq» o'ram hosil qilish yoki keramik karkasga kumush yo'lkalarni kuydirib qoplash) kerak. Shunday yo'l bilan QT va UQT g'altaklarida, induktivlik 10 mk Gn dan katta bo'lmagan hollarda $ITK = (5 \div 10) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ga erishishi mumkin. Ko'p qatlamli g'altak temirdan yoki alsiferdan (ferritdan emas) qilingan o'zaklar ishlatish yoki umuman o'zak ishlatmaslik maqsadga muvofiqdir.

Temperatura ta'sirida asillik o'zgaradi. Buning sababi — sirtqi effekt va «yaqinlik effekti» bilan aniqlanadigan simning amaldagi diametri yoki karkas diametrining o'zgarishidir. Temperatura ko'tarilganda asillik kamayadi, pasayganda esa u ortadi.

G'altakning xususiy sig'imi karkas dielektrigi yoki sim izolatsiyasi orqali o'ramlar orasidagi C_1 sig'im va havo orqali o'ramlar orasidagi C_{Lx} sig'implardan tashkil topadi: $C_L = C_{L1} + C_{Lx}$. C_{L1} va C_{Lx} sig'implar orasidagi o'zaro nisbat o'ramning turi va karkas shakliga bog'liq. Bir qatlamli g'altak silliq karkasli bo'lsa, $C_{L1} = (0,3 \div 0,4) C_L$; o'yma karkaslisida (spiral ariqchali) $C_{L1} = (0,6 \div 0,8) C_L$; qirrali karkaslisida $C_{L1} = (0,2 \div 0,3) C_L$; karkas-sizlarida $C_L = C_{L1}$; ko'p qatlamli g'altakda $C_{L1} = C_L$.

G'altakning tegishli sig'imi o'rash turi va o'ramlar soniga bog'liq. Masalan, C_L bir qatlamli odim g'altak sig'imi 0,5—1,5 pF,

bir qatlamli yaxlit g'altakniki 3—5 pF, universal turidagisniki 5—9 pF, ko'p qatlamli oddiy g'altakniki 20—30 pF bo'ladi.

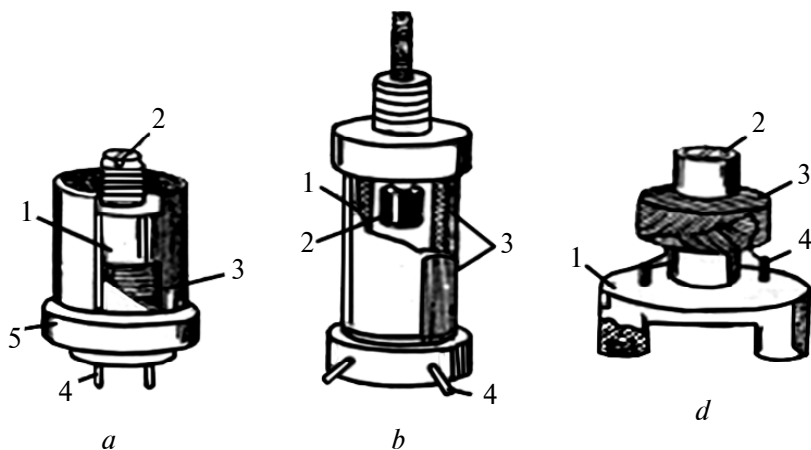
8.4. Kontur induktivlik g'altaklari

Uzun va o'rta to'liqlar induktivlik g'altaklari press — kukun va termoplastik plastmassadan karkaslarda ishlanadi. Materialning turi, amalda, ularning elektr parametrlariga ta'sir etmaydi, ularni tanlash, asosan, ishlab chiqarishning texnologiyaboplik darajasi bilan aniqlanadi. Karkaslar shakliga ko'ra silliq naychasimon, gardishli va seksiyalarga bo'lingan, chulg'amlar esa, odatda, ko'p qatlamli bo'ladi.

«Uyulgan» chulg'amda gardishli karkaslar ishlatiladi. Konstruktsiyasining yuqori bikirligini ta'minlovchi va qo'shimcha gardishlarni talab etmaydigan «universal» turdagi chulg'am eng ko'p qo'llaniladi. UT va O'T diapazonidagi g'altaklar uchun sim sifatida yakka tolali PELSHO, PELSHD, PEBO va PEB, shuningdek, PEL va PET simlari ishlatiladi. Asillikni oshirish uchun ko'pincha ko'p tolali, ipak tola izolatsiyali («linsentrat») LESHU simlari ishlatiladi.

UT va O'T diapazonidagi g'altaklardan ba'zilarining tuzilishi 8.6-a, b rasmda ko'rsatilgan. Chulg'am uchlarini karkaslarga mahkamlash uchun shtirlar 4 (shokildalar) presslanadi, ularga dastlab sim o'raladi, so'ngra qalaylanadi. Chulg'am 3 li karkaslar 1 shassiga vintlar yordamida mahkamlanadi yoki, agar ekran bo'lsa, uni kontur bo'yicha siqib qo'yiladi yoki gardishlarning bo'rtiq joylariga qisib qo'yiladi.

Bu hollarda g'altaklar ekran devoriga uchi yumaloqlangan shpilkalar (to'gnag'ichlar) yordamida mahkamlanadi. SR (silindrik, rezbali) turidagi o'zaklar 2 uchun plastmassa karkas naychasida ichki rezba qilinadi. SSH (silindrik, shpilkalarda)



8.6-rasm. Kosasimon ferrit SB karkas o'zakdagi va polietilen korpusdagi UT g'altagi (a), SSH turdagi silindrik o'zakli silliq plastmassa karkasdagi ko'p qatlamli «betartib» chulg'amli UT g'altagi (b), rezkali «universal» turdagi UT g'altagi (d):
1—karkas; 2—o'zak; 3—chulg'am; 4—shtir; 5—korpus.

o'zaklari uchun esa rezba ekranning yuqori qismida joylashgan. UT va O'T diapazonlar g'altaklarida alsifer, karbonil temir, ferrit va magnit o'zaklar ishlatiladi. Ularning dastlabki ikkitasi yuqori barqarorlikka ega bo'lib, tez ishlaydi.

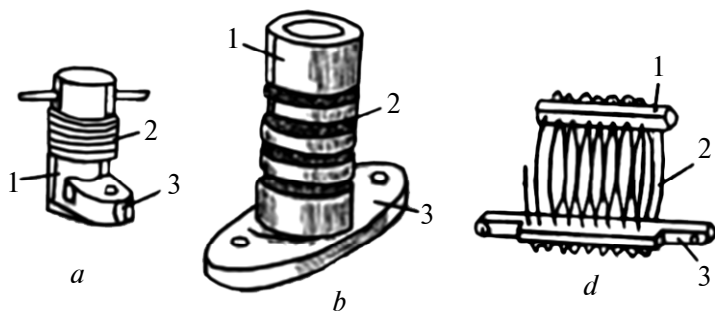
Metrlari diapazon konturilarida ishlatiladigan qisqa va ultraqisqa to'lqinlar induktivlik g'altaklari birlik mikrogenri tartibidagi induktivlikka, 50—100 tartibidagi asillikka, 1—2 pF li xususiy sig'imga va foizning o'ndan bir ulushidagi aniqlikka ega bo'lishi kerak. Buning uchun ularga o'ramlar soni bir-ikki o'nlikdan oshmasligi, karkas diametri 10—20 mm bo'lishi, ishlatiladigan material esa, kichik ε li bo'lishi kerak.

Karkaslarni yuqori chastota dielektriklar IV—B guruh keramikasi, polietilen, polistiroidan tayyorlanadi. Yuqori asillik talab etilmagan hollarda press kukunlar (K21-22, AG-4) dan qilingan karkaslardan foydalaniladi. Karkaslar silliq nayzasimon

o'yilgan va qovurg'ali bo'lishi mumkin. Qovurg'ali karkaslar xususiy sig'imni 0,5 pF gacha pasaytiradi, o'yilganlari esa, odimli g'altaklar (ariqchalarga sovuq holda zich o'rash yoki qaynoq holda o'rash, o'yimlarga joylashtirilgan chulg'am) barqarorligini oshiradi.

O'ram simlari sifatida QT diapazoni g'altaklarida ikkita tolali emallangan PEL, PELU, PET va emallanmagan (izolatsiyalanmagan) MM hamda MT mis simlari (odimli o'ramlar uchun) ishlatiladi. Bu g'altakdagi simlarning diametri UT va O'T diapazonlar g'altaklaridagidan, odatda, 10—20 marta katta bo'lib, o'rtacha olganda bir necha millimetrni tashkil etadi. Shunday bo'lishi sirtqi effekt ta'sirini kamaytirish maqsadida asillikni oshirish uchun zarurdir. QT diapazonining ko'pgina g'altaklari bir qatlamli o'ramga (yaxlit yoki odimli) ega.

UQT diapazonida induktivlik g'altaklari yana ham kichik induktivlikka, binobarin, o'ramlar soniga ega. Ularni, odatda, yo'g'on izolatsiyasiz simni karkassiz o'rash yo'li bilan tayyorlanadi. QT va UQT diapazonlarining o'ziga xos g'altaklaridan ba'zilarining tuzilishi 8.7- *a, d* rasmda ko'rsatilgan.



8.7-rasm. Silliqlik naycha karkasdagi yaxlit, QT g'altagi (*a*), o'yilgan karkasda o'yiqa o'ralgan chulg'amli O'QT g'altagi (*b*) va karkassiz g'altak (*d*):

1—karkas; 2—chulg'am; 3—shassiga o'rnatilgan elementi.

8.5. Bog‘lanish g‘altaklari. Variometrlar. Yuqori chastotalar drosseli

Bog‘lanish g‘altaklari alohida zanjirlar va kaskadlar orasida induktivlik bog‘lanish o‘rnatishda qo‘llaniladi. Bunday bog‘lanish to‘r va anod zanjirlari, baza va kollektor zanjirlari va boshqalarni o‘zgarmas tok bo‘yicha ajratish imkonini beradi. Bog‘lanish g‘altaklariga asillik va aniqlik bo‘yicha qat‘iy talablar qo‘yilmaydi, shuning uchun ularni ingichka simdan ikkita chulg‘am ko‘rinishida va iloji boricha kichik o‘lchamda tayyorlanadi. Induktivlik va induktiv bog‘lanish koeffitsiyenti bog‘lanish g‘altaklarining asosiy parametrlari hisoblanadi.

Induktivlik umumiy qoidalar bo‘yicha hisoblanadi.

Induktiv bog‘lanish koeffitsiyenti $k = M / \sqrt{L_1 L_2}$,

bu yerda, L_1 va L_2 — bog‘langan g‘altaklar induktivliklari (Gn);
 M — ular o‘rtasidagi o‘zaro induktivlik (Gn).

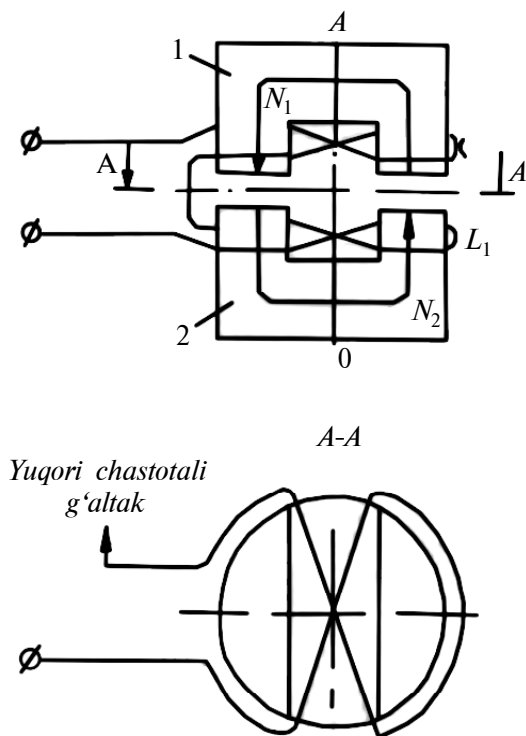
Umumiy holda k bog‘lanish koeffitsiyentini aniqlash ancha qiyin, shuning uchun ko‘pincha, uni chulg‘amlarning joylashishiga qarab taxminiy baholanadi (8.8- a, e rasm).

Variometr — ishlatilishi jarayonida konturlar chastotasini qayta moslash uchun induktivlikni o‘zgartirish mumkin bo‘lgan g‘altak. Variometrnining ishlash prinsipi ikkita g‘altak aylanganda



8.8-rasm. Chulg‘amli bog‘lanish g‘altaklari:

a —ikkita bir qatlamli ($k=0,9$); b —bir qatlamli va ko‘p qatlamli ($k = 0,5$); d —bir qatlamli (ikkiga ayirilgan) va ko‘p qatlamli ($k = 0,7$); e —ikkita ko‘p qatlamli ($k=0,3$).



8.9-rasm. O'zagi aylanadigan variometr.

1—rotor; 2—stator.

yoki ilgarilanma harakatlanganda, ular o'rtasidagi bog'lanish koeffitsiyentining o'zgarishiga asoslangan. Birinchi hol O'YCH diapazonidagi uzatuvchi qurilmalarga xosdir. Ketma-ket ulangan rotor va stator g'altak magnit maydonlarining yo'nalishlari mos kelganligi yoki qarama-qarshiligiga qarab ularning umumiy induktivligi maksimal yoki minimal bo'ladi (8.9-rasm):

$$L_{\max} = L_1 + L_2 + 2M;$$

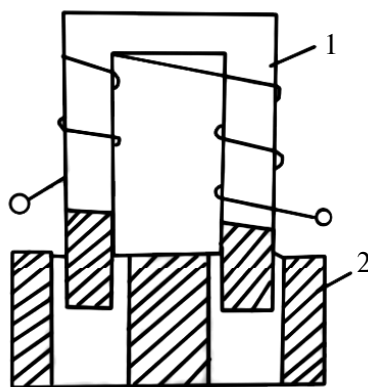
$$L_{\min} = L_1 + L_2 - 2M;$$

bu yerda, L_1 va L_2 — stator va rotorning induktivligi (Gn).

Induktivlikka qarab variometr chastotasining to‘silish koef-
fitsiyenti $k = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}$ bo‘ladi. Bunday konstruksiya uchun
 $k = 4 \div 5$.

Ikkinchi holda (8.10-rasm) g‘altak induktivligini o‘zgartirish
uchun ferrit taglik 2 teshigiga P simon ferrit o‘zak 1 kiritiladi.
To‘silish koefitsiyenti $\mu = 1000$ bo‘lgan holda 100 dan katta
bo‘lishi mumkin.

Yuqori chastota drosseli — yuqori chastota toki zanjiriga
uning qarshiligini oshirish uchun kiritiladigan induktivlik g‘al-
tagi. Bunda o‘zgarmas tok yoki past chastotali tokning qiymati
o‘zgarmaydi. Drossellar yuqori chastota kuchaytirgichlari tok
manbalarining filtrlash zanjirlarida qo‘llaniladi. To‘shish xusu-
siyatlarini oshirish uchun drossel kontur g‘altaklariga nisbatan
katta induktivlikka va ancha kichik sig‘imga ega bo‘lishi kerak.
Drosselning rezonans chastotasi konturda ajraladigan ish signal
chastotasidan ancha katta bo‘lishi kerak. Bu holda drossel yuzlab
mikrogenri tartibidagi induktivlikda O‘YCH konturlarining yechim
zanjirlarida samarali bo‘lishi mumkin. Konstruksiyasi jihatidan



8.10-rasm. Ilgarilama harakatlanuvchi o‘zakli variometr:

1—o‘zak; 2—brusok-taglik.

yuqori chastota drossellari istalgan karkasga o‘rash yo‘li bilan tayyorlanishi mumkin, masalan, simsiz rezistorlar asosiga, bir qatlamli yaxlit g‘altaklar yoki «universal» turdagi g‘altaklar ko‘rinishida. Sanoatda ishlab chiqariladigan drossellar ferrit sterjenlariga o‘raladi va plastmassa bilan presslanadi, ularning induktivligi yuzlab mikrogenri — birlik milligenrilarni tashkil etadi.

8.6. Induktivlik g‘altaklarining integral qo‘llanilishi

Gibrid integral sxemalar uchun induktivlik g‘altaklariga nisbatan qo‘yiladigan asosiy talab ular konstruksiyalarining planarliligi (yassiligi) dir. Gibrid IS korpusining balandligi 3—6 mm bo‘lganligidan ularda balandligi 8—10 mm dan kam bo‘lmagan, odatdagi karkasli induktivlik g‘altaklarini qo‘llash mumkin emas.

PEV va PEVTL markali simlarni o‘rab tayyorlangan, 50 YCH yoki 1000 NM ferrit o‘zakli StFM mikromodul g‘altaklari jajji toroidal g‘altaklar hisoblanadi. Ularni gibrid IS larda ishlatganda, asosga faqat tor (halqa) yopishtiriladi, g‘altak uchlari esa, mikrosxemaning kontakt yuzachalariga kavsharlanadi. Torning tashqi diametri 6—8 mm, ichkisi esa 3—4 mm bo‘ladi. Toroidal g‘altaklarda katta μ li ferritlar qo‘llanilganligidan ular o‘n minglab mikrogenri induktivlikka ega bo‘lishi va yuzlab kilogersdan o‘nlab megagersgacha bo‘lgan chastotalar diapazonida ishlatilishi mumkin.

Kesimi to‘g‘ri burchakli bo‘lgan magnit o‘zakli toroidal g‘altaklar induktivligi

$$L = 4,6 \cdot \mu_{o'r} \cdot a \cdot n^2 \cdot 10^{-4} \cdot \lg[(D_{o'r} + b)/(D_{o'r} - b)] ,$$

bu yerda, n — o‘ramlar soni;

a va b o‘zak kesimining balandligi va eni, mm;

$D_{o'r}$ — o‘zakning o‘rtacha diametri, mm.

Yupqa pardali induktivlik g'altaklari cheklangan chastota diapazoniga (10—100 MHz) ega. Bu ish chastotasining kamayishi natijasida g'altakning asosda olgan o'rnining keskin ko'payishi, uning ko'payishi esa, asillikni tebranish konturlari uchun mumkin bo'lmagan qiymatgacha kamaytirishi bilan tushuntiriladi. G'altak egallagan maydonni kamaytirish uchun o'ramlar enini va ular orasidagi masofani kamaytirish kerak. Biroq bu ish texnologiyaning imkoniyatlari, masalan, fotolitografiyaning hal etish qobiliyati bilan cheklangan chegaragacha bajarilishi mumkin.

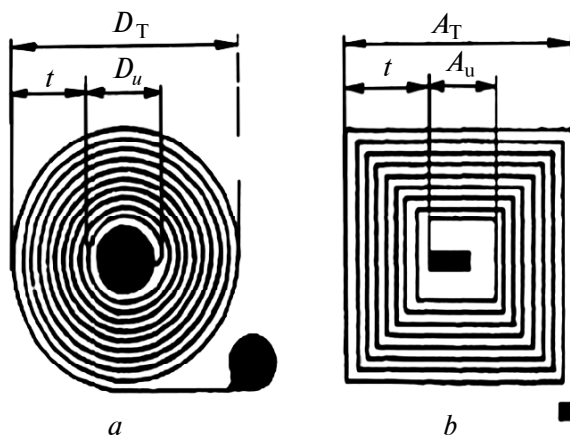
Shuning uchun yupqa pardali g'altaklar 1 sm² yuzada, odatda, 19 tadan ko'p bo'lmagan o'ramga ega bo'lib, aylana yoki kvadrat spiral shaklida ishlanadi (8.11-*a*, *b* rasm).

Shunday g'altaklar induktivligi

$$L = 24,75 \cdot D_o \cdot r \cdot N^{5/2} \cdot \lg 4 D_o \cdot r \cdot 10^{-5} / t ;$$

$$L = 55,5 \cdot N^{5/3} \cdot \lg 8a \cdot 10^{-3} / t$$

formulalari bo'yicha aniqlanadi.



8.11-rasm. Yupqa pardali induktivlik g'altagi:
a—doiraviy; *b*—kvadrat shaklidagi.

bu yerda, $D_{o'r} = (D_t + D_n) / 2$ spiralning o'rtacha diametri, sm;

$a = (A_t + A_n) / 2$ kvadrat tomonining o'rtacha uzunligi, sm;

$t = (D_t - D_n) / 2$ va $t' = (A_t + A_n) / 2$ o'ramning radial kengligi, sm.

Yupqa pardali g'altaklar past asillikka ($Q = 20 \div 30$) ega, shuning uchun ular boshqa variantlar texnik jihatdan mumkin bo'lmagan hollarda ishlatiladi.

Nazorat savollari

1. Yuqori chastotali induktivlik g'altaklarining tasnifini bering va ularning asosiy parametrlarini aytib bering.
2. «Yaqinlik effekti» ning ta'sirini tushuntirib bering.
3. Bug'lanish g'altaklari, variometrlar va yuqori chastota drossellarining vazifasi va konstruksiyasi qanday?
4. Gibrid IS karkas g'altaklarining qo'llanilishini nimalar cheklaydi va ularda qanday g'altaklar ishlatiladi?

IX FILTRLAR

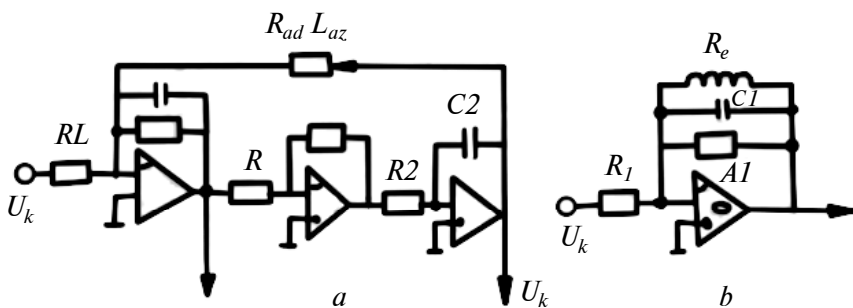
9.1. Aktiv RC-filtrlar va raqamli filtrlar

Aktiv RC filtrlar yupqa pardali RC-zanjirlar va yarimo't-kazgichli kuchaytirgichlar yoki o'zgartirgichlardan ishlangan. Ko'pincha RC filtrlar operatsion kuchaytirgichlar asosida yasaladi. Aktiv rezonator filtrning asosiy qismi hisoblanadi.

Aktiv RC filtrning ishlash prinsipi shundan iboratki, teskari bog'lanishli operatsion kuchaytirgichlar zanjirining texnikaviy tuzilishi (9.1-*a* rasm) polosali filtrning ekvivalent induktivligini olishga imkon beradi. Elektrotexnikadan ma'lumki, R —, C — va L — elementli zanjirining o'zgaruvchan tokka umumiy qarshiligi (tok, kuchlanish) grafik tarzda haqiqiy va mavhum sonlar koordinatalarida tekislikdagi vektor bilan, analitik holda esa, kompleks son $Z=R+jM$ (bu yerda, R va M — aktiv va reaktiv qarshiliklar, j — mavhum birlik) kabi berilishi mumkin.

Masalan, agar induktiv qarshiligi $X_L=j\omega L$, sig'im qarshiligi $X_C=1/(j\omega C)$ bo'lsa, polosa filtri va past chastotalar filtrining chiqish orasidagi zanjirning uzatish funksiyasi $K=U_{pch}/U_{pf}=1/(pR_2C_2)$, bu yerda, $p=j\omega$; U_{pch} va U_{pf} — past chastotali va polosa filtrlari chiqish kuchlanishlarining amplitudalari.

Teskari bog'lanish zanjiridagi R_5 qarshilik orqali o'tuvchi tok $i_{tb}=u_{pch}/(pR_2C_2R_{tb})$ polosa filtrining ekvivalent qarshiligi $Z_e=u_{pf}/i_{tb}=pR_2C_2R_{tb}$ va induktiv xarakterga ega: $X_L=pL$.



9.1-rasm. Uchta operatsiyali kuchaytirgich aktiv RC -filtr sxemalari:
a—elektr sxemasi; *b*—aktiv rezonatorli ekvivalent sxemasi.

Shunday qilib, ekvivalent induktivlik $L_e = R_2 C_2 R_{tb}$. Aktiv RC -filtrning ekvivalent sxemasi 11.1-*b* rasmda ko‘rsatilgan. Demak, aktiv rezonator L_e induktivlik, C — sig‘im va filtrning asilligini belgilovchi R_1 — sarflash qarshiligidan iborat.

Filtrning asosiy parametrlari $f_b = 1 / (2\pi\sqrt{L_e C})$ $\Delta F = 1 / L(R_1 C_1)$;
 $Q = 2\pi f_\omega R_1 C_1$ formulalari bo‘yicha hisoblanadi.

Raqamli filtrlar analogli signallarni raqam shakliga aylantirish, so‘ngra uni berilgan algoritmlar bo‘yicha hisoblagichlarda ishlab chiqish va teskariga — analog shakliga o‘zgartirish tarzida tuzilgan. Bunday murakkab ishlar faqat katta integral sxemalar asosidagi filtrlar yordamida bajarilishi mumkin.

9.2. Integral pyezoelektrik filtrlar

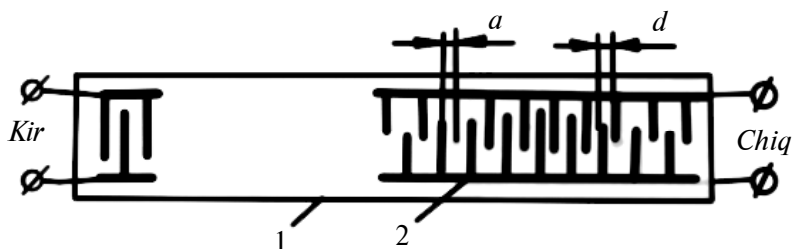
Integral pyezoelektrik filtrlarning ishlash prinsipi energiya-ning kvars, pyezokeramika yoki pyezokristall plastinalarining hajmida lokallanishiga yoxud sirtqi akustik to‘lqinning plastina bo‘ylab tarqalishiga asoslangan.

Birinchi holda elektr bo‘ylab tebranishlarning mexanik tebranishlarga va aksincha, aylanishi natijasida elastik tebranishlari-

ning plastina qalinligi bo'yicha «energiya qamrab olinishi» yuz beradi. Plastinaning metall qoplama (elektrod) lari tebranishlar tarqalishi to'liqin tusida bo'lishi sababli alohida rezonatorlardan iborat bo'ladi.

Filtrdagi tebranish amplitudasi elektrodosti sohada eng katta bo'ladi va undan tashqarida eksponenta bo'yicha so'nadi. Natijada bir nechta bir-biridan ajratilgan rezonatorlar (ko'p rezonatorli filtr) ni bitta plastinada joylashtirish va ular orasida zaruriy bog'lanish koeffitsiyentini va demak, talab etiladigan o'tkazish polosasini va to'g'ri burchaklilik koeffitsiyentini ham hosil qilish uchun akustik bo'linishdan foydalanish imkoni tug'iladi. Bunday filtrlar *elastik to'liqin filtrlari* deyiladi.

Ikkinchi holda taroqsimon o'zgartgichning har bir shtir elektrodi ostidagi vaqt bo'yicha o'zgaruvchan elektr maydon elastik deformatsiya hosil qiladi. Natijada sirtqi plastina yaqinida sirtqi akustik plastina — SAP (PAV) taqala boshlaydi. Har xil shakldagi turum — elektrod yordamida signallarni o'zgartirish, shuningdek, tanlash mumkin. SAP tarqalish tezligining kichik bo'lishi (elektromagnit to'liqin tarqalish tezligidan besh tartibga kichik) o'ta kichkina filtrlar yaratish imkonini beradi. Bunday filtrlar SAP filtrlari deyiladi (9.2-rasm).



9.2-rasm. SAPdagi integral filtr:

1—pyezoelektrik plastina; 2—taroqsimon o'zgartgich.

Siljish to'liqlarida k_m doimiylari, mos ravishda, 1,66; 1,0; 1,9 va 2,1 MHz mm ga teng bo'lgan kvars, pyezokeramika yoki pyezokristallar — litiy niobat va litiy tantalat filtrlarga asos bo'lib xizmat qiladi. Elastik to'liqlar filtrlari uchun olinadigan plastinalar qalinligi berilgan chastota shartlariga ko'ra va ishlab chiqarish texnologiyasi imkoniyatlariga qarab tanlanadi. SAP filtrlarining elektr xarakteristikalari, plastinalarning, odatda, 2—3 mm bo'lgan qalinliklariga bog'liq emas.

Elastik to'liqlar filtrining markaziy chastotasi (MHz) $f_{pr} \approx k_m / h$, bu yerda, h — plastina qalinligi (mm).

Shuning uchun ish chastotasining yuqorigi chastotasi plastinaning ishlab chiqarish uchun qulay bo'lgan minimal qalinligi orqali, pastki chegarasi esa — IS o'lchamlariga mos keluvchi yo'l qo'yilgan o'lchamlar bilan aniqlanadi. Masalan, 50 mkm qalinlikdagi kvars plastina ≈ 2 MHz da maksimal 40 MHz chastotaga ega. Biroq, kvars integral filtrlar, shuningdek, yuqori garmonikalarda ishlashi mumkin va 250 MHz gacha bo'lgan signallarni tanlaydi. Integral kvars filtrlarning asilligi 10^3 — 10^4 , chastota barqarorligi $5 \cdot 10^{-7}$ 1/°C, o'tkazish polosasi (Hz) esa, aktiv yuklamada $\Delta f_{\max} = 3,6 f_{op} \cdot 10^{-5} / m^2$ (bu yerda, m — signal garmonikasi nomeri). O'tkazish polosasi, odatda, foizning o'ndan-yuzdan bir ulushini tashkil etadi, ya'ni kvars filtrlar tor polosalidir.

Integral pyezokeramik filtrlarning asilligi kvars filtrlarnikidan o'nlab marta past, barqarorligi $5 \cdot 10^{-5}$ 1/°C ga teng, biroq ular keng polosaliroq (foizning birlik ulushlari).

Pyezokristallarning asosiy afzalligi elektromexanik bog'lanish koeffitsiyentining kattaligi (0,2—0,3), dielektrik singdiruvchanligining kichikligi va xossalarning keng temperaturalar dia-

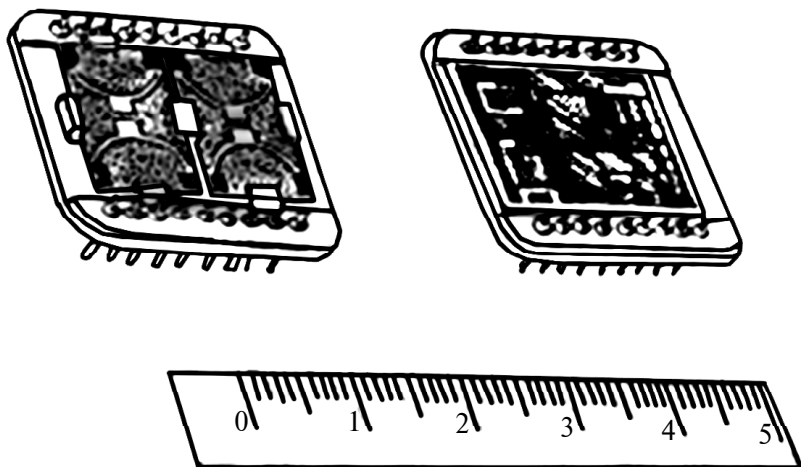
pazonida barqarorligidir. Ular asosidagi filtrlarning o'tkazish polosalari o'rta chastotaning 0,5—5 % ini tashkil etishi mumkin.

SAP filtrlarining elektr parametrlari $f_{op} = v/\lambda$; $Q=N$ formulasi bo'yicha aniqlanadi, bu yerda, v — SAP ning tarqalish tezligi (m/s) (pyezokristallar uchun u $(3\div 4)10^3$ m/s ga teng), λ — SAP to'lqin uzunligi (m); N — filtrning taroqsimon o'zgartgichdagi shtir — elektrod juftlari soni.

SAP ni akustik rezonans deb ataladigan eng samarali uzatish $\lambda = 2d$ bo'lganda yuz beradi (bu yerda, d — shtir — elektrodlar orasidagi masofa (m)). O'zgartgichning rezonans chastotasi $f_{op} = v/2d$ shtirlar orasidagi $a = d/2$ tirqishni hosil qilishni hal qilish qobiliyati orqali aniqlanadi. Demak, hozirgi zamon fotolitografiya usularida ($a \approx 2$ mkm) va $v = 4 \cdot 10^3$ m/s da yuqori chegaraviy chastota GHz birliklarini tashkil etishi mumkin. Biroq, SAP filtrlari, odatda, faqat UPCH (OCHK) kas-kadlarida qo'llaniladi, chunki kichik signallarga sezgirligi yomon bo'lganligi uchun ulardan UYCH larda foydalanish oqilona bo'lmaydi. Pastki chastota filtr maydoni bo'yicha cheklash bilan aniqlanadi va megagersning birliklari — o'nliklarini tashkil etadi. SAP filtrlarining asilligi 1000 dan yuqori, o'tkazish polosasi esa, foizning birlik-o'nliklariga teng.

Integral kvars filtrlar (9.3-rasm) 1 turdagi standart korpusga o'rnatilgan kvars plastina ko'rinishida yasaladi. Plastinaning ikkala tomoniga elektrodlar qoplangan bo'lib, u chiqish kontakt yuzachalariga ega. Kontakt yuzachalar 1 turdagi standart korpusga yelim — kompaund bilan mahkamlangan.

SAP filtrlarining o'lchamlari markaziy chastota va asilligi bilan aniqlanadi. Masalan, $f_{op} = 30$ MHz va $\Delta f = 150$ MHz da filtr o'lchami planda 20×50 mm ni tashkil etadi. Pyezoplastinada 15×20 m o'lchamga ega bo'lgan ikkita taroqsimon o'zgartgich



9.3-rasm. Integral kvars filtr.

joylashtiriladi. 120 MHz ga mo'ljallangan filtr $5 \times 15 \times 12$ mm o'lchamga ega.

Yuqori tanlovchanlikka ega bo'lgan polosali filtrlarni olish uchun taroqsimon o'zgartgich shtirlari har xil uzunlikda olinadi (ma'lum qonun asosida), impulslarni siqish uchun esa shtirlar bir xil uzunlikda olinadi, ular orasidagi masofa asta-sekin o'zgaruvchan bo'ladi.

ГОСТ 20937—75 ga ko'ra pyezoelektrik filtrlar quyidagicha tavsiflanadi va belgilanadi. Material turiga qarab: 1—pyezokeramikli, 2—kvarsli, 3—pyezokristalli. Funktsional vazifasiga ko'ra: P—polosali, R—rejektorli, D—diskriminatorli, YCH — yuqori chastotali, PCH — past chastotali, OBP — bir yon polosali (BYP), G — taroqsimon. Chastotalar diapazoni bo'yicha: 1—past chastotali (60 kHz gacha); 2 va 3—o'rtacha chastotalar (60—400 kHz va 400—200 kHz); 4—9—yuqori chastotali (mos ravishda, 1,2—3 MHz, 3—5 MHz, 5—25 MHz, 25—35 MHz, 35—90 MHz dan yuqori). O'tkazish polosasining kengligiga qarab (nominal

chastotasiga ko'ra % hisobida): 1 va 2—tor polosali (mos holda, 0,05 % gacha va 0,05—0,2 %); 3, 4 va 5—keng polosali (0,2—0,4 %, 0,4—0,8 %, 0,8 % dan yuqori). Konstruktiv-texnologik belgilariga ko'ra: 1—diskret; 2—5—gibrid (mos ravishda bir qatlamli, pyezomexanik, yaxlit va boshqalar); 6—9—integral (mos ravishda, bir qatlamli, pyezomexanik, yaxlit va SAP). Temperaturalar diapazoniga ko'ra: A — + 1°C dan +55°C gacha; B— —10°C dan +60°C gacha; D— —40°C dan +75°C gacha; E— —40°C dan +100°C gacha; F— —60°C dan +85°C gacha; G— —60°C dan +100°C gacha. Masalan, FP2P9-7-40 OM, 200 VB shartli belgi quyidagicha tushuniladi: filtr pyezoelektrik, kvarsli, polosali, SAP, markaziy chastotasi 40 Hz, o'tkazish polosasi 200 kHz, B—hammasi iqlim bo'yicha, temperaturalarining ish diapazoni —10°C dan +60°C gacha.

Nazorat savollari

1. Chastota tanlovchi uzellar qanday tasniflanadi va ularning asosiy parametrlari qanday?
2. Aktiv RC-filtrning ishlash prinsipi qanday?
3. Integral pyezoelektrik filtrlarning elektr va konstruktiv parametrlari o'zaro qanday bog'langan?
4. Elastik va sirtqi akustik to'lqinlardagi integral pyezofiltrlarning ishlash prinsipi qanday?

X BOB. PAST CHASTOTALI TRANSFORMATORLAR VA DROSSELLAR

10.1. Tasnifi va asosiy parametrlari

Past chastotali transformatorlar va drossellar berk magnit o'tkazgichlarga o'ralgan induktiv g'altaklardan iborat.

Transformatorlar vazifasiga ko'ra kuch, moslashtiruvchi va impuls transformatorlariga, magnit o'tkazgichning turiga qarab konstruktiv va texnologiyasi jihatidan zirhli, sterjenli, toroidal va g'altaksimon transformatorlarga bo'linadi.

Transformatorlarning asosiy parametrlari — birinchi chulg'am induktivligi L_1 , u past chastotalar sohasida uzatish koeffitsiyentini belgilaydi; sochilish induktivligi L_s , u yuqori chastotalar sohasida uzatish koeffitsiyentini belgilaydi, chulg'amning xususiy sig'imi C_b , u yuqori chastotalar sohasidagi chastota buzilishlariga, ayniqsa, kuchlanish impulsi frontlariga ta'sir ko'rsatuvchi sig'im; chulg'amning aktiv qarshiligi r ; FIK; transformatsiya koeffitsiyenti $n = \omega_2 / \omega_1$, u uzatish koeffitsiyentini belgilaydi; bu yerda ω_1 va ω_2 birlamchi va ikkilamchi chulg'amdagi o'ramlar soni.

Transformatorlar yuqori sifatli ishlashlari uchun, har doim kichik L_1 , C_0 , katta bo'lmagan r va «ko'pi bilan» deb cheklangan L_1 qiymatli bo'lishi maqsadga muvofiqdir. Transformatsiya koeffitsiyenti birga teng bo'lishi, undan katta yoki kichik bo'lishi mumkin; ko'p chulg'amli transformatorlar bir nechta transformatsiya koeffitsiyentiga ega bo'la oladi.

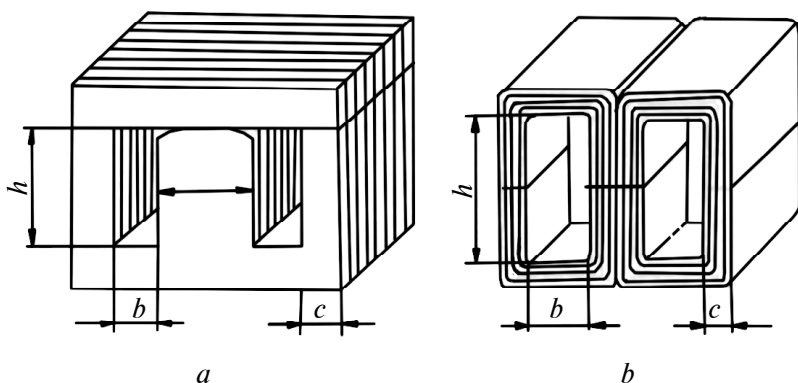
Drossellar ko'proq tok manbalari filtrlarida, undan tashqari past chastotali filtrlarda va tanlama zanjirlarda, shuningdek, stabilizatorlar (to'yinish drossellari)da va rostlagichlar (boshqaruvchi drossellar)da ishlatiladi. Konstruksiyasi va qator elektr parametrlariga ko'ra drossellar transformatorlarga o'xshashdir. Bir chulg'amli past chastota g'altak bo'lsa, drossellar ko'p chulg'amli transformatorlardir.

10.2. Past chastotali kuch transformatorlari

Radiuskuna tok manbalarining bloklarida qo'llaniladigan past chastotali kuch transformatorlari o'zgarmas tok kuchlanishiga to'g'rilanayotgan tok kuchlanishining darajasini o'zgartirishda qo'llaniladi. Kuch transformatorlari iste'mol qiladigan tok, odatda, bir-o'nlab amperlarni, kuchlanish esa, o'n-bir necha yuz voltlarni tashkil etgani uchun ular katta quvvatga ega bo'lishi kerak. Shuning uchun ular boshqa transformatorlarga nisbatan katta o'lchamga ega bo'ladi.

Bunday transformatorlarning magnit simi, ko'pincha, shtamp-langan III-shaklidagi plastinalardan yig'ilgan yoki magnit materialdan ishlangan tasmalarni o'rash yo'li bilan yasalgan zirhli o'zakdan iborat. O'zak tayyorlashda yelimlab yopishtiruvchi magnit pastalardan foydalaniladi (10.1-*a*, *b* rasm). Magnit o'tkazgichlar elektrotexnik po'latlardan, masalan 1511 (qizdirib yoyilgan, izotron) va 3414 (sovuqlayin yoyilgan, anizotron) markali po'latdan, shuningdek, 50HXC permalloydan tayyorlanadi. Shtamplangan plastinalar qalinligi 0,5 mm, o'rash uchun tasmaning qalinligi esa 0,1—0,3 mm bo'ladi.

Uyurma toklarga isrofni kamaytirish uchun plastina va lenta o'ramlari oksidi parda bilan plastinani kuydirib, lok surtib yoki yopishuvchi suspenziya bilan himoyalanaadi. Plastinalarni «cha-



10.1-rasm. Transformatorlarning zirhli oʻzaklari:

a —shtamplangan; b —lentali.

lishtirib ustma-ust» qoʻyib yigʻiladi va magnit oʻtkazgichda nomagnit tirqishining boʻlmasligi taʼminlanadi, yaʼni magnit zanjiri uchun magnitlantirmasdan ishlanganda (kuch va baʼzi bir past chastota transformatorlari) zarur boʻlgan minimal qarshilik olinadi.

Transformatorlarning koʻp qatlamli chulgʻamlari (masalan, PEV, PEVTL, PET simlardan) karton yoki press-kukun karkasga oʻraladi, chulgʻamli karkas korpus ekranga joylashtiriladigan magnit simning markaziy sterjeniga mahkamlanadi. Bunda magnit oʻtkazgichning chulgʻam bilan magnit bogʻlanishidan toʻla foydalaniladi va chulgʻamning mexanik himoyasi yaxshilanadi.

10.3. Moslashtiruvchi transformatorlar

Moslashtiruvchi transformatorlar kirish, chiqish va oraliq transformatorlarga boʻlinadi.

Kirish va oraliq (kaskalararo) transformatorlar yuqori xalaqitlardan himoyalanişga ega boʻlishlari lozim. Sterjen yoki

toroidal turdagi magnit o'tkazgichlarda yig'ilgan transformatorlar tashqi magnit maydon ta'siriga eng kam sezgir bo'ladi. Kirish va oraliq transformatorlarning magnit simlari shtamplab ishlangan bo'lib yoki tasma ko'rinishida bo'lib, 80HXC yoki 79HM permalloydan, shuningdek, 3414 po'latdan tayyorlanadi. Bu transformatorlarning chulg'amlari kuch transformatorlarnikiga o'xshash, biroq kichikroq diametrli simdan tayyorlanadi, shuning uchun ularning o'lchami va massasi ancha kichik.

Bu transformatorlar metall korpusga joylashtiriladi yoki plastmassa bilan presslanadi va «panjacha» yordamida yoki diametri 1—1,5 mm li qalaylangan simdan iborat chiqish uchlarini bevosita kavsharlab, bosma platalarga mahkamlanadi. Transformatorlar, odatda, magnitlanmasdan yoki kuchsiz magnitlab ishlatiladi.

Chiqish transformatorlari ancha katta quvvatli sochuvchi radiuskunalarining oxirgi kaskadlarida qo'llaniladi, shuning uchun o'lchamlari kuch transformatorlarnikidan kichik, kirish va oraliq transformatorlarnikiga qaraganda esa katta bo'ladi. Chiqish transformatorlari minimal chiziqsiz signal buzilishlariga ega bo'lishi va me'yoriy issiqlik rejimini ta'minlashi kerak.

Chiqish transformatorlarining magnitlangan holda ishlashi ularning o'ziga xos tomoni hisoblanadi. Shu sababdan magnit o'tkazgichda nomagnit tirqish bo'ladi. Kuchli o'zgarmas magnitlanganda, transformatorning ish nuqtasi magnitlanish egri chizig'i bo'ylab to'yinish sohasi tomon siljiydi. Natijada μ kamayadi va kuchli chiziqsiz signal buzilishlari, masalan, chiqish transformatoriga bog'langan radiokarnay g'altagida paydo bo'ladi. Shu sababli magnit kuchlanganligining o'zgarmas tashkil etuvchisini kamaytirish uchun nomagnit tirqish hosil qilib, magnit sim qarshiligi oshiriladi. Buning uchun shtamplangan magnit o'tkazgichlarda III — shaklidagi asosiy va chekka plasti-

nalar orasiga yig'ish vaqtida «tutash» qilib izolatsiyali qistirma joylashtiriladi, tasmalarida esa, yopishish joylariga izolatsiya pastasi surtiladi.

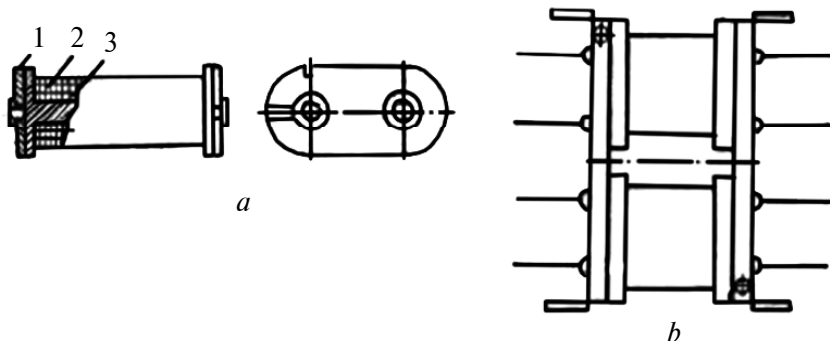
10.4. Integral mikrosxemalarda moslashtiruvchi transformatorlar

Integral mikrosxemalarga mos transformatorlarga nisbatan qo'yiladigan asosiy talablar: o'lchamining va massasining kichik bo'lishi, shuningdek, tuzilishining yassiligi (balandlikka mosligi) dir. Kichik quvvatli moslashtiruvchi va impulsli transformatorlar (davomiyligi birlik nanosekunddan o'nlab mikrosekundgacha bo'lgan impulsni uzatish va shakllantirish uchun) shunday talablarga javob beradi. Ular, odatda, konstruksiyasining yassiligi talabga javob beruvchi kichik o'lchamdagi toroidal g'altaksimon yoki zirhli o'zaklarga ega.

Ilgari ishlangan ko'pgina mikromodulli moslashtiruvchi MMS va impulsli MMTI transformatorlar bevosita (yelimlab) bosma platalarga yoki keramik asosi bo'lmagan mikroiyg'ilma asoslarga o'rnatiladi.

Moslashtiruvchi MMS-1 — MMS-7 transformatorlaridan nohiziqli buzilishlar koeffitsiyenti 10% dan katta bo'lmagan hollarda 300—3000 Hz li chastotalar diapazonidagi tovush signallarini uzatish uchun foydalaniladi. Bu transformatorlarning transformatsiya koeffitsiyenti 0,4—6,3 ga, magnitlantirish toki esa 1—4 mA ga teng, diametri ko'pi bilan 7,6 mm, massasi esa ko'pi bilan 2,5 g.

Impulsli transformatorlar (MMTI) dan takrorlanish chastotasi 10 kHz gacha bo'lgan holda davomiyligi 5 mks gacha bo'lgan impulsni uzatishda foydalaniladi. Transformatorning



10.2-rasm. G'altaksimon transformator:

a—chulg'amli g'altak, *b*—yig'ilgan transformator;

1—chetki permalloy gardishi; 2—chulg'am; 3—magnit sim.

diametri 5,6—7,6 mm ga, balandligi 2,7—4,4 mm ga teng, massasi esa ko'pi bilan 0,7 g.

Bundan tashqari mikroelektron uskunalarda TIG va TI impulsli transformatorlar ishlatiladi. Past chastotali TNCH3 tovush transformatorlari permalloydan yasalgan va o'zaro birlashtiruvchi flanes 1 bilan tutashtirilgan g'altak ko'rinishidagi chulg'amli ikkita magnit o'tkazgich 3 ga ega (10.2-rasm). Bu transformatorlarning o'lchami $24 \times 14 \times 6,2$ mm ga, massasi esa 6,5 g ga teng.

10.5 Past chastotali drossellar

Ko'pincha televizorlarda, radio qabul qilgichlarda, uzatgichlarda va boshqa qurilmalarda to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasini kamaytirishda qo'llaniladigan past chastotali drossellar tekislovchi va past chastotali LC filtrlar tarkibiga kiradi. O'zgarmas tokka drossel qarshiligi juda kichik va chulg'am simining omlik qarshiligiga teng. Drosselning o'zgaruvchan tokka qarshiligi

$z = 2\pi fL$ (bu yerda, f — tok ta'minlash tarmog'ining chastotasi — 50 yoki 400 Hz yoki pulsatsiya chastotasi 100 yoki 800 Hz; L — drossel induktivligi, Gn) bir necha kOm dan o'nlab kiloom-gacha boradi va mumkin bo'lgan pulsatsiyaning talab darajasiga bog'liq. Bu darajada qancha kichik bo'lsa, qarshilik shuncha katta bo'lishi va demak, drossel induktivligi ham shuncha katta bo'lishi kerak. Bu uning o'lchami va massasini oshiradi.

Past chastotali drossellar transformatorlarning magnit o't-kazgichlariga o'xshash magnit simlardan yasaladi, lekin ular bitta chulg'amga ega.

Kuchlanish stabilizatorlarida ishlatiladigan to'yinish drossellari gisterezis sirtmog'ining to'yinish sohalarida ish nuqtasini tanlashda magnit zanjiri qarshiligining doimiylik (o'zgarmas) prinsipida ishlaydi. Bu sohada kirish signalining o'zgarishi, amalda, stabilizatorning chiqish tokini o'zgartirmaydi. Boshqariluvchi drossellarda, aksincha, magnit xarakteristikasidagi ish nuqtasi o'zgarganida magnit material o'zining o'zgaruvchan tokka qarshiligini o'zgartirish xossasidan foydalaniladi.

Nazorat savollari

1. Transformatorlar va past chastotali drossellar qanday tavsiflanadi va ularning asosiy parametrlari qanday?
2. Nima uchun transformatorlarda nomagnit tirqish qilinadi va uning maqbul o'lchami qanday tanlanadi?
3. Integral sxemalarga mos bo'lgan transformatorlarga nisbatan qanday talablar qo'yiladi?
4. Juda kichik o'lchamli transformatorlarning qanday turlarini bilasiz?
5. Past chastotali drossellarga qanday talablar qo'yiladi.

10.6. To'g'rilagichlar

Respublikamizda elektr energiyasi 50 Hz chastotali o'zgaruvchan tokda tarqatiladi, bu bilan birga telekommunikatsiya apparaturalarining ko'p qismi turli nominallardagi o'zgarmas tok bilan ta'minlanishi sababli o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka o'zgartirish zarurati tug'iladi. Buning uchun elektr mashinalarni ishlatish mumkin, lekin ularning aylanuvchan qismlari shovqin hosil qiladi, maxsus fundamentlarni talab qiladi va qator kamchiliklarga ega. Quvvatli kuchli ventillar yaratilgandan so'ng elektr mashinalardan statik to'g'rilash qurilmalariga, ya'ni to'g'rilagichlarga o'tildi.

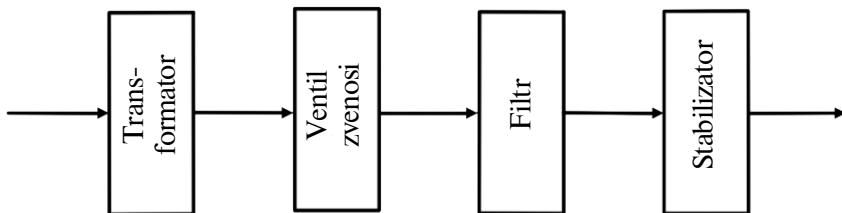
To'g'rilagich deb o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantiruvchi qurilmaga aytiladi. Ishlatish jarayonida to'g'rilagichlar quyidagi qator texnik talablarga javob berishi kerak:

- 1) talab qilinadigan kuchlanish va quvvat;
- 2) to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasining ruxsat etiladigan darajasi;
- 3) xavfsiz xizmat ko'rsatish;
- 4) qulaylik va boshqarish ishonchliligi;
- 5) yuqori FIK;
- 6) to'g'rilangan kuchlanishning stabilligi;
- 7) yuqori quvvat koeffitsiyenti;
- 8) o'ta yuqori toklardan va ortiqcha kuchlanishlardan ishonchli va tezkor himoya;
- 9) texnik ishlatishning narxi pastligi;
- 10) qurilmaning kichik gabaritlarga va og'irlikka ega bo'lishi.

Umumiy ko'rinishda to'g'rilagich 4 ta asosiy qismlardan iborat bo'ladi (10.3-rasm).

Transformator quyidagi vazifalarni bajaradi:

1. O'zgaruvchan tok tarmog'i kuchlanishini to'g'rilovchi element kirishida talab qilinadigan qiymatga o'zgartiradi.



10.3-rasm. Bir kanalli to'g'rilagichning tuzilish sxemasi.

2. To'g'rilagich ishchi zanjirlarni va yuklamani ta'minlash tarmog'idan va boshqa iste'molchilardan galvanik (elektr) ajratadi, ya'ni ularni mustaqil qiladi.

3. Ko'pincha telekommunikatsiya apparaturalari talab qiladigan to'g'rilagich bir qutbini yerga ulash imkoniyatini beradi. Ba'zan to'g'rilagich transformatori fazalar sonini oshirish uchun ishlatiladi. Buning uchun ikkilamchi chulg'amlar soni birlamchi chulg'amlar soniga nisbatan ikki martaga oshiriladi. Bu to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasi chastotasini oshirish va pulsatsiyani kamaytirish maqsadida qilinadi. Bundan tashqari transformatorning ikkilamchi tomonidagi yulduz sxemada ulandagi faza chulg'amlarining umumiy nuqtasi ko'pincha to'g'rilagichning yuklama ulanadigan chiqish qutbi bo'lib xizmat qiladi.

Ventillar bir tomonlama o'tkazuvchanlikka ega va o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirishni amalga oshiradi. To'g'rilagichda ularning soni to'g'rilash sxemasiga bog'liq bo'ladi. To'g'rilagichning har bir fazasi kamida bitta ventil zvenosiga ega bo'ladi. Lekin ko'p hollarda talab qilinadigan tok va kuchlanish qiymatini olish uchun har bir ventil zvenosida bir necha ventillar bo'lishi mumkin. Ventillar ketma-ket, parallel va murakkab guruhlarda ulanishi mumkin.

To'g'rilagichdan keyin kuchlanish yoki tok pulslanuvchan bo'ladi. Uni o'zgarmas va o'zgaruvchan tashkil etuvchilardan iborat deb tasavvur qilish mumkin. Telekommunikatsiya apparaturalari pulslanuvchan o'zgarmas tok bilan ta'minlanganda aloqa signallarini uzatishda jiddiy xalaqitlar yuzaga kelishi mumkin. Bunga ruxsat etilmaydi va pulsatsiyani kamaytirish choralari ko'riladi. Buning uchun ventillar va ta'minlanadigan apparaturalar orasiga silliqlovchi filtr qo'yiladi. To'g'rilagichning chiqish kuchlanishi 10...15 foizga o'zgarishi mumkin bo'lgan ta'minot o'zgaruvchan kuchlanish qiymatiga bog'liq. Telekommunikatsiya apparaturalarida ko'pincha bunday sezilarli tebranishga ruxsat berilmaydi. Shuning uchun zamonaviy to'g'rilagichlarda filtrdan keyin tok va kuchlanish stabilizatorlari qo'yiladi. Bu zvenodan tashqari to'g'rilash qurilmasida kommutatsiyalash apparaturasi, himoyalash zanjiri va boshqalar bo'lishi mumkin.

To'g'rilagichlar boshqariladigan va boshqarilmaydigan bo'ladi. Boshqarilmaydigan to'g'rilagich chiqish kuchlanishini boshqarish imkoniyatini bermaydi. U hamisha $U_0 = K \cdot U_2$ munosabat orqali aniqlanadi (bu yerda, U_0 —chiqishdagi o'zgarmas tok kuchlanishi, U_2 —to'g'rilagich kirishidagi o'zgaruvchan tok kuchlanishi, K —to'g'rilash sxemasining doimiy koeffitsiyenti).

Agar bunday to'g'rilagichda chiqish kuchlanishini o'zgartirish kerak bo'lsa, kirishdagi kuchlanishni o'zgartirishga to'g'ri keladi. Boshqariladigan to'g'rilagichlarda yuklamadagi o'zgarmas tok kuchlanishini to'g'rilagich ishlashi jarayonida uning ish rejimiga ta'sir qilgan holda o'zgartirish mumkin.

To'g'rilash qurilmasini quyidagi sinflarga ajratish mumkin:

1) to'g'rilash sxemasi bo'yicha bir fazali va ko'p fazali, bitta yarim davrli (bir taktli) va ikkita yarim davrli (ikki taktli);

2) quvvat bo'yicha — kichik quvvatli (100 W gacha), o'rta quvvatli (5 kW gacha), katta quvvatli (5 kW dan yuqori);

3) to'g'rilangan tok chastotasi bo'yicha — sanoat chastotasi (50 Hz), oshirilgan chastotali (400 yoki 1000 Hz), yuqori chastotali (1000 Hz dan yuqori);

4) kuchlanish bo'yicha — kichik kuchlanishli (250 V gacha), o'rta kuchlanishli (1000 V gacha), yuqori kuchlanishli (1000 V dan yuqori);

5) ish yuklamasining rejimi bo'yicha — uzoq vaqtli, impulsli, qisqa vaqtli;

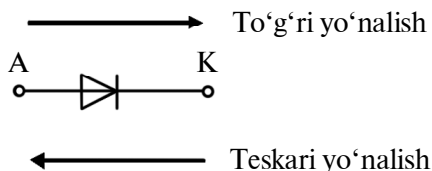
6) to'g'rilagichga yuklamaning reaksiyasi bo'yicha aktiv, induktiv va sig'im reaksiyali.

10.7. Ventillar va ularning parametrlari

O'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka o'zgartirish nohiziqli element ventili yordamida amalga oshiriladi.

Ventil bir tomonlama o'tkazishga, ya'ni bir yo'nalishdagi tokka katta o'tkazuvchanlikka (kichik qarshilikka) va boshqa yo'nalishdagi tokka kichik o'tkazuvchanlikka (katta qarshilikka) ega bo'ladi. Ventil kichik qarshilikka ega bo'lgan yo'nalish to'g'ri yo'nalish deyiladi va $R_{to'g'}$, $I_{to'g'}$, $U_{to'g'}$ kattaliklar bilan xarakterlanadi. Ventil katta qarshilikka ega bo'lgan yo'nalish esa teskari yo'nalish deyiladi va R_{tes} , I_{tes} , U_{tes} kattaliklar bilan xarakterlanadi. Sxemada ventilning belgilanishi 10.4-rasmda keltirilgan.

Anoddan katodga yo'nalishdagi kuchlanish to'g'ri, katoddan anodga yo'nalishdagi kuchlanish esa teskari kuchlanish deyiladi. Real va ideal ventillarga ajratiladi. Ventildan oqib o'tadigan tok va ventilning asosiy elektr xususiyatlari uning volt-amper xarakteristikasi (VAX) $I=f(U)$ orqali ifodalanadi. Ventillar real va ideal ventillarga ajratiladi.

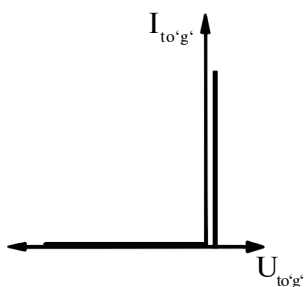


10.4-rasm. Sxemada ventilning belgilanishi.

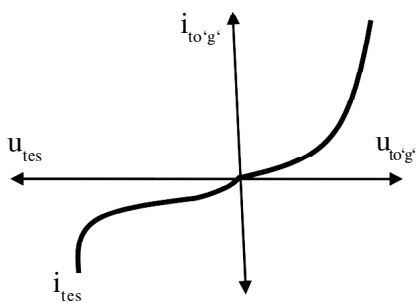
Ideal ventilda $R_{to'g'}=0$, mos ravishda $U_{to'g'}=0$, $I_{to'g'}$ tok esa hech narsa bilan cheklanmaydi, $R_{tes}=\infty$, ya'ni U_{tes} kuchlanishning har qanday qiymatida $I_{tes}=0$ bo'ladi.

Real ventil qandaydir $R_{to'g'}$ qarshilikka ega bo'ladi, shuning uchun talab qilinadigan $I_{to'g'}$ to'g'ri tokni olish uchun ventilga ma'lum qiymatdagi $U_{to'g'}$ kuchlanishni berish kerak bo'ladi. Real ventil teskari yo'nalishda R_{tes} yuqori qarshilikka ega bo'lganligi sababli qandaydir I_{tes} teskari tokni o'tkazadi (10.5-rasm).

Ventillar boshqariladigan va boshqarilmaydigan bo'lishi mumkin. Hozirgi vaqtda, asosan, yarimo'tkazgichli ventillar — selenli, kremniyli boshqariladigan (tiristorlar) qo'llaniladi.

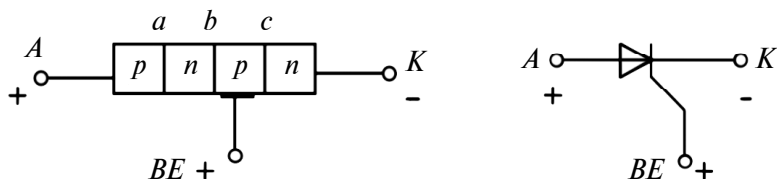


Ideal ventilning VAXi



Real ventilning VAXi

10.5-rasm. Yarimo'tkazgichli diodning
volt-amper tavsiflari.



10.6-rasm. Tiristorning tuzilishi va sxemada belgilanishi.

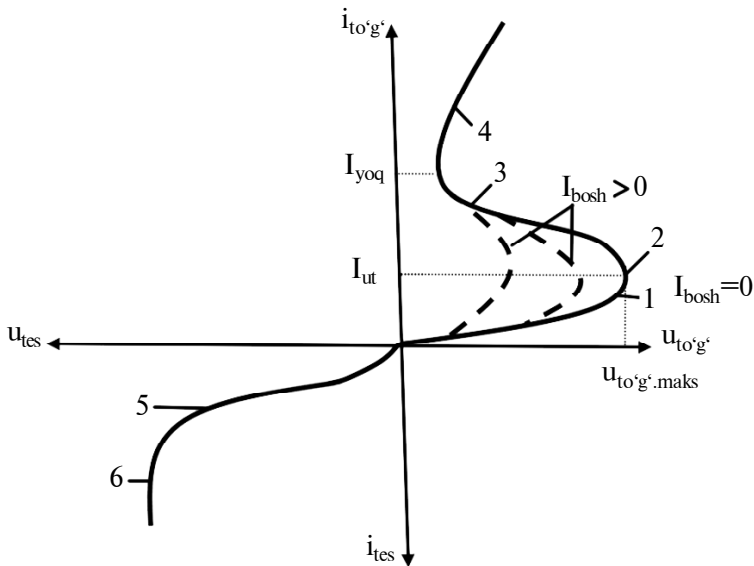
Germaniyli ventillar, asosan, ko‘proq kichik kuchlanishli to‘g‘rilagichlarda qo‘llaniladi, chunki ularning $U_{to'g'}$ kuchlanishi kremniyli ventillarga qaraganda 2—3 marta kichik.

Kremniyli ventillar germaniyli ventillarga qaraganda katta $U_{tes.rux}$ kuchlanishga va 2—3 marta kichik I_{tes} tokka ega va quvvatli tiristorli to‘g‘rilash qurilmalarida yuqori temperaturalarda qo‘llaniladi. Boshqarilmaydigan kremniyli ventillar 1000 A gacha $I_{to'g'}$ toklar va 1000 V gacha teskari kuchlanishlarga ishlab chiqariladi.

Kremniyli ventillar boshqariladigan ventillar tiristorlar bo‘lishi ham mumkin. Ular boshqariladigan to‘g‘rilagichlarda qo‘llaniladi. U to‘rt qatlamli yarimo‘tkazgichli tuzilishdagi uch elektrodli asbob hisoblanadi (10.6-rasm).

Oddiy dioddagi anod va katoddan tashqari, ular yana bir boshqarish elektrodiga (BE) ega bo‘ladi. Boshqarish elektrodiga musbat qutbli signal berilmagandagi tiristorning volt-amper tavsifi 10.7-rasmda keltirilgan.

Tiristor anodiga $U_{a.max}$ kuchlanishdan kichik bo‘lgan kuchlanish berilmaguncha tokni o‘tkazmaydi. Bu vaqtda tiristordan juda kichik bo‘lgan I_{isr} isrofiy tok oqib o‘tadi (1-soha), agar $U_a = U_{a.max}$ bo‘lsa, tiristor ochiladi (I_{ot} tokda) va ikkinchi barqaror ishlash sohasiga bo‘ladi, u holda undan oqib o‘tadigan $I_{to'g'}$ tok yuklama qarshiligi orqali aniqlanadi.



10.7-rasm. Yarimo'tkazgichli tiristorning volt-ampere tavsifi.

- 1—to'g'ri yo'nalishda o'tkazmaslik sohasi; 2—teshilish sohasi;
 3—manfiy qarshilik sohasi; 4—yuqori o'tkazuvchanlik sohasi;
 5—teskari yo'nalishda o'tkazmaslik sohasi; 6—qaytmas
 ko'chkisimon teshilish sohasi.

Agar $I_{to'g'}$ tok I_{yot} tokkacha kamaysa, tiristor o'z-o'zidan yopiladi. 3-soha tiristorning nobarqaror ish zonasi hisoblanadi. 4-soha har qanday dioddagi kabi teskari kuchlanishda tiristorning yopilishiga mos keladi.

Agar boshqaruvchi elektrodga signal berilsa, 1- va 3-sohalarda tiristorning tavsifi o'zgaradi, ya'ni I_{b1} tokda, $U_{a.max1}$ kuchlanishning kichik qiymatida tiristor ochiladi, I_b tok I_{b2} tokka ortganda u yanada ochiladi, $U_{a.max2}$ kuchlanish kichikroq bo'ladi. Yetarlicha katta I_b tokda tiristorning volt-ampere tavsifi oddiy boshqarilmaydigan diod volt-ampere tavsifiga yaqin bo'ladi. Shunday qilib, agar tiristor o'zgaruvchan tok zanjiriga qo'yilsa, I_b tokka bog'liq ravishda $U_{a.max}$ kuchlanishining turli qiymatlarida

ochiladi. Agar tiristorlarni to'g'rilagichlarda diodlar o'rniga qo'yilsa, to'g'rilagich chiqishida boshqariladigan kuchlanish olinadi. Tiristor ochilgan bo'lsa, boshqarish elektrodining boshqarish ta'siri yo'qoladi va tiristorni teskari kuchlanish yoki tarmoqdan uzish orqali yopish mumkin.

10.8. To'g'rilagichning chiqish parametrlari

To'g'rilagichning chiqish parametrlariga quyidagilar kiradi:

- 1) to'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati — U_0 ;
- 2) to'g'rilangan tokning o'rtacha qiymati — I_0 ;
- 3) to'g'rilangan kuchlanish asosiy garmonikasi pulsatsiya-sining chastotasi — f_{tkp} ;
- 4) to'g'rilangan kuchlanishning pulsatsiya koeffitsiyenti — K_p ;
- 5) to'g'rilagich kirish kuchlanishi bitta qiymatda bo'lganida U_0 chiqish kuchlanishining I_0 yuklama tokiga bog'liqligi bo'lgan to'g'rilagichning tashqi tavsifi;
- 6) ventillarni tanlash uchun U_{tes} teskari kuchlanish.

To'g'rilash sxemalaridagi transformatorlar uchun quyidagi parametrlar aniqlanadi:

- 1) ikkilamchi chulg'am kuchlanishi U_2 va toki I_2 , chunki ularni to'g'rilangan kuchlanish va tokning o'rtacha qiymati (o'zgarmas tashkil etuvchi) bilan taqqoslash qabul qilingan;
- 2) birlamchi chulg'am kuchlanishining U_1 va tokining I_1 ta'sir etuvchi qiymatlari;
- 3) ikkilamchi chulg'amning to'la quvvati — S_2 ;
- 4) birlamchi chulg'amning to'la quvvati — S_1 ;
- 5) transformatorning to'la (gabarit) quvvati — $S_{tr} = (S_1 S_2)/2$;
- 6) transformator ikkilamchi chulg'amidan foydalanish koeffitsiyenti — $K_2 = P_0/S_2$, bu yerda P_0 to'g'rilagichning quvvati;

7) transformator birlamchi chulg'amidan foydalanish koef-fitsiyenti — $K_1 = P_0/S_1$;

8) transformatoridan foydalanish koefitsiyenti — $K_{tr} = P_0/S_{tr}$.

Bu koefitsiyentlar to'g'rilash sxemasiga bog'liq, chunki bir taktli to'g'rilashda transformatorida majburiy magnitlash hodisasi mavjud bo'lib, u transformatoridan foydalanish koef-fi-tsiyentini keskin kamaytiradi.

Bu chiqish parametrlarini ko'rib chiqamiz. To'g'rilash sxema-si bo'yicha to'g'rilagichlar bir fazali va ko'p fazali, bitta yarim davrli (bir taktli) va ikkita yarim davrli (ikki taktli) bo'ladi. Shuning uchun to'g'rilash fazalari soni m transformator ikki-lamchi chulg'ami fazalari soniga mos kelmasligi mumkin. Bu son $m = pn$ munosabatdan aniqlanadi (bu yerda $n = 1, 2, 3, 4, \dots, 6$ va h.k. — transformatorning ikkilamchi chulg'amlari soni, $p = 1$ yoki 2 to'g'rilanadigan yarim davrlar soni). Bir taktli yoki ikki taktli sxemalarni aniqlash shundan kelib chiqadiki, ta'minot kuchlanishining bir davrida transformator ikkilamchi zanjiri faza chulg'amidan qancha tok impuls-lari oqib o'tadi. Bir taktli to'g'rilagichda bir davrda bir fazali chulg'am orqali bitta tok impulsi, ikki taktli to'g'rilagichda esa ikki fazali chulg'am orqali ikkita tok impulsi oqib o'tadi. Shunday qilib, to'g'rilangan tok pulsatsiyasi chastotasi ta'minot tarmog'i chastotasiga mos tush-maydi va u $f_{t.k.p} = mf_{tar}$ bo'ladi.

10.9. Bir taktli to'g'rilash sxemalari

Bir fazali bir taktli to'g'rilash sxemasi

Bir fazali bitta yarim davrli to'g'rilash sxemasi 10.8-rasmda keltirilgan. VD1 diod anodida musbat potensial bo'lganida tok, VD1 diod, R_{yu} yuklama orqali oqib o'tib transformator ikki-

lamchi chulg'amiga tutashadi. Agar $U_{KIR} = U_{1m} \cdot \sin \omega t$ bo'lsa, yuklamadagi tok yarim sinusoidal shaklda bo'ladi, yuklamadagi kuchlanish shakli ham shunday shaklda bo'ladi. Bu to'g'rilangan tok bitta davrda yuklamadan oqib o'tadigan to'g'rilangan tokning o'rtacha qiymati bo'lgan o'zgarmas tashkil etuvchiga ega bo'ladi.

Bir taktli to'g'rilash sxemasida quyidagi munosabatlar o'rinli hisoblanadi.

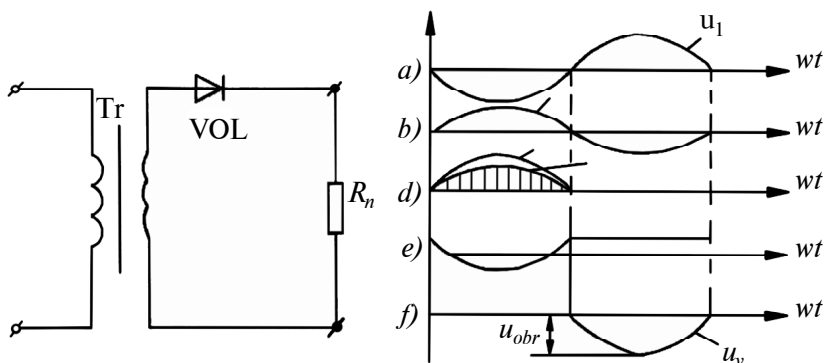
$$U_0 = (\sqrt{2} / \pi) \cdot U_2 = 0,45 \cdot U_2;$$

$$I_0 = (2/\pi) \cdot I_2 = I_2 / 1,57 = 0,637 \cdot I_2.$$

Yopiq ventilga qo'yiladigan teskari kuchlanish transformator ikkilamchi chulg'amiga qo'yiladigan kuchlanishga proporsional bo'ladi:

$$U_{TES} = U_m = \pi \cdot U_0 = 3,14 \cdot U_0 = U_2 \cdot \sqrt{2},$$

ya'ni, to'g'rilangan kuchlanishda π martaga katta bo'ladi. To'g'rilangan kuchlanish va tok pulsatsiyasining chastotasi $f_{to'g'} = f_{tar}$ bo'ladi (ya'ni $m=1$).



10.8-rasm. Bir fazali bir taktli to'g'rilash sxemasi
va vaqt diagrammalari.

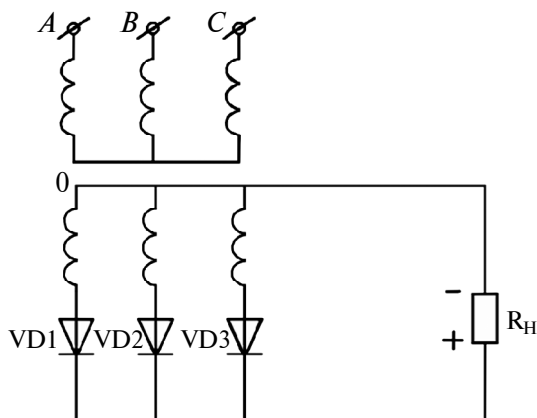
Uch fazali bir taktli to'g'rilash sxemasi

U ikkilamchi chulg'ami yulduz sxemada ulangan uch fazali transformator va transformator ikkilamchi chulg'amlari fazalariga bittada ulangan uchta diodlardan iborat. Transformator ikkilamchi chulg'amlari oxirgi uchlarida bir nolinchi nuqtaga, bosh uchlarida esa diodlar anodlarga ulanadi. Barcha ventillar katodlari umumiy nuqtaga ulanadi va to'g'rilagich chiqishida musbat qutbni tashkil qiladi (10.9-rasm).

Transformatorning nolinchi nuqtasi manfiy qutb hisoblanadi. Ikkilamchi chulg'am faza kuchlanishlari bir-birlaridan $2\pi/3$ burchakka surilgan bo'ladi.

Istalgan vaqt momentida anodda boshqa fazalarga qaraganda eng katta musbat potensial bo'lgan faza diodi ochiladi (10.10-rasm).

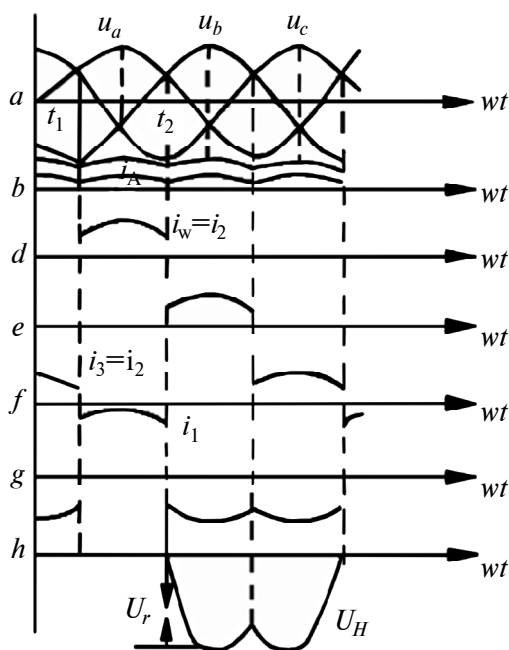
t_0 ixtiyoriy vaqt momentida VD1 diod anodida eng katta musbat potensial bo'ladi va u ochiq bo'ladi. U_{21} kuchlanish ta'sirida tok birinchi faza, VD1 diod, R_{yu} yuklama orqali nolinchi nuqtaga oqib o'tadi.



10.9-rasm. Uch fazali bir taktli to'g'rilash sxemasi.

Yuklamadagi kuchlanish U_{21} oniy qiymatga teng bo'ladi. t_1 vaqt momentigacha ikkinchi fazadagi kuchlanish ham musbat, lekin birinchi fazadagi kuchlanishdan kichik bo'ladi, shuning uchun VD2 diod anodidagi potensial uning katodidagi potensialdan kichik bo'ladi va VD2 diod yopiq bo'ladi.

t_2 momentdan boshlab uchinchi faza ishlay boshlaydi va jarayonlar davriy takrorlanadi. Har bir faza davrning $2\pi/3$ qismi davomida ishlaydi. To'g'rilagich chiqishidagi U_0 kuchlanish istalgan vaqtda ikkilamchi chulg'am (faza diodi ochiq bo'lganda) faza kuchlanishining oniy qiymatiga teng bo'ladi, ya'ni U_0 to'g'rilangan kuchlanish U_2 kuchlanishning og'diruvchisi hisoblanadi, $I_0 = U_0/R_0$ bo'lganligi uchun mana shu egrilikning o'zi boshqa masshtabda tok egriligi bo'ladi.



10.10-rasm. Uch fazali bir taktli to'g'rilash sxemasi
vaqt diagrammalari.

Binobarin, tok har bir faza bo'yicha davrning uchdan bir qismida oqib o'tadi.

Vaqtning boshlanishi deb, qo'sh chulg'amlar fazalaridagi U_2 kuchlanish U_m kuchlanishiga teng bo'lgan momentni olamiz va $\omega t = \pi/m$ (bu yerda $m=3$) vaqt intervalini ko'rib chiqamiz. U holda to'g'rilangan kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchisi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$U_0 = \left(\frac{m}{2\pi}\right) \int U_m \cdot \cos \omega t d\omega t = \left(\frac{m}{\pi}\right) \cdot U_m \cdot \sin \frac{\pi}{m} = \frac{3}{\pi} \cdot U_m \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

yoki U_2 ta'sir etuvchi qiymatga o'tib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$U_0 = (3 \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_2) / 2 \cdot \pi = 1,17 \cdot U_2.$$

O'g'irlangan tokning o'zgarmas tashkil etuvchisi quyidagicha aniqlanadi:

$$I_0 = \left(\frac{m}{\pi}\right) \int (I_m)^2 \cdot \cos^2 \omega t d\omega t = \left(\frac{3}{\pi}\right) \cdot I_m \cdot \sin \frac{\pi}{3}.$$

Diod va transformator qo'sh chulg'amlaridagi tokning ta'sir etuvchi qiymati quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$I_2 = \left(\frac{1}{\pi}\right) \int (I_m \cdot \cos \omega t)^2 d\omega t = I_m \cdot \sqrt{\frac{1}{2m}} + \left(\frac{1}{4\pi}\right) \cdot \sin \frac{2\pi}{m}.$$

Agar I_0 va I_2 toklarni mos ravishdagi o'zgartirishlarni qilib, o'zaro taqqoslasak, $I_0 = I_2 / 0,58 = 1,752 \cdot I_2$ ga ega bo'lamiz. Diodga qo'yiladigan teskari kuchlanish bu sxemada ikki sinusoidal kuchlanishlar farqi orqali aniqlanadigan egrilik orqali tavsiflanadi. Bu ikki faza kuchlanishlarining farqi chiziqli kuchlanishga teng bo'lganligi uchun teskari kuchlanishning maksimal amplitudasi transformator ikkilamchi chulg'ami chiziqli kuchlanishi amplitudasiga teng bo'ladi, ya'ni:

$$U_{tes} = \sqrt{3} \cdot U_m = U_L = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_2,$$

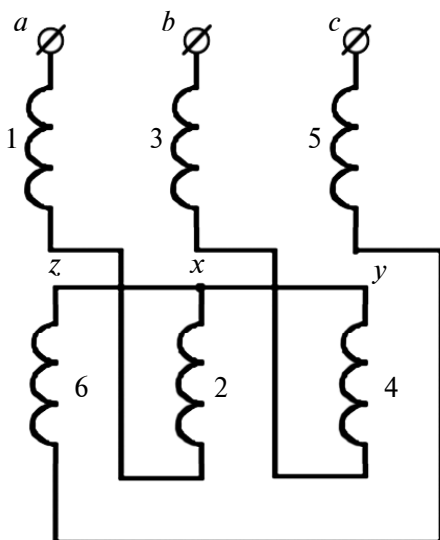
to'g'rilangan kuchlanish pulsatsiyasining chastotasi

$$f_n = m \cdot f_c = 3 \cdot f_c$$

bo'ladi.

Bir taktli sxemalarda transformator ikkilamchi chulg'ami har bir fazasi toki $(1/m) \cdot I_0$ ga teng bo'lgan o'zgaras tashkil etuvchiga ega bo'ladi va bu tashkil etuvchi birlamchi chulg'am toki bilan kompensatsiyalanmaydigan F_0 magnit oqimining o'zgaras tashkil etuvchisini vujudga keltiradi. Natijada bunday sxemalarda transformator magnit o'tkazgichida majburiy magnitlanish bo'ladi. I_0 tok $F_0 = (I_0/m) \cdot W_0$ magnitlash kuchini hosil qiladi, magnit oqimi esa $F_0 = F_0/R_m$, bu yerda R_m magnit oqimi yo'lidagi magnit qarshilikdir. Bu oqim transformator o'zagi bo'ylab tutasholmaydi, chunki uning kuch chiziqlari o'zaro qarama-qarshi yo'naladi va sterjenlar atrofida havoda tutashadi. Havoning R_m magnit qarshiligi katta bo'lganligi uchun F_0 magnit oqim kam bo'ladi. Lekin, odatda, transformator magnit o'tkazuvchan qolip bilan o'raladi yoki uning yaqinida metall (magnit o'tkazuvchan) bo'lsa, u holda F_0 magnit oqimi sezilarli bo'lishi mumkin va transformator normal ish rejimini buzishi mumkin.

Bundan tashqari, to'g'rilagich yuklamasi o'zgarganda ikkilamchi chulg'amlardagi tok o'zgaradi va bunga mos ravishda majburiy magnitlanish intensivligi o'zgaradi. Bu bir fazali bir taktli to'g'rilash sxemalarida ko'proq sezilarli bo'ladi, bunda tok past chastotada pulslanib, pulslanuvchan F_0 magnit oqimini vujudga keltiradi. Bu oqimlar magnit o'tkazgichlarni qo'shimcha yuklab, ularda qo'shimcha yo'qotishlarni keltirib chiqarishidan tashqari, pulslanuvchan tarqalish magnit maydonini hosil qiladi



10.11-rasm. Chulgʻamlarning «zig-zag» sxemada ulanishi.

va bu maydon yaqinda ishlayotgan boshqa qurilmalar ishiga ham xalaqit beradi. Bu oʻrta va katta quvvatli toʻgʻrilagichlar ishida muhim hisoblanadi.

Majburiy magnitlanish bilan kurashishda magnit oʻtkazgich sterjenlarida chulgʻamlarni ratsional joylashtiriladi, yaʼni chulgʻamlar «zig-zag» sxemada ulanadi (10.11-rasm).

Buning uchun har bir fazaning ikkilamchi chulgʻamlari ikkita gʻaltaklardan iborat boʻladi, bu gʻaltaklar turli sterjenlarga joylashtiriladi va ketma-ket qarama-qarshi yoʻnalishda ulanadi. Bunda chulgʻamning har bir yarim qarama-qarshi yoʻnalgan va bir-birlarini kompensatsiyalaydigan magnit oqimlari hosil boʻladi, shuning uchun transformatorning majburiy magnitlanishi keskin kamayadi yoki umuman boʻlmaydi. Yoki shunday toʻgʻrilash sxemasi tanlanadiki, tanlangan sxema majburiy magnitlanishni keltirib chiqarmaydi.

10.10. Ikki taktili to'g'rilash sxemalari

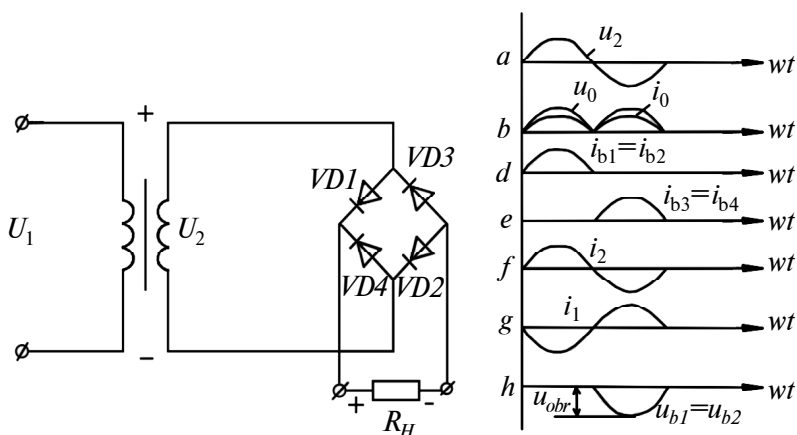
Ko'priksimon to'g'rilash sxemasi

Sxemada bitta yarim davr mobaynida to'g'rilangan tok VD_1 diod, R_y yuklama, VD_3 diod orqali transformatorning ikkilamchi chulg'amiga oqib o'tadi (2.10-rasm). Teskari qutbda tok VD_2 diod, R_y yuklama, VD_4 diod orqali transformatorning ikkilamchi chulg'amiga oqib o'tadi. Ya'ni, tok yuklama va transformator ikkilamchi chulg'ami orqali butun davr mobaynida oqib o'tadi.

R_y yuklamadan oqib o'tadigan I_y yuklama tokining o'z-garmas tashkil etuvchisi ($I_m = U_m/R_y$ bo'lganida) quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_0 = \left(\frac{m}{\pi}\right) I_m \cdot \sin \frac{\pi}{m} = \frac{I_m}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U_2}{R_y \cdot \pi} = 0,9 \frac{U_2}{R_y};$$

$$U_0 = 2\sqrt{2} \frac{U_2}{\pi},$$



10.12-rasm. Ko'priksimon to'g'rilash sxemasi va uning vaqt diagrammalari.

ya'ni, bir fazali bir taktli sxemadagidan 2 marta katta bo'ladi. Transformatorning ikkilamchi chulg'amidan tok butun davr mobaynida oqib o'tadi, u holda uning ta'sir etuvchi qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I_2 = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \int (I_m)^2 \sin^2 \omega t d\omega t = I_m \frac{1}{\sqrt{2}},$$

u holda, I_0 va I_2 toklarni taqqoslab, quyidagini olamiz:

$$I_0 = \left(\frac{2}{\pi}\right) \sqrt{2} \cdot I_2 = 0,9 \cdot I_2.$$

Har bir yarim davrda ikkita diod ishlagani uchun har bir ketma-ket ulangan diodlardan oqib o'tadigan tokning ta'sir etuvchi qiymati $I_{vd} = I_2/2$ bo'ladi. Bu sxema uchun $m=2$, $f_{t,k} = 2f_t$ bo'ladi, diodlar ikkilamchi chulg'amga parallel ulangani uchun yopiq diodlardagi teskari kuchlanish esa $U_{tes} = U_m = \sqrt{2} U_2$ bo'ladi.

Transformator ikkilamchi zanjiridan nolinch chiqish chiqarilgan ikki taktli to'g'rilash sxemasi

Bu sxemani boshqacha qilib ikki fazali bir taktli sxema deyiladi, chunki to'g'rilangan tokning bir davri mobaynida transformatorning ikkilamchi har bir yarim chulg'amlaridan bitta tok impulsi oqib o'tadi, lekin, odatda, o'zgaruvchan tok texnikasida ikki fazali tok, uni generatsiyalashning qiyinligi va ikki fazali tok tarmog'ining yo'qligi uchun birinchi nom qo'llaniladi (2.11-rasm).

Bu sxemada ikkilamchi chulg'amning har ikkala yarmi to'g'rilagich ishida navbatma-navbat ishtirok etadi. Birinchi yarim davrda tok VD_1 diod, R_y yuklama va transformator yarim chul-

g'ami, ikkinchi yarim davrda esa VD_2 diod, R_y yuklama va transformator boshqa yarim chulg'ami orqali oqib o'tadi. Yuklamadan butun davr mobaynida bir qutbli tok oqib o'tadi (10.13-rasm).

Bu sxemada yuklamadagi kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchisi quyidagiga teng bo'ladi:

$$U_0 = \frac{m}{\pi} U_m \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) = 2\sqrt{2} \frac{U_2}{\pi};$$

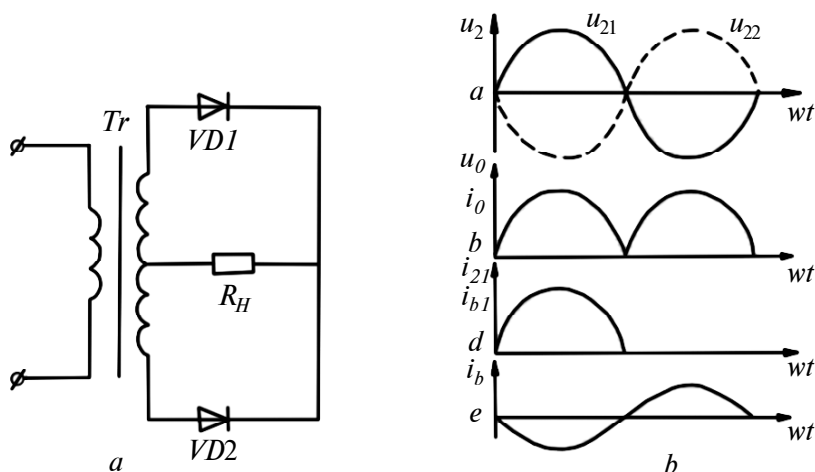
$$m=2, U_2=U'_2=U''_2,$$

u holda

$$I_0 = U_0/R_y = 0,9 U_2/R_y.$$

Transformatorning ikkilamchi har bir yarim chulg'ami toki-ning ta'sir etuvchi qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_2 = \frac{I_m}{2} \frac{2}{m} + \sin\left(\frac{2\pi}{m}\right) = \frac{I_m}{2} = 1,28 \cdot I_0.$$



10.13-rasm. Transformator ikkilamchi zanjiridan nolinchi chiqish chiqarilgan ikki taktli to'g'rilash sxemasi (a) va uning vaqt diagrammalari (b).

Yuklamadagi pulsatsiyalar chastotasi $f_{t.k.p} = 2f_{tar}$. Yopiq ventil transformator ikkilamchi chulgʻamlari uchlari orasidagi potentsiallar farqiga teng boʻlgan teskari kuchlanish taʼsiri ostida boʻladi. Potentsiallar farqining maksimal qiymati bitta ikkilamchi yarim chulgʻamdagi kuchlanishning ikkilangan amplitudaviy qiymatiga teng boʻladi:

$$U_{TES} = 2U_m = 2\sqrt{2}U_2.$$

Demak, bu sxemada yopiq ventildagi teskari kuchlanish koʻpriksimon sxemadagiga nisbatan ikki marta katta boʻladi.

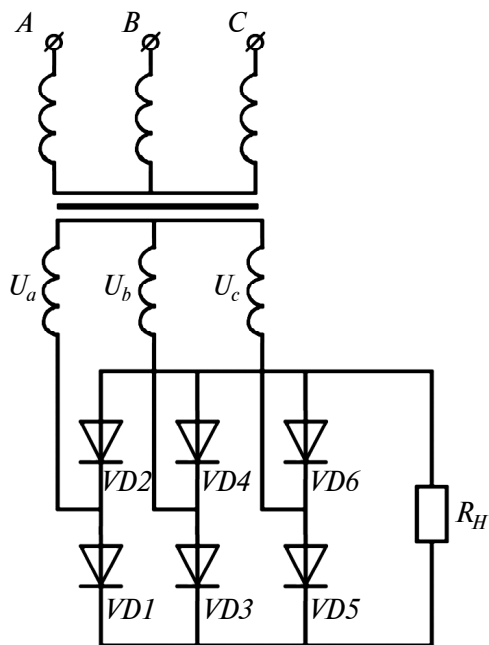
Uch fazali ikki taktli sxema (Larionov sxemasi)

Bunda transformatorning ikkilamchi chulgʻamini yulduz yoki uchburchak sxemada ulash mumkin, lekin u koʻpincha yulduz sxemada ulanadi, chunki bunda toʻgʻrilangan kuchlanishning yarmini olish uchun nolinchi nuqtadan foydalanish imkoniyati bor (10.14-rasm).

Transformator chulgʻamlarining har bir fazasi bir ventiling anodiga va ikkinchi ventiling katodiga ulanadi. Uchta ventil (1, 3, 5) anodlari bilan oʻzaro umumiy nuqtaga ulanadi va chiqishda (—) qutb boʻladigan anod guruhini tashkil qiladi, boshqa uchta ventillar esa, chiqishda (+) qutb boʻladigan katod guruhini tashkil qiladi.

Anod guruhi katodida eng katta manfiy potensial boʻlgan ventil, katod guruhi anodida esa eng katta musbat potensial boʻlgan ventil ochiq boʻladi. Istalgan vaqt momentida tok ikki ketma-ket ulangan ventil, yuklama qarshiligi va ikki fazalar chulgʻamlaridan oqib oʻtadi.

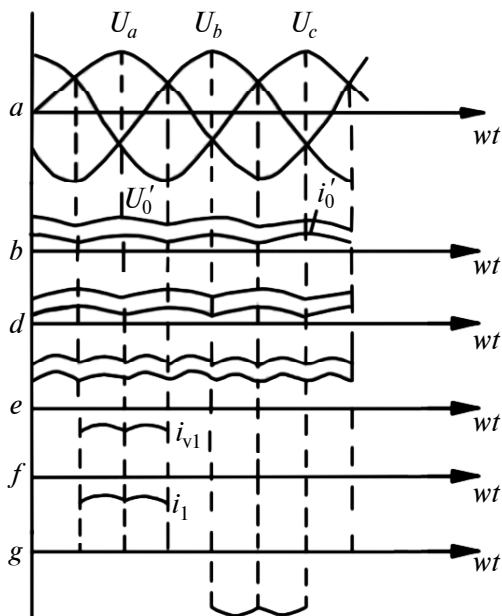
Har bir ventillar juftligi davrning 1/6 qismida ishlaydi. Fazalarni qoplash tartibi qaysi ventillar juftligidan tok oqib oʻtishini



10.14-rasm. Uch fazali ikki taktli sxema
(Larionov sxemasi).

aniqlaydi. Agar bu tartibni o'zgartirilsa, u holda ketma-ket ulangan ventillar tartibi o'zgaradi. To'g'rilangan tokning har bir davrida transformatorning har bir fazasi orqali $1/3T$ mobaynida musbat qutbli ikkita tok impulsi (har bir impuls $T/6$ uzunlikda) va o'sha uzunlikdagi manfiy qutbli ikkita tok impulsi oqib o'tadi (10.15-rasm).

Shunday qilib, transformatorning har bir fazasi davrning $2T/3$ qismi mobaynida, har bir ventil esa davrning $T/3$ qismi mobaynida ishlaydi. To'g'rilagich chiqishidagi kuchlanish (bu sxema uchun $m = 6$) kuchlanishlar oltita taktlarini to'g'rilashda olingan og'maga, uning qiymati esa bu fazalardagi ventillarning ochilish davrlaridagi ikki fazalar orasidagi chiziqli kuchlanishning o'niy qiymatiga teng bo'ladi.



10.15-rasm. Uch fazali ikki taktli sxemaning vaqt diagrammalari.

To'g'rilangan kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchisi-ning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U_0 = (m/\pi) \cdot \sqrt{2} U_2 \cdot \sin(\pi/m) = (6/\pi) \cdot U_2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\pi/6) = 2,34 \cdot U_2.$$

To'g'rilangan tokning o'zgarmas tashkil etuvchisining qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I_0 = 1,22 \cdot I_2,$$

bu yerda, I_2 — transformator har bir fazasi tokining ta'sir etuvchi qiymati. To'g'rilangan kuchlanish va tok pulsatsiyasining chastotasi $f_{nt.k.ch.} = 6f_{tar}$.

Har bir ventildagi teskari kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

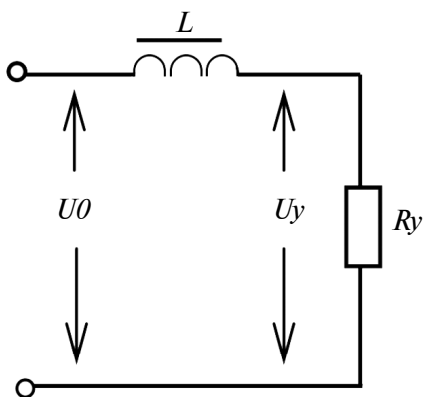
$$U_{TES} = 2,457 \cdot U_2.$$

10.11. Filtrlarning silliqlash xususiyati

Induktivli filtr yuklamaga ketma-ket ulangan L drosseldan iborat. 10.16-rasm drosselni silliqlash xossasi to'g'rilangan kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisining o'zgarishlariga to'sqinlik qiluvchi undagi o'zinduksiya EYK larining vujudga kelishiga asoslangandir.

Drosselning $X_L = \omega_p L$ qarshiligi tokning o'zgarmas tashkil etuvchisi uchun nolga teng (bu yerda $\omega_p = 2\pi f_p = 2\pi m f_c = m\omega_s$), tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi uchun esa nolga teng emas va drossel qarshiligida kuchlanishni o'zgaruvchan tashkil etuvchisining pasayishiga ega bo'lamiz. Pulsatsiyalarni yaxshi silliqlash uchun drosselning induktiv qarshiligi R_y yuklama qarshiligidan ko'p martaga katta bo'lishi kerak (ya'ni $X_{Lq}\omega_p L \gg R_y$), u holda bunday filtrning silliqlash koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_c = \frac{K_{p.kir}}{K_{p.chiq}} \approx \frac{\sqrt{R_y^2 + (m\omega_c L)^2}}{R_y}.$$



10.16-rasm. Induktivli filtr.

Bunda filtrning aktiv qarshiligini e'tiborga olmaymiz ($R_{dr} = 0$).

Odatda, to'g'rilash sxemasini va yuklamada ruxsat etiladigan pulsatsiya koeffitsiyentini bilgan holda K_s silliqlash koeffitsiyentini oson aniqlash mumkin. Filtr drosselning zarur induktivligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$L \approx \frac{R_y}{m\omega_C} \sqrt{K_C^2 - 1}.$$

Induktivli filtrlarni katta quvvatli ko'p fazali to'g'rilagichlarda va uncha katta bo'lmagan R_y yuklama qarshiliklarida qo'llash mumkin, bunda filtr induktivligi kichik gabaritga ega bo'ladi va undagi aktiv yo'qotishlarni e'tiborga olmaslik mumkin.

Induktivli filtrlar quyidagi kamchiliklarga ega:

1) yuklama toki keskin o'zgarganida drosselda katta o'zinduksiya EYK vujudga keladi, bu drossel chulg'amlarida izolatsiyalangan uchun xavfli bo'lgan ortiqcha kuchlanishni keltirib chiqaradi;

2) yuklama toki o'zgarganida bunday filtrning silliqlash prinsipi o'zgaradi, chunki (2.25) formulaga muvofiq drossel induktivligi R_y yuklama qarshiligiga bog'liq.

Afzalliklari esa, oddiyligi, kichik quvvat yo'qotishlari va kuchlanishning chiqishida kam o'zgarishidan iborat.

Sig'imli filtrning ishlash prinsipi quyidagicha: to'g'rilagichda kuchlanish ortganida kondensator elektr energiyani yig'adi, to'g'rilagichdagi kuchlanish kamayganda esa kondensatorda yig'ilgan energiya yuklama orqali zaryadlanadi (10.17-rasm). Pulsatsiyani aniqlash uchun kondensatorning sig'im qarshiligi yuklama qarshiligidan sezilarli kichik bo'lishi kerak:

$$X_S = 1/(\omega_S S) \ll R_y.$$

U holda kondensator yuklamani shuntlagandek bo'ladi, shuning uchun tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchisining katta qismi kondensatordan oqib o'tadi, bunda o'zgarmas tashkil etuvchi uchun kondensatorning qarshiligi $X_s = \infty$ bo'ladi va o'zgarmas tashkil etuvchi yuklama orqali oqib o'tadi. To'g'rilagich sig'im filtrga ishlaganda kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisining amplitudasi θ kesish burchagiga bog'liq bo'ladi, u holda

$$U_{01m} = \frac{U_0 \cdot H}{r_f C},$$

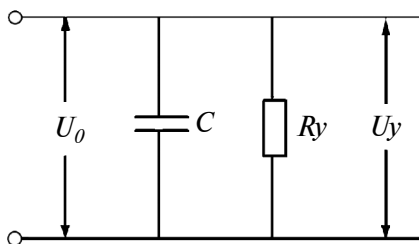
bu yerda, H — ma'lum qiymatda $H = f(A)$ grafik bog'liqlikdan aniqlanadigan va θ kesish burchagiga bog'liq bo'lgan parametr. U holda S — filtr chiqishidagi pulsatsiya koeffitsiyenti quyidagicha ko'rinishda bo'ladi:

$$K_{P.CHIQ} = \frac{U_{01m}}{U_0} = \frac{H}{r_f \cdot C}.$$

Sig'im bo'lganida to'g'rilagich chiqishida pulsatsiya koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_{P.KIR} = 2/(m^2 - 1).$$

U holda sig'imli filtrning aniqlash koeffitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi:



10.17-rasm. Sig'imli filtr.

$$K_C = \frac{2/(m^2 - 1)}{H/(r_f \cdot C)}.$$

Odatda, yuklamadagi pulsatsiya koeffitsiyenti aniq bo'ladi, bunda filtrning zarur sig'imi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$S = N/(r_f \cdot K_{P.chiq}).$$

Bundan ko'rinadiki, m ning ortishi bilan induktiv filtrning silliqlash koeffitsiyenti ortadi, sig'imli filtrning silliqlash koeffitsiyenti esa kamayadi, shuning uchun sig'imli filtrlar bir fazali toklarni to'g'rilashda va katta yuklama qarshiliklarda qo'llaniladi, chunki R yuklama qarshiligi ortganda filtrning silliqlashi ortadi.

Sig'imli filtrning afzalliklari oddiyligi va kichik quvvat yo'qotishlari hisoblanadi.

Sig'imli filtr quyidagi kamchiliklarga ega:

1) sig'imli filtr to'g'rilagich diodlariga qo'yiladigan teskari kuchlanishning ortishiga olib keladi;

2) yuklama toki katta bo'lganida filtrga katta sig'im kerak bo'ladi, aks holda yuklamadagi kuchlanish kondensatorning tez zaryadsizlanishidan kelib chiqadigan yuklama tokining ortishi bilan keskin kamayib ketadi;

3) ko'p fazali to'g'rilash sxemalarida bunday filtr qo'yilsa, kesish burchagi keskin kamayib ketadi va faza o'tkazib yuborilishi mumkin, ya'ni to'g'rilagich diodlaridan biri tokni o'tkazmaydi;

4) kondensatorning zaryadlanish toki katta va to'g'rilagich orqali oqib o'tadi, bunda diod tokining kesish burchagi kuchli kamayadi;

5) to'g'rilagich diodlari orqali faqat to'g'rilagich kichik ichki qarshiligi orqali chegaralanadigan katta tok amplitudasi o'tadi.

10.12. Bir zvenoli G-simon LC-filtrlar

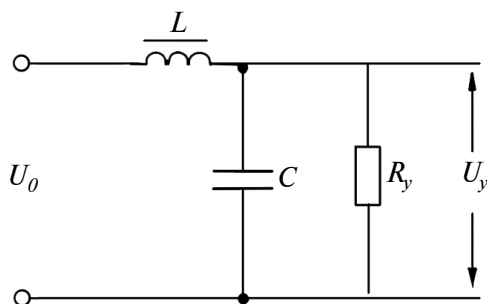
U drossel hamda kondensatordan iborat bo‘ladi. Bunday filtr sezilarli katta silliqlash ko‘effitsiyentini ta‘minlaydi (10.18-rasm). Bunda birlamchi garmonika uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$X_{SI} = 1/(m \cdot \omega_S \cdot S) \ll R_y \ll \omega_S \cdot L = X_{L1},$$

u holda, har bir element alohida qo‘llanilgandan ko‘ra birgalikda qo‘llanilsa yaxshiroq bo‘ladi.

Bu shartning bajarilishida to‘g‘rilangan kuchlanish o‘zgaruvchan tashkil etuvchisi uchun zanjirning umumiy qarshiligi kuchli kamayadi, shuning uchun drossel orqali oqib o‘tadigan to‘g‘rilangan tokning o‘zgaruvchan tashkil etuvchisi ortadi, undagi kuchlanishning pasayishi ortadi, demak, yuklamada kuchlanishning o‘zgaruvchan tashkil etuvchisi sezilarli kamayadi (L va C elementlar alohida qo‘llanilgandagiga nisbatan taqqoslanganda). Bu holda, drossel aktiv qarshiligini e‘tiborga olmaganida, $U_0 = U_y$ deb hisoblash mumkin. U holda G-simon filtrning silliqlash ko‘effitsiyenti quyidagiga teng bo‘ladi.

$$K_S = U_{01m}/U_{N1m} = (m \cdot \omega_S)^2 \cdot L \cdot C - 1.$$



10.18-rasm. Bir zvenoli G-simon LC-filtr.

Agar $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ekanligini hisobga olsak, u holda quyidagiga ega bo'lamiz.

$$K_S = (m \cdot \omega_S / \omega_0)^2 - 1.$$

Agar silliqlash koeffitsiyenti ma'lum bo'lsa, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$LC = (K_S + 1) = (m \cdot \omega_S)^2.$$

Ko'pincha filtrga to'g'rilagichga induktiv reaksiya qilish talabi qo'yiladi, shuning uchun u induktivlikdan boshlanadi. Induktivlikning qiymati quyidagi shartni qanoatlantirishi kerak bo'ladi:

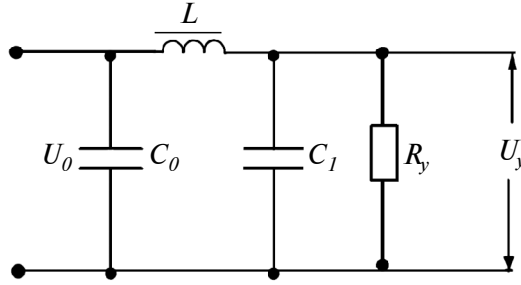
$$L \geq \frac{2 \cdot R_y - 2 \cdot U_y}{(m^2 - 1) \cdot m \cdot \omega_C \cdot (m^2 - 1) \cdot m \cdot \omega_C \cdot I_0}.$$

L ni aniqlab C ni topish mumkin. Umumiy holda L va C ning qiymatlarini yuklama xarakteriga bog'liq ravishda turli uslublarda aniqlash mumkin. Amalda L va C larni tanlash shartlari tejamkorlik shartlari, rezonans jarayonlarning yo'qligi va o'tish jarayonlarini to'g'rilagich normal ish rejimiga kamroq ta'siri orqali chegaralanadi. Induktivlikdan boshlanadigan LC filtrlar ko'pincha quvvatli diodlarda ishlash uchun qo'llaniladi.

10.13. Bir zvenoli P-simon LC-filtrlar

P-simon LC filtrni S_0 sig'im filtridan va L, C_1 elementlaridan iborat G-simon filtrlardan tashkil topgan ikki zvenoli filtr ko'rinishda tasvirlash mumkin (10.19-rasm).

Bunday filtrning silliqlash prinsipini har ikkala zvenolarning birgalikdagi ishlash tarzida tushuntirish mumkin va uning silliqlash koeffitsiyenti har ikkala zvenolarning silliqlash koeffitsiyentlarining ko'paytmasiga teng, ya'ni



10.19-rasm. Bir zvenoli P-simon LC-filtri.

$$K_{SP} = K_{SS0} \cdot K_{SG},$$

yoki K_{SS0} va K_{SG} qiymatlarini qo'ysak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$K_{SP} = \frac{2r_f C_0}{H(m^2 - 1)} \cdot (L_1 C_1 m^2 \omega_C^2 - 1).$$

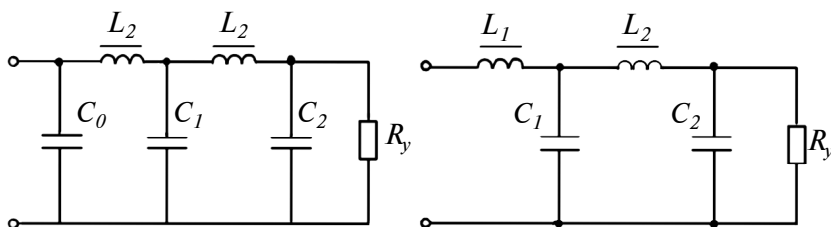
Odatda, P-simon filtrlarni S_0 kondensatorning m , r_f , N va $K_{p.chiq}$ parametrlarini bilgan holda hisoblash mumkin. Keyingi K_{SS0} va K_{SG} lar ma'lum bo'lgani uchun LC_1 parametrlarni aniqlashga qaratiladi:

$$LC_1 = \frac{K_{SP} H(m^2 - 1)}{2r_f C_0 (m\omega_C)^2} + \frac{1}{(m\omega_C)^2}.$$

P-simon filtrning eng katta silliqlash koeffitsiyenti $S_0 = C_1$ bo'lganda olinadi.

10.14. Ko'p zvenoli LC-filtrlar

Pulsatsiyalarni yaxshi silliqlash talab qilinganida ko'p zvenoli LC-filtrlar qo'llaniladi. Ular bir nechta ketma-ket ulangan G-simon zvenolardan iborat bo'lib, G-simon filtri kabi induktivlikdan, P-simon filtri kabi sig'imdan boshlanishi mumkin (10.20-rasm).



10.20-rasm. Ko'p zvenoli filtrlar.

Bunday filtr silliqlash ko'effitsiyenti alohida zvenolar silliqlash ko'effitsiyentlari ko'paytmasiga teng, ya'ni

$$K_S = K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot \dots \cdot K_{Sp},$$

bu yerda, n — filtr zvenolarining soni.

S_0 sig'imni to'g'rilagichni hisoblab topish mumkin, u holda alohida zvenolar silliqlash ko'effitsiyentlari quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{SG1} = (m\omega_S)^2 L_1 C_1, \quad K_{SG2} = (m\omega_S)^2 L_2 C_2.$$

Alohida ko'p zvenoli filtrlarda zvenolar bir xil silliqlash ko'effitsiyentlariga ega bo'lishi qulay, ya'ni $K_{s1} = K_{s2} = \dots = K_{sn}$, u holda butun filtrning silliqlash ko'effitsiyenti quyidagiga teng bo'ladi: $K_{s1} = K_{sn}$ barcha zvenolar bir xil L va C elementlardan tashkil topgani uchun (ya'ni $L_1 = L_2 = \dots = L_n$ va $S_1 = S_2 = \dots = S_n$) quyidagini yozish mumkin:

$$K_S = (m\omega_S)^{2p} (L_{zv} C_{zv})^p = K_{S_{zv}}^p,$$

bu yerda, $K_{S_{zv}}$ — birinchi zvenoning silliqlash ko'effitsiyenti.

Bundan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$L_{zv} C_{zv} = n \sqrt{\frac{K_c}{(m \cdot \omega_C)^2}}.$$

$L_{zv}S_{zv}$ ko'paytma aniqlangandan so'ng filtrning w_0 o'z chastotasini to'g'rilangan kuchlanish asosiy garmonikasi w chastotasi bilan taqqoslash kerak. Rezonans bo'lmashligi uchun filtrning o'z chastotasi $w_0 \leq 0,5r \cdot w$ shartga rioya qilishi kerak, $w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ bo'lganligi uchun $LC \geq 4/(m \cdot w)^2$ ga ega bo'lamiz, formulaga muvofiq $K_s \geq 3$ bo'lsa bajariladi.

Yuklama o'zgarish bo'lganida $\omega = \omega_c$, impulsli yuklamada $\omega = \omega_n$ bo'ladi, bu yerda ω_n — yuklama impulsleri chastotasi. U holda quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$K = \omega_i / \omega_s$$

va rezonansning bo'lmashligi sharti quyidagicha yoziladi:

$$\omega_0 \leq 0,5 \cdot \omega_i = 0,5 \cdot K\omega_s.$$

Ushbu shart $K_s \geq (2m/K)^2 - 1$ bo'lsa bajariladi, aks holda LC ko'paytmani oshirish kerak bo'ladi.

Bunday filtrlar uchun L_{zv} induktivlik va S_{zv} sig'im qiymatlari filtrning induktivlik reaksiyasini ta'minlash shartidan, ya'ni L_{zv} shartdan aniqlanadi, keyin esa S_{zv} aniqlanadi.

10.15. Aktiv filtrlar

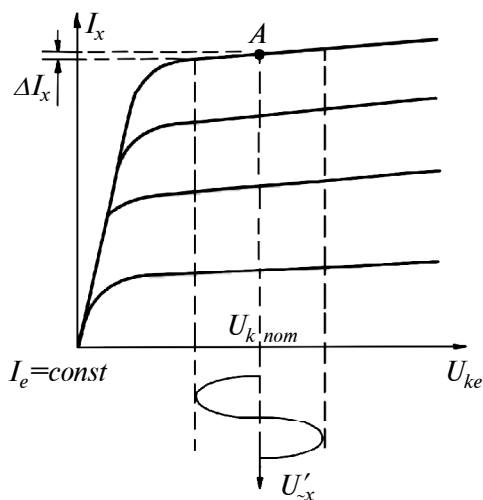
Silliqlovchi LC - va RC - filtrlar qator kamchiliklarga ega, ularning asosiylari quyidagilar:

- 1) filtr drosselining kattaligi va qimmatligi;
- 2) silliqlash koeffitsiyentining yuklama tokiga bog'liqligi;
- 3) drosselning elektromagnit xalaqitlarni vujudga keltirishi;
- 4) filtrlarda o'tish jarayonlarining vujudga kelishi;
- 5) sekin tebranishlar va kuchlanish o'zgarishining to'sqinliksiz yuklamaga uzatilishi;

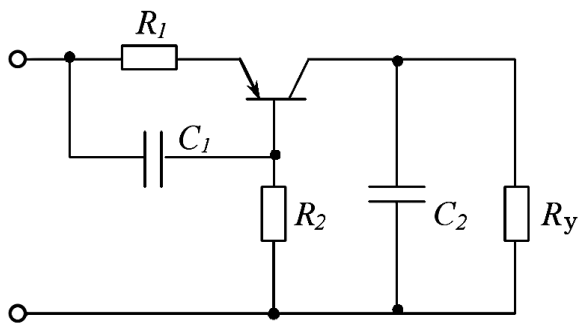
6) RC-filtrlarda kuchlanish pasayishining kattaligi, kichik silliqlash qobiliyati va boshqalar.

Bu kamchiliklardan qutulish uchun elektron filtrlardan foydalaniladi. Ular tranzistorlarda va integral mikrosxemalarda yig'iladi. Ularning ishlash prinsiplari tranzistor ma'lum ish rejimlarida o'zgarmas va o'zgaruvchan toklar uchun turli qarshiliklarni hosil qilishga asoslangandir. Bu tranzistorning $I_K = f(U_{ke})$ tavsifidan ko'rinadi. Tranzistorning o'zgarmas tok bo'yicha qarshiligi $R_0 = U_{ke}/I_K$, bu yerda, I_K — katta, o'zgaruvchan tok bo'yicha qarshiligi esa $R_{\sim} = \Delta U_{ke}/\Delta I_K$, bu yerda ΔU_{ke} — katta, ΔI_K — kichik, shuning uchun $R_{\sim} \gg R_0$ bo'ladi. Tranzistorning silliqlashni ta'minlashi uchun A ishchi nuqtani shunday tanlash kerakki, kollektorga qo'yilgan kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi A ishchi nuqtani tafsifning tekis oralig'i chegaralaridan siljitib yubormasin, ya'ni I_K deyarli o'zgarishsiz qolishi kerak.

Oddiy tranzistorli filtrlarda yuklama emitter zanjiriga yoki kollektor zanjiriga ulanadi (10.21-rasm).



10.21-rasm. Tranzistorning chiqish tavsifi.



10.22-rasm. Emitter filtrning prinsipial sxemasi.

Yuklama kollektor zanjiriga ulangan filtrda uning rejimi LC-zanjirning vaqti doimiysi orqali aniqlanadi (10.22-rasm). Bu zanjir, agar vaqt doimiysi kirish kuchlanishi pulsatsiyasi davridan juda katta bo'lsa, emitter tokini stabillaydi.

U holda A nuqta kirish kuchlanishi pulsatsiyasi ta'siri ostida kollektor tavsifining tekis oralig'i bo'yicha xarakterlanadi (I_k tok kollektor potensialiga deyarli bog'liq emas, asosan esa I_e emmitter toki orqali aniqlanadi, shuning uchun $I_e = \text{const}$ ni ushlab turishda kirish kuchlanishining har qanday o'zgarishi faqat A nuqtani o'ngga yoki chapga I_k tok qiymatini deyarli o'zgartirmasdan siljitadi). U holda I_k tok kam o'zgaradi, yuklamadagi $U_y = I_k R_{yu}$ kuchlanish esa deyarli o'zgarishsiz qoladi. Tranzistor chiqishidagi sezilarsiz pulsatsiya S_2 kondensator orqali silliqilanadi. R_2 qarshilik berilgan rejimni o'rnatish uchun xizmat qiladi.

10.16. Stabilizatorlar

Kuchlanish yoki tok stabilizatorlari, deb ta'minot kuchlanishi, tarmoq chastotasi, atrof-muhit temperaturasi va boshqalar o'zgarganda yuklamadagi tok va kuchlanishni qiymat bo'yicha o'zgarimas ushlab turuvchi qurilmaga aytiladi.

Ishlash prinsipiga ko'ra, stabilizatorlar parametrik, kompensatsion va impulsli stabilizatorlarga ajratiladi.

Parametrik stabilizatorlarda stabillash nochiziqli elementlar xususiyatlaridan foydalanib amalga oshiriladi. Ularda ko'pincha teskari aloqa mavjud bo'ladi.

Kompensatsion stabilizatorlarda stabillash teskari aloqa zanjiri orqali chiqish kuchlanishi yoki toki o'zgarishining rostlovchi elementga ta'siri hisobiga amalga oshiriladi.

Kompensatsion stabilizatorlar berk avtomatik rostlash tizimi bo'lib, ularda tok rostlovchi elementdan uzluksiz yoki uzlukli bo'lib oqib o'tadi.

Rostlash uslubi bo'yicha kompensatsion stabilizatorlar ketma-ket va parallel turlarga bo'linadi.

Stabillash aniqligi bo'yicha stabilizatorlar 4 sinfga bo'linadi:

1. Kichik stabillash. Kuchlanish va tokning ruxsat etiladigan o'zgarishi 5 % dan yuqori.

2. O'rta stabillash. Kuchlanish va tokning ruxsat etiladigan o'zgarishi 1—5 % gacha.

3. Yuqori stabillash. Kuchlanish va tokning ruxsat etiladigan o'zgarishi 0,1—1 % gacha.

4. O'ta yuqori (pretsizion) stabillash. Kuchlanish va tokning ruxsat etiladigan o'zgarishi 0,1% dan kichik.

10.17. Parametrik stabilizatorlar

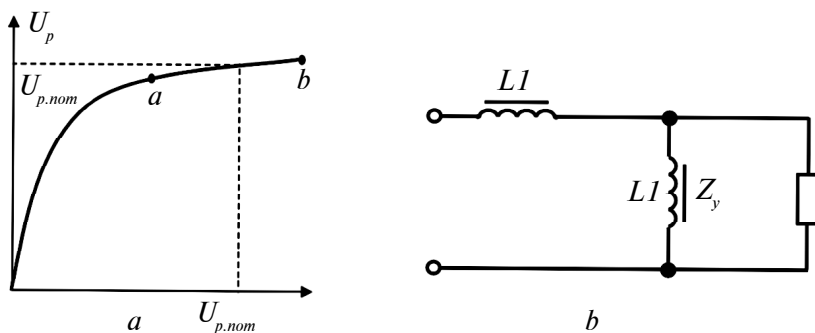
Nochiziqli elementlarning xossalaridan foydalanib, kuchlanish (tok) ni stabillashni amalga oshiradigan stabilizatorlar parametrik stabilizatorlar deyiladi.

Parametrik stabilizatorlarda kirish kuchlanishining yoki yuklama tokining o'zgarishi bevosita nochiziqli elementga ta'sir qiladi. Chiqish kuchlanishining (yoki yuklama tokining) talab

qilingan qiymatdan o'zgarishi nochiqliq element VAXining nochiqliqliligi darajasi orqali aniqlanadi. Nochiqliq elementlar sifatida o'zgaruvchan kuchlanish (tok) stabilizatorlarida drossellar (10.23-rasm), o'zgaras kuchlanish (tok) stabilizatorlarida esa stabilitron, stabistor va maydoniy tranzistorlar qo'llaniladi (10.24-rasm).

O'zgaruvchan kuchlanishni parametrik stabillash o'zgaruvchan tok uchun nochiqliq VAXga ega bo'lgan nochiqliq elementlar yordamida amalga oshiriladi. Bunday tafsifga magnit o'tkazgichi to'yinish rejimida ishlovchi drossel ega bo'lib (10.23-*a* rasm), bunda magnit o'tkazgichning to'yinishiga mos keluvchi a — b oraliq drosselning ish oralig'i hisoblanadi.

Sxemada to'yingan drossel L_2 Z_Y yuklamaga parallel ulanadi. Ballast qarshilik sifatida VAXi chiziqli bo'lgan L_1 drossel qo'llaniladi. Sxemaning ishlash prinsipi quyidagicha: U_{kir} kirish kuchlanishi o'zgarganda U_{chiq} chiqish kuchlanishi va L_1 chiziqli drosseldagi kuchlanish ortadi. L_2 to'yingan drosseldagi tok keskin ortadi. Lekin bunda L_1 drosseldagi kuchlanishning pasayishi ortadi, L_2 drosseldagi va Z_Y yuklamadagi kuchlanish sezilarsiz ortadi.



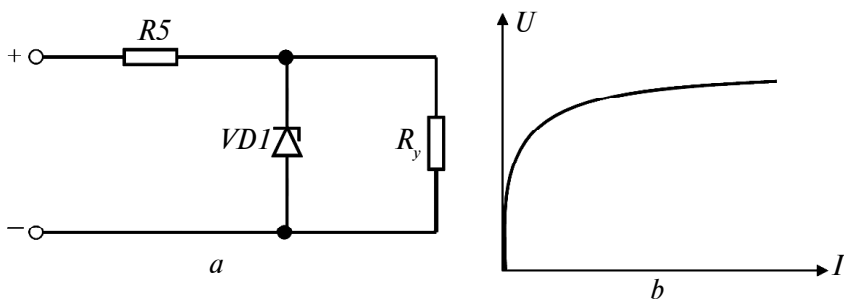
10.23-rasm. Drosselning VAXi (a) va o'zgaruvchan kuchlanish parametrik stabilizatorining sxemasi (b).

Eng oddiy oʻzgaruvchan kuchlanish parametrik stabilizatorining afzalligi oddiyligi boʻlsa, uning kamchiliklari FIKning kichikligi (0,4...0,6), stabillash koeffitsiyentining kamligi (KST 10), shuningdek, ogʻirligi hisoblanadi.

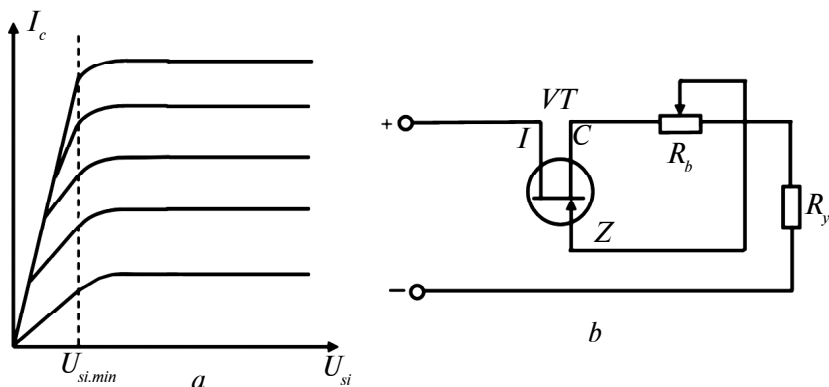
Oʻzgarmas kuchlanish parametrik stabilizatorlarida nochiqli elementlar sifatida stabilitronlar, stabistorlar va maydoniy tranzistorlar qoʻllaniladi. VD stabilitronda yigʻilgan parametrik stabilizatorning prinsipial sxemasi 10.24-rasmda keltirilgan boʻlib, R_b ballast rezistorning qarshiligi shunday tanlanadiki, undagi kuchlanishning pasayishi (0,5...3) U_Y ni tashkil qilishi kerak. Kirish kuchlanishi ortganda U_{chiq} kuchlanish ortadi. Lekin VD stabilitrondagi uncha katta boʻlmagan ΔU_{st} kuchlanishning oʻzgarishi undagi tokning keskin ortishiga olib keladi. Bunda R_b rezistordagi kuchlanishning pasayishi ortadi, R_Y yuklamadagi kuchlanish esa sezgarsiz oʻzgaradi. Stabilizator kirishidagi U_{kir} kuchlanishning oʻzgarishi R_b ballast rezistordagi kuchlanishning va stabilitrondagi kuchlanishning oʻzgarishi yigʻindisiga teng:

$$\Delta U_{kir} = \Delta U_{Rb} + U_{st}.$$

Ballast rezistorining qarshiligi stabilizator qarshiligidan ancha katta ($R_b \gg R_{st}$) ekanligini eʼtiborga olsak, u holda kirish kuch-



10.24-rasm. Stabilitronda yigʻilgan parametrik stabilizator sxemasi (a) va stabilitronning VAXi (b).



10.25-rasm. Maydoniy tranzistor VAXi (a) va maydoniy tranzistorda yig'ilgan parametrik stabilizatorning sxemasi (b).

lanishining har qanday o'zgarishi stabilitronning R_{st} qarshiligida ajraladi va yuklamadagi kuchlanish o'zgarishsiz qoladi.

Bu sxemaning kamchiliklariga FIKning kichikligi (0,3), stabilizatorning katta ichki qarshiligi (5...20 Om) va chiqish kuchlanishining kichik diapazonga egaligini kiritish mumkin. Stabilizatorning afzalliklari esa oddiyligi, ishonchliligi, hajmining va massasining kichikligidir.

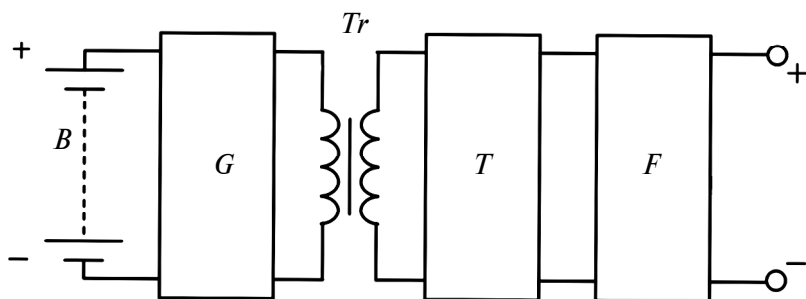
O'zgarmas tok parametrik stabilizatorlari toki unga qo'yilgan kuchlanishga sezilarli bog'liq bo'lmagan noxiziqli elementlarda yig'iladi. Bunday element sifatida maydoniy tranzistorlar qo'llaniladi (10.25-rasm). Maydoniy tranzistorlarda $U_{zi} = \text{const}$ bo'lganda I_s sezilarli o'zgarmaydi.

10.18. Tranzistorli o'zgartirgichlar

Tranzistorli o'z-o'zidan qo'zg'atishli o'zgartirgichlar (avto-generatorlar) o'zgarmas kuchlanishni o'zgartirish jarayonini 10.26-rasmda keltirilgan funksional sxemadan foydalangan holda tushuntirish mumkin. O'zgarmas tok manbayi akkumulator

batareyasi B hisoblanib, undan uncha katta bo'lmagan U_{kir} kuchlanish Tr transformatorga beriladi. Tr transformator o'zgaruvchan kuchlanishning shakllanishi va uning qiymatini o'zgartirish uchun xizmat qiladi. Akkumulator kuchlanishi o'zgarmas bo'lganligi uchun akkumulator va transformator orasiga o'zgarmas tok zanjirini davriy ravishda uzish va ulash maqsadida 350...400 Hzli tokuzgich qo'yish zarur. O'zgarmas tokuzgich sifatida tranzistorli generator G xizmat qiladi.

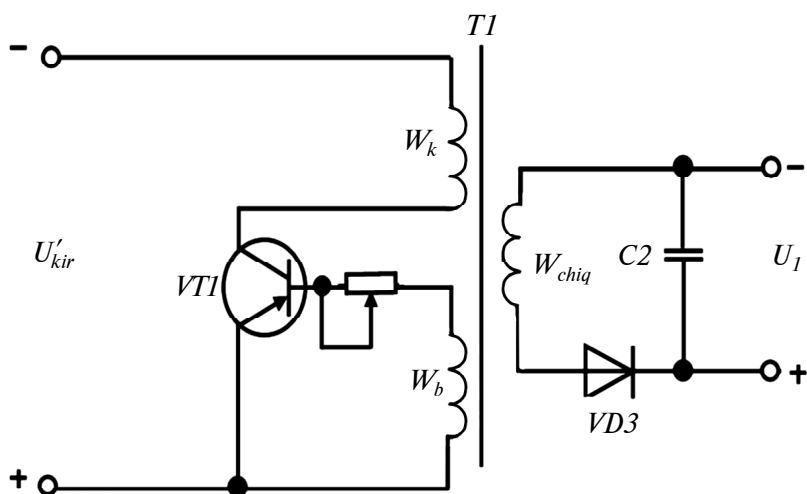
Transformator birlamchi chulg'amidagi tokning uzilishi magnit o'tkazgichda vaqt bo'yicha o'zgaruvchan $F(t)$ magnit oqimini vujudga keltiradi. Natijada chulg'amlarda magnit oqimi o'zgarish tezligiga va chulg'am o'ramlar soniga proporsional bo'lgan EYK induksiyalanadi. Shunday qilib, o'zgarmas kuchlanishdan to'g'ri burchakli impulslar shaklidagi o'zgaruvchan kuchlanish olinadi, ya'ni inverterlash amalga oshiriladi. To'g'ri burchakli impulslar transformator yordamida amplituda bo'yicha o'zgartiriladi va keyin F silliqlovchi filtrli T to'g'rilagichga beriladi. To'g'rilagich chiqishidan o'zgarmas kuchlanish olinadi. Bunday o'zgartirgich konvertor deyiladi. Uning chiqishidan kirish kuchlanishidan talab qilingan qiymatga farqlanuvchi o'zgarmas kuchlanish olinadi.



10.26-rasm. O'z-o'zidan qo'zg'atishli bir taktli o'zgartirgich (avtogenerator)ning tuzilish sxemasi.

O'z-o'zidan qo'zg'atishli tranzistorli bir taktli o'zgartirgich (10.27-rasm) prinsipial sxemasi U_{kir} o'zgarmas kuchlanish manbayi avtogenerator sxemasi bo'yicha kalit rejimida ishlovchi VT tranzistorda yig'ilgan tok uzgichi, magnit o'tkazgichi to'g'ri burchakli giztorezis halqali impuls transformator T1, bir yarim davrli to'g'rilagich va yuklamadan tashkil topgan.

O'zgartirgichning ishlash prinsipi impuls transformatori birlamchi chulg'amida kalit ravishda ishlovchi VT tranzistor yordamida o'zgarmas tokni uzishga asoslangan. Kollektor zanjiriga U_{kir} o'zgarmas kuchlanish qo'yilganda transformatorning W_k birlamchi chulg'amidan tok oqib o'ta boshlaydi. Ulanish momentidan boshlab tok oniy ravishda emas, ma'lum qonun bo'yicha ortadi. Shuning uchun tok impuls transformatori magnit o'tkazgichida o'suvchi magnit oqimini vujudga keltiradi. Bu o'zgaruvchan magnit oqimi W_b teskari aloqa chulg'amida o'zinduksion EYKni vujudga keltiradi. W_b teskari aloqa chulg'a-



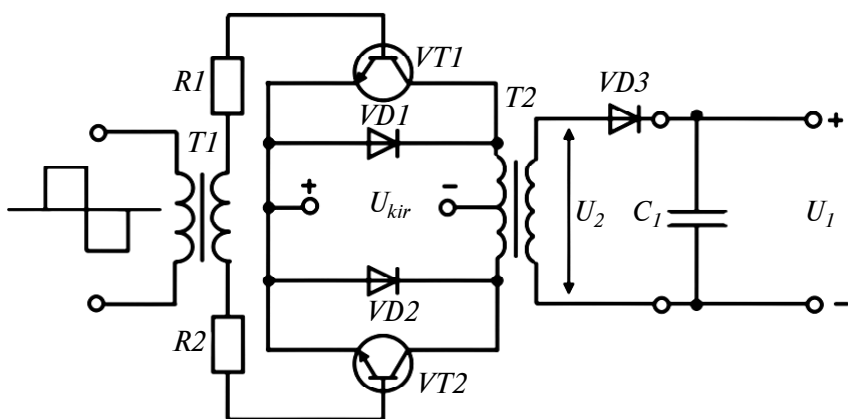
10.27-rasm. O'z-o'zidan qo'zg'atishli tranzistorli bir taktli o'zgartirgichning prinsipial sxemasi.

mining uchlari baza-emitter oraliqqa shunday ulanganki, kollektor toki ortganda bazaga og'uvchi potensial keladi. Tranzistor ochila borib, bundan keyingi kollektor tokining ortishiga imkoniyat yaratadi, ya'ni sxemada musbat teskari aloqa amalga oshiriladi. Kollektor va baza toklarining bunday ko'chkisimon ravishda tez ortishi magnit oqimi to'yinguncha davom etadi. Keyin bu toklarning ortishi to'xtaydi va o'zgarmas tokda transformator chulg'amlarida EYK induksiyalanmaydi. Natijada tranzistor bazasiga ochuvchi potensial kelmaydi va u yopila boshlaydi.

Tranzistor yopilishidagi kollektor tokining kamayishi qarama-qarshi yo'nalishdagi EYKni hosil qiladi va bazaga tranzistorni yopuvchi kuchlanish beriladi. Birlamchi chulg'am toki uziladi. Shunday qilib tranzistor, impuls transformatori va ta'minot manbayi kuchlanish bo'yicha transformatorli teskari aloqali relaksion generatorni tashkil qiladi. U o'zgarmas tokning uzilishini ta'minlaydi. Transformatorning ikkinchi chulg'amidan o'sha chastota va qutbdagi, lekin amplitudasi ortgan shakldagi impulslar olinadi. Bu impulslar VD diodda yig'ilgan to'g'rilagichga beriladi. To'g'rilagichdan keyin R_Y yuklamada talab qilingan qiymatdagi o'zgarmas kuchlanish shakllanadi.

Bir taktli o'zgartirgichning afzalligi uning sxemasining soddaligi va ishonchliligidir. Kamchiligi esa magnit o'tkazgichning doimiy magnitlanish natijasida kollektor chulg'amidan tok faqat bir yo'nalishda oqib o'tadi.

Eng soddta tuzilgan ikki taktli o'zgartirgich sxemasida T1 kuch transformatorining ikki birlamchi chulg'ami VT1 va VT2 tranzistorlari bazalari bilan ulangan, birlamchi ta'minot manbayi U_{kir} esa tranzistorlar emitterlari va T2 transformator birlamchi yarimchulg'amlari o'rta nuqtasi orasiga qo'yilgan (10.28-rasm).



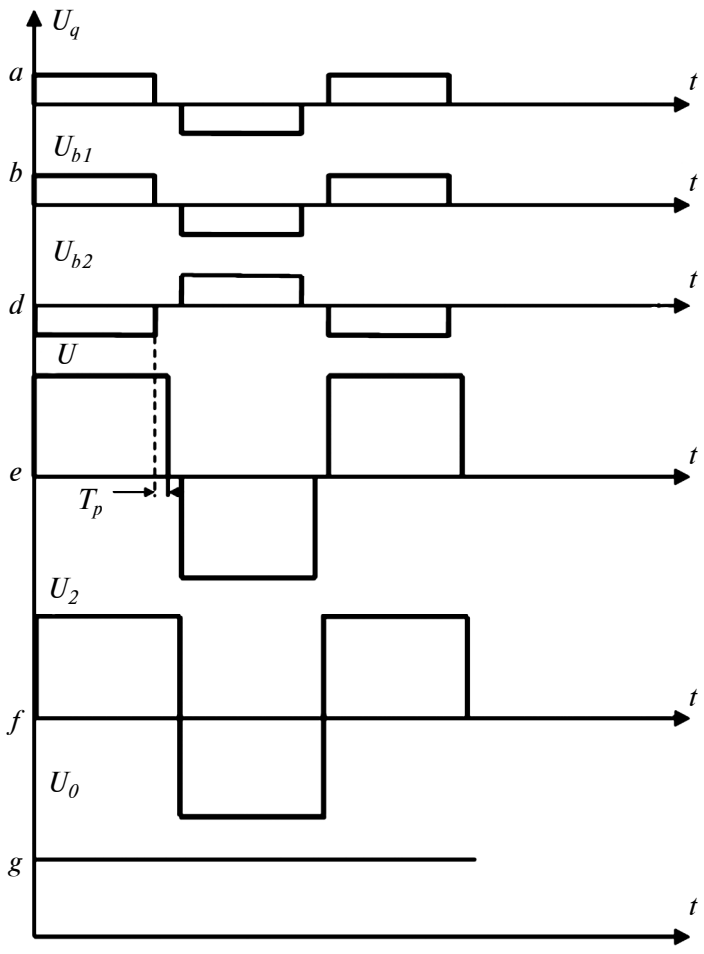
10.28-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli ikki taktili o'zgartirgichning prinsipial sxemasi.

Kuch tranzistorlari navbatma-navbat to'yinadi. Buning uchun T1 qo'zg'atuvchi transformatorning ikkilamchi chulg'amidan ularning bazalariga mos uzunlikdagi impulslar beriladi. T2 transformatorning ikkilamchi chulg'amidan olinadigan chiqish kuchlanishi impulslarining uzunligi ochuvchi impuls uzunligidan tranzistorlar bazalaridagi asosiy bo'lmagan tashuvchilarning zaryad so'rish vaqti t_r ga katta. Agar ochuvchi impuls uzunligi $T/2 - t_r$ ga teng deb olinsa, chiqishda meandr shaklidagi o'zgaruvchan kuchlanish olinadi. Bunday shakldagi kuchlanish to'g'rilagichda filtrsiz o'zgarmas kuchlanishga aylantiriladi.

Agar kuch tranzistorlarini nolli uzilishsiz to'g'ri burchakli kuchlanish impulsarlari bilan qo'zg'atilsa (10.29-d rasm), u holda bazadagi asosiy bo'lmagan tashuvchilarning zaryad so'rish vaqtiga teng bo'lgan vaqtda har ikkala tranzistor ochiq bo'ladi, bu esa kuch transformatori birlamchi chulg'aming qisqa vaqtli tutashuviga tengdir. Bunday har bir yarim davr oxiridagi qisqa vaqtli tutashuvlarning salbiy oqibatlarini bar-

taraf qilish uchun inverter sxemasiga qo'shimcha elementlar kiritish lozim bo'ladi.

Inverter aktiv-induktiv xarakterdagi yuklamada ishlaganida yuklama toki qutblarining o'zgarishi momentlari chiqish kuchlanish qutblari o'zgarishi momentlariga, shuningdek, kuch tranzistorlarini qayta ulanish momentlariga nisbatan kechga qoladi. Bu har bir yarim davrning boshlang'ich qismida kuch



10.29-rasm. Mustaqil qo'zg'atishli ikki taktli o'zgartirgichning vaqt diagrammalari.

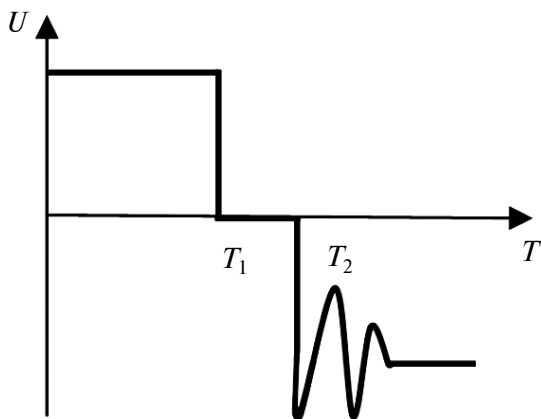
tranzistori orqali teskari yo'nalishda tok o'tishiga, ya'ni teskari tokning vujudga kelishiga olib keladi.

Tranzistor orqali oqib o'tadigan teskari tok impulsi o'z yo'nalishini o'zgartirmagan yuklama toki transformatorning boshqa birlamchi chulg'amiga va kuch tranzistoriga transformatsiyalanadi. Invers rejimda ishlayotgan tranzistorning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti kichik bo'ladi. Bunday kollektor tokida tranzistor to'yinish rejimidan chiqib ketishi mumkin, bu kuch zanjiridagi qo'shimcha quvvat isroflariga va tranzistorning kuyishiga olib kelishi mumkin.

Kuch tranzistori orqali oqib o'tadigan teskari tokni kamaytirish uchun invertor sxemasida kuch tranzistorlariga parallel ravishda shuntlovchi VD1 va VD2 diodlar ulanadi. Bunday diodlar agar invertor salt ishlaganida ishlay olsa ham, yuklama ravishda qo'yilishi mumkin. Bunda induktiv tok hisoblangan VT1 transformatorning magnitlash toki yarim davrining bir qismi davomida teskari yo'nalishda oqib o'tadi. Ba'zida shuntlovchi diodlar yo'qligida bunday magnitlovchi tok kuch tranzistorlarining ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

Tranzistorlarning kommutatsiyalanishini osonlashtirish maqsadida to'g'rilagich tarkibiga qo'shimcha zaryadsizlash diodi kiritiladi (10.28-rasm). Avval ochiq bo'lgan diodning yopilishidan so'ng chiqishdagi kuchlanish sakrash orqali o'z qutbini o'zgartiradi va bu qutb o'zgarishiga so'nuvchi yuqori chastotali tebranishlar sabab bo'ladi (10.30-rasm).

Bu tebranishlar transformator induktiv tarqalishining qayta zaryadlanishi, o'ramlararo sig'im va montaj sig'imlari oqibatida vujudga keladi. Katta quvvatli o'zgartirgichlarda ular radioxalqitlarning intensiv manbayi hisoblanadi. Shuning uchun ba'zida yuklamasi induktiv elementdan boshlanuvchi o'zgartirgichlardan foydalanmaslikka majbur qiladi.

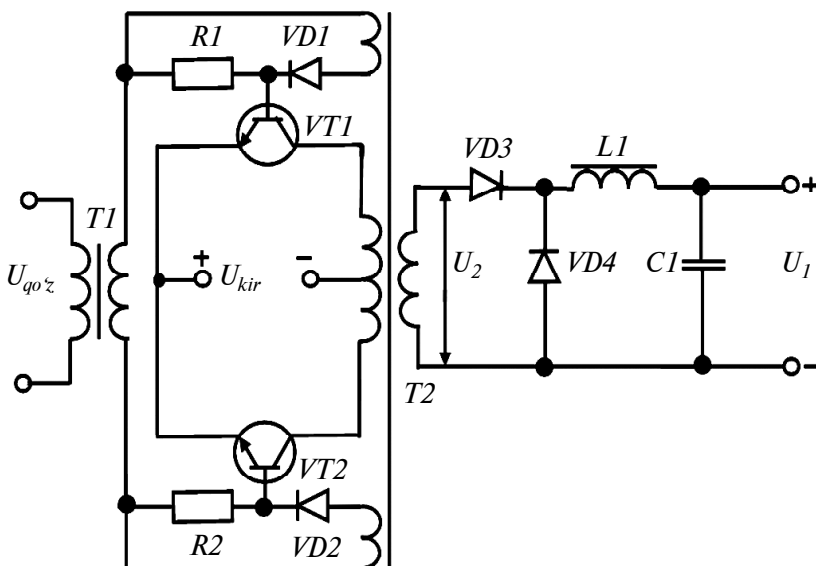


10.30-rasm. Soʻnuvchi yuqori chastotali tebranishlarning paydo boʻlishi.

Mustaqil qoʻzgʻatishli invertorlar tranzistorlarining kollektor toklarining keskin ortib ketishi ham yuqori chastotali xalaqitlarni keltirib chiqaradi. Bundan tashqari ular tranzistorlarning ortiqcha yuklanishiga sabab boʻladi. Bunday kamchiliklardan qutulishning faqat yagona usuli, birinchi tranzistor ochilishini ikkinchi tranzistorning yopilishigacha kechiktirishdir. Bu shart invertor tranzistorlarini nosimmetrik impulsar yoki nolli uzilish impulsari bilan boshqarilganda bajariladi. Bu har ikkala usul qoʻzgʻatkich sxemasini qurishda oʻzaro bogʻliq boʻlgan qiyinchiliklarga ega va toʻgʻrilagich yuklamasi oʻzgaruvchan boʻlganda yaxshi natijalarni bermaydi. Tranzistorning uzilish vaqti kollektor tokiga bogʻliq, shuning uchun ulanishni kechiktirish invertor yuklamasining oʻzgarishiga mos almashishi kerak.

Qaytar toklardan tuzatish sxemasi bilan bogʻlangan invertor sxemasi bu kamchiliklardan xolidir (10.31-rasm).

Undagi invertor transformatorining qoʻshimcha W_2 chulgʻamlaridan olinadigan kuchlanish tranzistorlar ochilishini



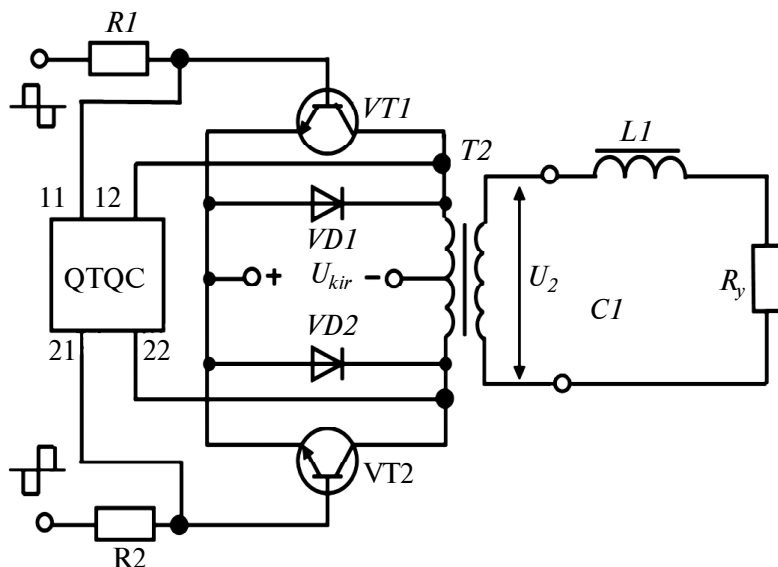
10.31-rasm. Qaytar toklardan tuzatish sxemasi bilan bog‘langan inverterli o‘zgartirgichning sxemasi.

kechiktirish uchun xizmat qiladi. U chiqish kuchlanishining kutbi o‘zgarmaguncha yopiq bo‘lgan tranzistorning ochilishini ushlab turishga imkon beradi. Shuning uchun faqat bir yelka tranzistori yopilgandan keyingina, ikkinchi yelka tranzistori bazasiga ochuvchi kuchlanish keladi. Tranzistor uzilganda baza zanjiridagi diod yopiladi va W_2 qo‘shimcha chulg‘amlardan olinadigan yopuvchi kuchlanish bazaga kelmaydi. Bunday inverter sxemasida kollektor toki impulslarida keskin ortish bo‘lmaydi, chiqish kuchlanishi esa nolli uzilishlarsiz bo‘ladi. Kommutatsion jarayonlar ularda deyarli bo‘lmaydi.

10.31-rasmda keltirilgan inverter kuch zanjiri T1 transformatoridan VT1 va VT2 tranzistorlardan, VD1 va VD2 diodlardan iborat. Invertorning yuklamasi transformatorning ikkilamchi chulg‘amidagi L1 induktiv element va R_Y rezistor hisoblanadi. Tranzistorlar nolli pauzalarsiz to‘g‘ri burchakli

impulslar orqali kommutatsiyalanadi. Bu impulslar qoʻzgʻatgichdan tranzistor bazalariga $R1$ va $R2$ rezistorlar orqali beriladi. Shuningdek, bu rezistorlar toʻyingan tranzistorlar baza toklarini cheklaydi. Avval aytib oʻtilganidek, bunday qoʻzgʻatish kuch zanjirida qisqa vaqtli qisqa tutashuvlarni vujudga keltiradi. Bu vaqtlarda har ikkala tranzistorlar ochiq boʻladi va ularda transformatorning birlamchi chulgʻamlarida kommutatsion toklar keskin ortadi. $VT1$ va $VT2$ tranzistorlar kommutatsion toklari transformatorning birlamchi chulgʻamlari oʻrta nuqtasidan U_{kir} taʼminot manbayining minus qutbiga oqib oʻtadi, yaʼni transformatorning ikkilamchi chulgʻamiga transformatsiyalanmaydi va shuning uchun bu toklar qaytar toklar deyiladi.

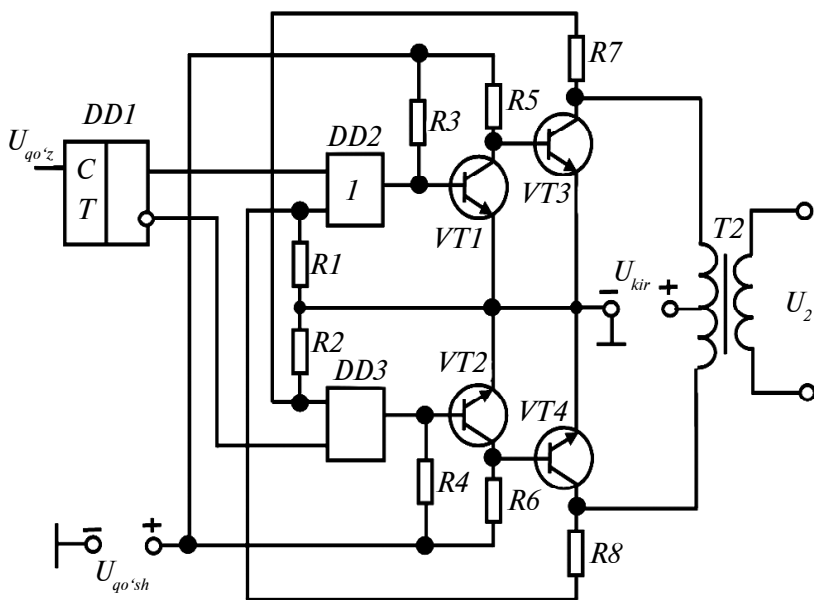
Kommutatsiya jarayonini yaxshilash maqsadida inverter sxemasiga qoʻshimcha ravishda qaytar toklardan qutulish sxemasi (QTQS) kiritiladi (10.32-rasm). U ikkita kirishga (11 va 21)



10.32-rasm. Kommutatsion xususiyatlari yaxshilangan inverterli oʻzgartirgich sxemasi.

va ikkita chiqishga (12 va 22) ega. VT1 tranzistorning yopiq holatiga mos keladigan invers chiqish kuchlanishining qutbiga sxemaning 12 ochiq va VT1 tranzistorning emitter-baza o'tishini shuntlaydi va qo'zg'atish zanjirini VT1 tranzistorni ochishiga VT2 tranzistor yopilmaguncha va chiqish kuchlanishining qutbi o'zgarmaguncha, ya'ni sxemaning 21 kirishida musbat potensial bo'lmaguncha yo'l qo'yilmaydi.

10.33-rasmda tasvirlangan o'zgartirgich invertorining qaytar toklardan qutulish sxemasida uchta DD1, DD2 va DD3 mantiqiy elementlardan foydalanilgan. DD1 mikrosxema trigger bo'lib, chiqishda (1 va 2 chiqishlar) o'zaro faza bo'yicha 180° ga surilgan musbat impulsar ketma-ketligini shakllantiradi. Bu impulsar ketma-ketligi VT1 va VT2 tranzistorlarning ochilishi



10.33-rasm. Boshqarish sxemasida mantiqiy elementlardan foydalanilgan kommutatsion xususiyatlari yaxshilangan inverterli o'zgartirgich sxemasi.

uchun zarur bo'ladigan impulsni shakllantirish uchun xizmat qiladi. Bunda DD2 va DD3 mikrosxemalar (moslashtirish sxemasi) ham ishtirok etadi. Ularning birinchi kirishlariga berilgan impuls, ikkinchi kirishlarida musbat potensial bo'lmaguncha, ularning chiqishlariga o'tmaydi (musbat potensial avval ochiq bo'lgan tranzistor yopilgandan keyingina paydo bo'ladi). Shu tarzda R7 va R8 rezistorlar orqali qarama-qarshi yelkaning kuch tranzistori kollektori bilan ikkinchi kirishlarning aloqasi ta'minlanadi.

10.19. Tiristorli o'zgartirgichlar

Yuqori quvvatli o'zgartirish qurilmalarida yuqori voltli kuchlanishni o'zgartirish uchun ikki barqaror holatga ega bo'lgan tiristorlar qo'llaniladi.

Tiristorlar bir necha kilovoltlargacha kuchlanishlarga va bir necha amper toklarga mo'ljallanib ishlab chiqariladi. Shuning uchun tiristorli o'zgartirgichlar yuqori foydali ish koeffitsiyentli katta quvvatni ta'minlaydi.

Kommutatsiya maxsus qurilmalar orqali amalga oshiriladigan va yuklamasi boshqa o'zgaruvchan tok energiyasi manbalariga ega bo'lmagan tiristorli o'zgartirgichlar avtonom o'zgartirgichlar deyiladi. Avtonom invertorning kommutatsiya chastotasi tiristorlarning boshqarish tizimi ish chastotasi orqali aniqlanadi. Ular tok va kuchlanish inverterlariga bo'linadi. Tok inverterlarida tokni o'zgartirish amalga oshiriladi, kuchlanish shakli yuklamaga bog'liq. Manbadan iste'mol qilinadigan tokning doimiyligini ushlab turish uchun ular o'zgarmas kuchlanish manbayiga katta induktivlikli L drossel orqali ulanadi.

Kuchlanish inverterlari o'zgarmas kuchlanish manbayiga to'g'ridan to'g'ri ulanadi. Bunda inverter chiqishida manbaga

parallel ravishda S kondensator ulanadi. Tiristorli invertorlarda tok kommutatsiyasini reaktiv elementlar-kondensatorlar va drossellar bajaradi.

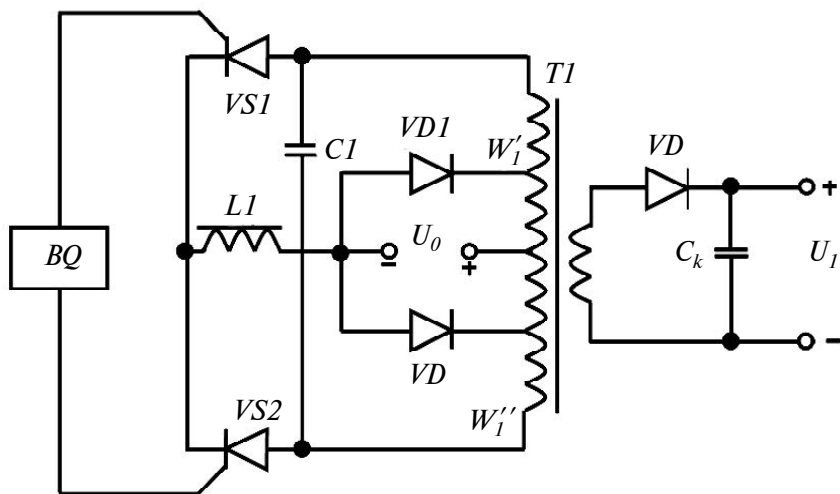
Invertorlarda tiristorlar kalit rejimida ishlaydi. Ularning ulanishi boshqarish qurilmasi orqali amalga oshiriladi. Boshqarish qurilmalari sifatida impuls generatorlari — avtogenerator, multivibrator va bloking-generatorlar ishlatiladi. Boshqaruvchi impulslar tiristorlar boshqarish elektrodlariga qarama-qarshi fazada beriladi. Tiristorning ochilishi uchun anod tokini eng kichik ushlab turuvchi tok qiymatigacha kamaytirish kerak. Anod va katod oralig'iga esa tiristor boshqarilishining qayta tiklanishi uchun yetarli bo'lgan vaqtgacha manfiy teskari kuchlanish qo'yiladi. Bu invertorda kommutatsiyalovchi kondensator qo'llanilishi orqali amalga oshiriladi. Bunda kondensator tiristor anodiga katodiga nisbatan manfiy kuchlanish berilishini ta'minlaydi.

Yuklamada S_k kommutatsiyalovchi kondensator ulanishiga qarab tiristorli invertor sxemalari paralell-ketma-ket va ketma-ket-paralell sxemalarga bo'linadi. 10.34-rasmda tasvirlangan ikki taktli parallel invertor VS1 va VS2 tiristorlardan, (BS) boshqarish sxemasidan, S_k kommutatsiyalovchi kondensatordan VD1 va VD2 diodlardan va L drosseldan iborat. Transformatorning birlamchi chulg'ami 0 o'rta nuqtaga va VD1, VD2 diodlar ulanadigan ikki 1 va 2 nuqtalarga ega

Birinchi yarim davrda boshqaruvchi impuls ta'sirida VD1 tiristor ochiq va VD2 tiristor yopiq bo'ladi. Bunda tok ta'minot manbayidan transformatorning yuqori yarim chulg'ami VD1 tiristor va L drossel orqali oqib o'tadi. Bu tok pastki yelkada yuqori yelkadagi EYKga teng bo'lgan, lekin qarama-qarshi fazadagi EYKni induksiyalaydi, ya'ni minus chulg'amning o'rta nuqtasida, plus esa bu chulg'amning pastki oxirgi nuqtasida

bo'ladi. Shuning uchun S_k kondensatorga ketma-ket ulangan kuchlanishlar qo'yiladi: ta'minot manbayidan U_0 va transformatorning birlamchi pastki chulg'amidan taxminan U_0 ga teng bo'lgan kuchlanish. Natijada S_k kondensator ikkilangan ta'minot manbayi kuchlanishigacha, ya'ni $U_s=2U_0$ gacha zaryadlanadi. Bunday kuchlanish VD2 tiristor anodida ham bo'ladi.

Ikkinchi yarim davr vaqtida boshqaruvchi impuls VS2 tiristorni ochadi. VS1 tiristor tok o'tkazishni davom ettiradi. Lekin ochilgan VS2 tiristor orqali S_k kommutatsiyalovchi kondensator VD1 tiristorga parallel ulanadi. S_k kondensatordan VS1 tiristorga $2U_0$ ga teng bo'lgan teskari kuchlanish qo'yiladi va S_k kondensatorning razryadlanilish toki orqali VS1 tiristor yopiladi. Ochilgan VS2 tiristor orqali S_k kondensatorning i_{ck} qayta zaryadlanish toki va transformatorning birlamchi W1'' chulg'ami toklarining yig'indisidan iborat bo'lgan i_t tok oqib o'tadi. S_k kondensator teskari qutbli $2U_0$ kuchlanishgacha zaryadlanadi. U_0 o'zgartirilgan kuchlanish W1'' birlamchi chulg'amga



10.34-rasm. Ikki taktli tiristorli o'zgartirgichning sxemasi.

qo'yiladi va bu chulg'amdagi tok avvalgi ochuvchi impuls vaqtidagi W_1 chulg'amdagi tokka qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'ladi. Bunda W_2 ikkilamchi chulg'amda kuchlanishning ikkinchi (manfiy) yarim to'liqini shakllanadi.

VS1 tiristorga navbatdagi ochuvchi impuls berilganda sxema dastlabki holatiga qaytadi va yuqoridagi jarayon takrorlanadi.

Tiristorlarning navbatma-navbat ochilishi natijasida transformatorning birlamchi yarim chulg'amlarida toklar davriy ravishda o'zgaradi va ikkilamchi chulg'amda o'zgaruvchan tok vujudga keladi. Bu tok CHT chiqish to'g'rilagichi orqali to'g'rilanadi va F filtr orqali yuklamaga uzatiladi.

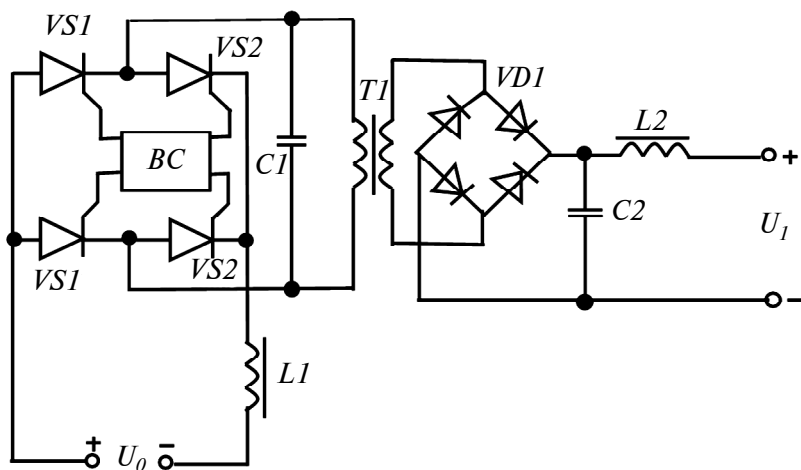
Shunday qilib, o'zgartirgich chiqishida talab qilingan nominaldagi o'zgarmas kuchlanish shakllanadi.

L1 drossel ta'minot manbayi tokini har ikkala tiristorlar ochiq bo'ladigan qisqa vaqt oralig'ida ta'minot manbayi tokini cheklab turadi.

Kommutatsiya momentida, tiristorlardan biri ochiq, ikkinchisi esa induktivlikning razryadlanish toki o'tkazayotgan vaqtda yuklama induktivligida va reaktiv kommutatsion elementlarda yig'ilgan reaktiv quvvatni VD1 va VD2 diodlar U_0 ta'minot manbayi tomoniga o'tkazib yuborish uchun xizmat qiladi.

Ikki taktli ko'priksimon o'zgartirgich sxemasi 10.35-rasmda keltirilgan. Birinchi yarim davrda boshqaruvchi kuchlanish musbat impulsleri bir vaqtning o'zida VS1 va VS2 tiristorlarga beriladi. Tiristorlar ochiladi va ular orqali T1 transformatorning birlamchi chulg'amiga tok oqib o'tadi. Bu vaqtda S1 kondensator ta'minot manbayining U_0 kuchlanishigacha zaryadlanadi.

Boshqaruvchi kuchlanishning ikkinchi yarim davrida impulsler VS2 va VS3 tiristorlarga beriladi va ular ochiladi. Ammo bu vaqtda S1 kondensatordan musbat potensial VS1 tiristor



10.35-rasm. Ikki taktli ko‘priksimon o‘zgartirgichning prinsipial sxemasi.

katodiga beriladi va u yopiladi. VS4 tiristor anodiga esa S1 kondensatordan manfiy potensial beriladi va u ham yopiladi.

So‘ng tiristorlar juftligi navbatma-navbat ochiladi. Bunda T1 transformatorning birlamchi chulg‘amidan qarama-qarshi yo‘nalishdagi tok impulsleri oqib o‘tadi. Bu tok impulsleri ikkilamchi chulg‘amda o‘zgaruvchan tokni induksiyalaydi. Keyinchalik bu o‘zgaruvchan tok to‘g‘rilagichda to‘g‘rilanadi va filtrda silliqalanib yuklamaga uzatiladi.

Nazorat savollari

1. Stabilizator nima?
2. Stabilizatorlarning nechta sinfi mavjud?
3. Tranzistorli o‘zgartirgichlarning vazifasi nimalardan iborat?
4. Tiristorli o‘zgartirgichlar qayerlarda ishlatiladi?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *Б. М. Тареев, Н. В. Короткова, В. М. Петров, А. А. Преображенский.* Электрорадиоматериалы. — М.: Высшая школа, 1978.
2. *Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, В. М. Тареев.* Электротехнические материалы. — М.: «Энергоатомиздат», 1985.
3. *И. М. Майофис.* Химия диэлектриков. — М.: «Химия», 1981.
4. *В. Т. Рене.* Электротехнические материалы. — Л., 1984.
5. Справочник по электротехническим материалам. — М.: «Энергоатомиздат», в 3-х т., 1986—1988.
6. *А. Т. Белевцев.* Ремонт и обслуживание вычислительных машин. — М.: Высшая школа, 1990.
7. *И. Е. Ефимов, Ю. И. Горбунов, И. Я. Козырь.* Микроэлектроника. — М.: Высшая школа, 1977.
8. *К. С. Петров.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. Учебное пособие, Спб.: Питер, 2006.
9. *Ю. П. Демаков.* Радиоматериалы и радиокомпоненты, Учебное пособие, 1999.
10. *А. Г. Морозов.* Электротехника, электроника и импульсная техника. — М.: Высшая школа, 1987.
11. *Д. В. Игумнов, Г. В. Королев, И. С. Громов.* Микроэлектроника. — Высшая школа, 1991.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
-------------	---

I BOB. ELEKTORADIO ASHYOLARLARNING ASOSIY XUSUSIYATLARI VA TAVSIFNOMASI

1.1. Elektoradio ashyolarning elektr tavsifnomasi.....	5
1.2. Elektoradio ashyolarning issiqlik tavsifnomasi.....	9
1.3. Elektoradio ashyolarning mexanik va fizik-kimyoviy tavsifnomasi.....	17

II BOB. YARIMO‘TKAZGICH MATERIALLAR

2.1. Yarimo‘tkazgichning fizik modeli.....	23
2.2. Xususiy yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi.....	25
2.3. Kiritmali yarimo‘tkazgichlarning elektr o‘tkazuvchanligi.....	27
2.4. Yarimo‘tkazgichlar tayyorlash texnologiyasi.....	30

III BOB. O‘TKAZGICH MATERIALLAR

3.1. Yuqori o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lgan o‘tkazgich materiallar.....	32
3.2. Yuqori qarshilikka ega bo‘lgan o‘tkazgich materiallar.....	40

IV BOB. DIELEKTRIK MATERIALLAR

4.1. Dielektrlarda elektr hodisalar.....	51
--	----

4.2. Organik qattiq dielektriklar.....	59
4.3. Plastmassalar, izolatsiyalovchi loklar, emallar, kompaundlar.....	60
4.4. Noorganik dielektriklar. Radiokeramik materiallar.....	68
4.5. Gaz holatidagi va suyuq dielektriklar.....	79

V BOB. MAGNIT MATERIALLAR

5.1. Materiallarning magnit tavsifnomasi.....	85
5.2. Magnit yumshoq materiallar.....	90
5.3. Magnit qattiq materiallar.....	97
5.4. Ferritlar va magnit dielektriklar.....	101

VI BOB. YORDAMCHI MATERIALLAR

6.1. Metall kontakt materiallar.....	106
6.2. Nometall kontakt materiallar.....	106
6.3. Rezistorlar. Tasnifi va konstruksiyalari	108
6.4. Rezistorlarning asosiy parametrlari.....	113
6.5. Umumiy maqsadlarga mo'ljallangan rezistorlar.....	120
6.6. Pretsizion rezistorlar.....	126
6.7. Yuqori chastotali rezistorlar va O'YCH rezistorlari.....	128
6.8. Yuqori megaomli va yuqori voltli rezistorlar. Maxsus ishlarga mo'ljallangan rezistorlar.....	130
6.9. Integral mikrosxemalar rezistorlari.....	131

VII BOB. KONDENSATORLAR

7.1. Tasnifi va konstruksiyalari.....	134
7.2. Asosiy parametrlar.....	140
7.3. O'zgarmas sig'imli yuqori chastotali kondensatorlar.....	146
7.4. O'zgarmas sig'imli past chastotali kondensatorlar.....	149

7.5. O'zgaruvchan sig'imli havo kondensatorlari.....	155
7.6. Yarimo'zgaruvchan kondensatorlar. Maxsus kondensatorlar.....	156
7.7. Integral mikrosxemalar kondensatorlari.....	159

VIII BOB. INDUKTIVLIK G'ALAKLARI

8.1. Tasnifi va konstruksiyalari.....	162
8.2. Asosiy parametrlari	164
8.3. Yuqori chastota induktivlik g'altaklari.....	166
8.4. Kontur induktivlik g'altaklari.....	176
8.5. Bog'lanish g'altaklari. Variometrlar. Yuqori chastotalar drosseli.....	179
8.6. Induktivlik g'altaklarining integral qo'llanilishi.....	182

IX BOB. FILTRLAR

9.1. Aktiv RC-filtrlar va raqamli filtrlar.....	185
9.2. Integral pyezoelektrik filtrlar.....	186

X BOB. PAST CHASTOTALI TRANSFORMATORLAR VA DROSSELLAR

10.1. Tasnifi va asosiy parametrlari.....	192
10.2. Past chastotali kuch transformatorlari.....	193
10.3. Moslashtiruvchi transformatorlar.....	194
10.4. Integral mikrosxemalarda moslashtiruvchi transformatorlar.....	196
10.5. Past chastotali drossellar.....	197
10.6. To'g'rilagichlar.....	199
10.7. Ventillar va ularning parametrlari.....	202
10.8. To'g'rilagichning chiqish parametrlari.....	206

10.9. Bir taktli to'g'rilash sxemalari	207
10.10. Ikki taktli to'g'rilash sxemalari.....	214
10.11. Filtrlarning silliqdash xususiyati.....	220
10.12. Bir zvenoli G-simon LC-filtrlar.....	224
10.13. Bir zvenoli P-simon LC-filtrlar.....	225
10.14. Ko'p zvenoli LC-filtrlar.....	226
10.15. Aktiv filtrlar.....	228
10.16. Stabilizatorlar.....	230
10.17. Parametrik stabilizatorlar.....	231
10.18. Tranzistorli o'zgartirgichlar.....	234
10.19. Tiristorli o'zgartirgichlar.....	245
Foydalanilgan adabiyotlar.....	250

RASHID SAFAROVICH MARDONOV

**ELEKTORADIO ASHYOLAR VA
TIBBIYOT TEXNIKASINI
TA'MIRLASH MANBALARI**

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

Toshkent — «ILM ZIYO» — 2016

Muharrir *Z. G'ulomova*
Badiiy muharrir *M. Burhonov*
Texnik muharrir *D. Hamidullayev*
Musahhah *M. Ibrohimova*

Nashriyot litsenziyasi №AI 275, 15.07.2015-y.

2016-yil 20-fevralda chop erishga ruxsat berildi. Bichimi 60x90¹/₁₆.

«Times» harfida terilib, ofset usulida chop etildi.

Bosma tabog'i 16,0. Nashr tabog'i 15,5. 50 nusxa.

Buyurtma №16.

«ILM ZIYO» nashriyot uyi. Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30- uy.

«PAPER MAX» xususiy korxonasida chop etildi.

Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30-uy.

M26 Mardonov R. S. Elektoradio ashyolar va tibbiyot texnikasini ta'mirlash manbalari.
Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma.
/ T.: «ILM ZIYO», 2016. — 256 b.

UO'K: 612.014.421(075)
KBK: 32.843

ISBN 978-9943-16-246-4