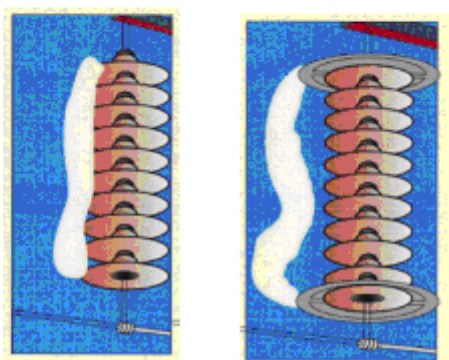
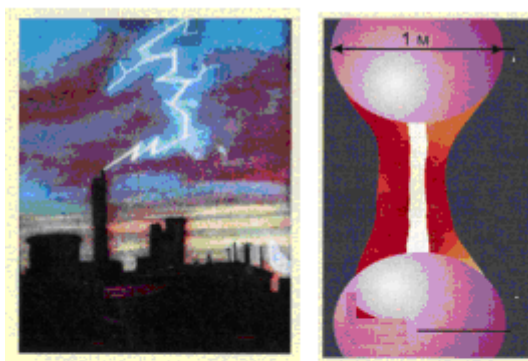


HAMIDOV NIGMATULLA

YUQORI KUCHLANISH TEXNIKASI VA IZOLYATSIYA



TOSHKENT–2012

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

TOSHKET TEMIR YO‘L MUHANDISLARI INSTITUTI

HAMIDOV NIGMATULLA

YUQORI KUCHLANISH TEXNIKASI VA IZOLYATSIYA

5520200-«Elektr energetika» yo‘nalishi bakalavrlari uchun
«Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya» fanidan
darslik

TOSHKENT – 2012

UDK 621.332: 621.316.97(07)

KBK 74.202я2

H18

H18 N.Hamidov. Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya. – T.: «Fan va texnologiya», 2012, 200 bet.

ISBN 978–9943–10–813–4

Darslikda fanning nazariy mashgʻulotlari mazmuni, tashqi elektr izolyatsiya, ichki elektr izolyatsiya, ishchi kuchlanish taʼsiridagi izolyatsiya, izolyatsiyaning uzoq muddatli elektr chidamliligi, yuqori kuchlanishni oʻlchash, kommutatsiya oʻta kuchlanishi, qurilma izolyatsiyasini oʻta kuchlanishga sinash, yashin oʻta kuchlanishidan himoyalash, himoya apparatlari keltirilgan.

Kitob 520200- «Elektr energetikasi» yoʻnalishi boʻyicha bakalavrlar uchun «Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya» fanidan darslik sifatida nashr etishga Oʻzbekiston Respublikasi Oliy va oʻrta maxsus taʼlim vazirligining 11-may 2011-yil 198-sonli buyrugʻi bilan ruxsat etilgan.

UDK 621.332: 621.316.97(07)

KBK 74.202я2

Taqrizchilar: TDTU «Elektromexanika, elektrotexnika, elektrotexnologiya» kafedrası mudiri, t.f.d., prof. **A.A.Xoshimov**;

TDTU «Kabel, elektr izolyatsiya texnikasi va energiya tejamkorligi» kafedrası mudiri, t.f.n., dots. **A.Sh.Axmedov**;

TTYMI, «Elektr taʼminoti va mikroprotssessorli boshqaruv» kafedrası mudiri, t.f.d., prof. **S.F.Amirov**.

ISBN 978–9943–10–813–4

© Toshket temir yoʻl muhandislari instituti, 2012.;

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2012.

KIRISH

O‘zbekiston Respublikasida sotsial-iqtisodiy taraqqiyotni tezlatishdek o‘ta zarur strategik muammolarni bajarishda ilmiy - texnika taraqqiyoti nihoyatta katta ahamiyatga ega bo‘lib, unda elektr energetikaning jadal taraqqiyoti sanoatda mehnat unumdorligini oshirishga va qishloq xo‘jaligida unumdor yerlarni suv bilan ta‘minlashga qaratilgandir. Energetika programmasining bugungi eng dolzarb muammolari: respublika hududidagi barcha iste‘molchilar elektr energiyaga talabini to‘la va sifatli qondirish, yuqori kuchlanish ekologiyasi bilan bog‘liq barcha muammolarni bartaraf qilish, zamonoviy yangi elektr texnologiyalarni keng ko‘lamda Respublika xalq xo‘jaligiga joriy qilish, havo elektr uzatish yo‘llari va elektr uskunalarning yuqori kuchlanishda ishlovchi izolyatsiyasini takomillash va texnika-iqtisodiy ko‘rsatkichini oshirishdan iboratdir.

«O‘zbekiston temir yo‘llari» DATK temir yo‘l elektrlashtirishini jadal olib borish hamda elektr tortishning samaradorligidan to‘laroq foydalanish hisobiga katta massali va ko‘p vagonli yuk tashish poyezdlaridan keng ko‘lamda foydalanishni rejalashtirgan. Toshket-Samarqand yo‘nalishida Ispaniyada ishlab chiqargan Talgo AVE-250 tez yurar «Afrasiyob» yo‘lovchi tashish poyezdi 2011- yili 31- avgust yurgazildi va tezligini 250 km/soatga yetkazildi.

Kitob 5520200 «Elektr energetikasi» yo‘nalishi bakalavrlari uchun «Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya» fanidan darslik sifatida o‘zbek tilida yozilgan va nashr etishga O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligining 11- may 2011- yil 198-sonli buyrug‘i bilan ruxsat etilgan (Guvoxnoma 192-94). Darslik «Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya» fani BD-5220200-600 namunaviy o‘quv dasturiga va ishchi dasturiga mos.

Kitob oliy va o‘rta maxsus ta‘lim tizimi talabalariga «Yuqori kuchlanish texnikasi» va magistr'larga «O‘ta kuchlanish va izolyatsiya» fanlarini o‘qitishda o‘quv qo‘llanma sifatida foydalanish mumkin. Temir yo‘l transporti, elektr energetika, sanoat, irrigatsiya va qishloq xo‘jaligi korxonalari injenerlari uchun kundalik informatsiya mabai bo‘lib qoladi, degan umiddamiz.

Muallif yuqori kuchlanish texnikasi bilan 40 yil shug'ullangan: 1958÷1970 yillarda O'zbekiston fanlar akademiyasi Yadro fizikasi institutida va 1970÷2003 yillarda Elektronika institutida bevosita ishlab, yangi qurilmalar: 130 kV, 250 kV, 300 kV, 600 kV, 1000 kV elektron tezlatgichini yasashga ilmiy rahbarlik qilgan. 1983 yili kuchlanishi 1 MV toki 10 kA, quvvati 10 GVt gaz izolyatsiyali kabel hamda 1 MV toki 10 kA, quvvati 10 GVt gaz izolyatsiyali impuls generatori ГИИ qurilmalari SSSR direktiv organi rahnomaligida yasatgan va Rossiya fanlar akademiyasi Yuqori temperatura institutiga (Moskva) yetkazib bergan, hozitgacha ishlaydi.

Kitobimni ilmiy rahbarlarim: fizikoviy elektronikadan akademik Ubay Arifovich Arifov, elektron tezlatgichlaridan akademik Sergey Vasilyevich Starodubsev, yuqori kuchlanishli energetikadan akademik Hosil Fozilovich Fozilov, komp'yuterlashdan akademik Vasil Qobulovich Qobulovlarning yorqin xotirasiga bag'ishliyman.

Kitobning xato va kamchiliklari uchun kechirim so'rab, takliflarni muallif nomiga quyidagi adresga yuborishangizni so'raymiz: Toshkent, 700167, Odilxo'jayev ko'chasi, 1, ToshTYMI, NIS.

I bob. «YUQORI KUCHLANISH TEXNIKASI VA IZOLYATSIYA» FANINING ASOSIY MAZMUNI

1.1. «Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya» fani

Yuqori kuchlanish texnikasining asosiy vazifasi elektr qurilmalar va uskunalar izolyatsiyasining elektr chidamligini talab darajasida bo'lishini ta'minlashdir. Yuqori kuchlanish texnikasi elektr qurilmalar hamda elektr tarmoq va tizimlarningi ekstremal, ya'ni buzilishga yaqin, holda: yuqori kuchlanishli katta elektr toki ta'siridagi jarayonlarni o'rganish; izolyatsiya ishdan chiqishi va buzilishining oldini olish; sanoat, qishloq xo'jaligi va transport uchun yangi texnologiyalar ishlab chiqishga mo'ljallangan fandır.

Yuqori kuchlanishli energetikaning asosiy vazifasi barcha elektr iste'molchilarini yuqori sifatli elektr energiya bilan uzluksiz va tejamkorlik bilan ta'minlashdir. Bu vazifa iste'molchining elektr ishlab chiqarish stansiyalaridan qanchalik uzoq masofada va dengiz sathidan qanday balandlikda joylashishidan, hamda har qanday ob-havo sharoiti: harorati, bosim, shamol, yomg'ir, qor, muzlash kabilar va tabiat xodisalari: yer qimirlashi, qum ko'chishi, suv toshishi, yong'in kabilardan qat'iy nazar bajarilishi shart. Bundan tashqari elektr ishlab chiqarish va uni uzatishda ekologiya tozaligini, elektr havfsizligini, radio- va telekommunikatsiyalarga bezararligini ta'minlanishi qat'iy talab qilinadi.

Yuqori kuchlanishlarning standart qatori. Kuchlanish qiymati 1000 V va undan katta bo'lsa yuqori kuchlanish YuK hisoblanadi. Elektr energetikada asosan 10(6) kV, 35 kV, 110 kV, 220 kV, 500 kV, 750 kV standart kuchlanishlaridan foydalaniladi. O'zbekiston respublikasining elektrlashtirilgan magistral temir yo'llarida chastotasi 50 Gs bo'lgan o'zgaruvchan tokli 27.5 kV yuqori kuchlanishdan foydalaniladi. Doimiy tokda esa korxonalarning ichki elektrlashtirilgan temir yo'llari ishlaydi. O'zgaruvchan 50 Gs chastotali yuqori kuchlanish miqdori tortuvchi nimstansiyalarida 27,5kV va kontakt tarmog'larida 25 kV bo'lsa, doimiy tokda 3,3 kV va 3 kV kuchlanish qo'laniladi.

Yuqori kuchlanishni sinflanishi. Yuqori kuchlanish texnikasida kuchlanishning qiymatiga qarab quyidagicha sinflanadi:

a) **kichik yuqori kuchlanish** sinfiga qiymati 1 kV va undan katta hamda 10 kV va undan kichik bo'lgan kuchlanishlar kiradi, va ular ko'pchilik elektr energiya iste'molchilari uchun mo'ljallangan;

b) **o'rta yuqori kuchlanish** sinfiga qiymati 35 kV va undan katta hamda 110kV va undan kichik bo'lgan kuchlanishlar kiradi, va ular elektr stansiyalar, havo elektr uzatish yo'llari hamda nimstansiyalarni elektr tarmog'i uchun mo'ljallangan;

v) **katta yuqori kuchlanish** sinfiga qiymati 220 kV va undan katta hamda 750kV va undan kichik bo'lgan kuchlanishlar kiradi, va ular issiqlik, gidro hamda atom elektr statsiyalar bilan bosh taqsimlovchi nimstansiyalarni havo elektr uzatish yo'llari orqali bog'laydi;

g) **super yuqori kuchlanish** sinfiga qiymati 1 MV va undan katta hamda 5÷30 MV kuchlanishlar kiradi. ular elektrofizik apparatlarda qo'llaniladi. Jumladan, katta yuqori kuchlanishli va elektrostatik tezlatgich, siklotron kabi qurilmalarda, elektron, proton, bir va ko'p zaryadli ion, zaryadlangan klastr va dielektrik parchalarga juda katta tezlik hamda kinetik energiya beradi.

Yuqori kuchlanish texnikasidagi kuchlanishlarning turi va shakliga qarab quyidagicha sinflanadi:

-**kichik chastotali yuqori kuchlanish**, bu 15 Gs dan 50 Gs gacha bir yoki uch fazali sinusoidal kuchlanishdir;

-**sanoat chastotali yuqori kuchlanish**, bu 50 Gs yoki 60 Gs chastotali bir yoki uch fazali sinusoidal kuchlanishdir;

-**katta chastotali yuqori kuchlanish** 50Gs dan katta 8000Gs gacha chastotali sinusoidal kuchlanishdir;

-**super chastotali yuqori kuchlanish** 10 kGs dan boshlab 2000MGs, ya'ni 2 GGs chastotali sinusoidal kuchlanishdir;

-**impulsli yuqori kuchlanish**, bu turli impuls shakliga, masalan eksponenta, «Π» shaklga, har xil front va ta'sir etish uzunligiga ega bo'lgan, yashin va kommutatsiya o'takuchlanishi kabi, kuchlanishdir;

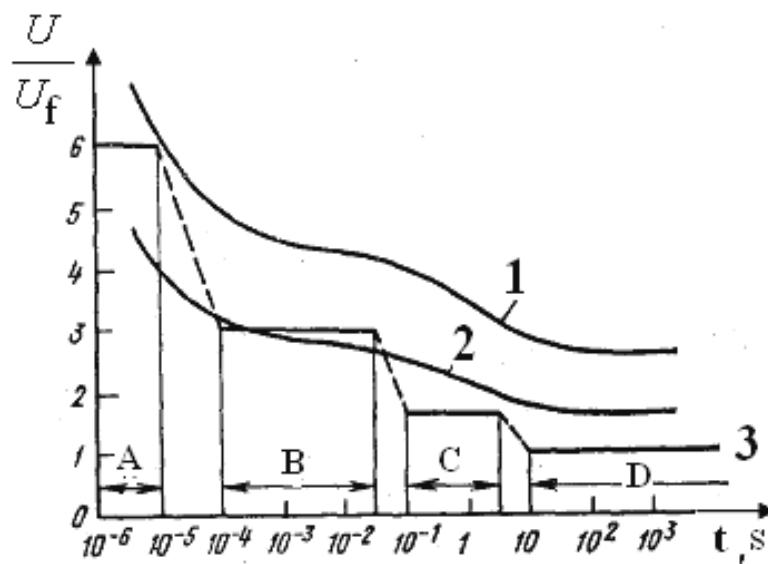
-**doimiy yuqori kuchlanish**, bu to'g'rilangan doimiy tokli yoki doimiy kuchlanishdir;

-**elektrostatik yuqori kuchlanish**, bu izolyatsiyalangan elektrodda elektr zaryadini yig'ilishi natijasida hosil bo'lgan kuchlanish bo'lib, elektrostatik generator hamda tasmali yoki diskli Van de Graaf generatorida elektrofizik apparatlar uchun olinadi.

Elektr energiyani katta masofaga uzatish va uni taqsimlashda yuqori kuchlanishdan fodalanish samaralidir. Katta quvvatni uzatishda YuK ning qo'llanishi elektr tokining kamayishi va uzatuvchi simlarning ko'ndalang kesimini kichrayishi hisobiga simlar og'irligini yengillatish va noyob elektr o'tkazuvchan materialni tejab qolinish ta'minlanadi. Yuqori kuchlanishni qullash izolyatsiya sifatini oshiradi. Elektr energiyaning quvvatiga kundan kun talabning ortishi elektr qurilmalarining quvvatini kattalashishiga olib kelmoqda. Jumladan, gidrogeneratorlar quvvati $500 \div 600$ MVt va turbogeneratorlar 1200 MVt dan oshgan.

Nominal kuchlanishlarning standart qiymatlari. Elektr qurilmalarning izolyatsiyasi uzoq muddat, ya'ni birnecha o'nlab yillar davomida, tinimsiz ishchi kuchlanish ta'siri ostida bo'ladi. Qurilma fazalari orasidagi o'rtacha kuchlanish **nominal kuchlanish** deyiladi. Elektr tizimlaridagi nominal kuchlanishlar tartibi va tizim neytralining holati, eng katta ishchi kuchlanishlari va eng katta faza kuchlanishlarining qiymati 1-jadvalda keltirilgan.

Ekspluatatsiya jarayonida elektr qurilmadagi kuchlanish nominal kuchlanishdan farq qilishi mumkin. Bunga kuchlanishning iste'molchi elementlaridan o'tayotgan tok hisobiga tushishi va manba kuchlanishini rostlash hisobiga ko'tarilishi kuzatiladi. Ammo, elektr tarmog'ining istalgan nuqtasida kuchlanish 1-jadvalda keltirilgan **eng katta ishchi kuchlanishdan** oshmasligi kerak.



1-rasm

Ishchi kuchlanish nominal kuchlanish bilan eng katta ishchi kuchlanish (1-jadval) orasidagi kuchlanish miqdoridir.

Ishchi $20 \div 40$ yil davomida elektr qurilmalarning izolyatsiyasiga uzoq muddatli ta'sir ko'rsatuvchi omildir (1-rasm, D chiziq). Ichki izolyatsiyaning eskirishi sababli uning elektr tavsifi $20 \div 40$ yil davomida borgan sari yomonlashib boradi. 1-rasm:

A-yashin o'takuchlanishi;

B-ichki kommutatsiya o'takuchlanishi;

C-uzoq muddatli nominaldan kattaroq kuchlanish;

D-ishchi kuchlanish.

O'takuchlanish turlari. Elektr uskunalarning yuqori kuchlanishli izolyatsiyasi ishchi kuchlanish ta'sirida $20 \div 40$ yillab tinimsiz ishlaydi. Eksploatatsiya jarayonida kuchlanish miqdori ishchi kuchlanishdan kattalashib ketishi va o'takuchlanish paydo bo'lishi kuzatiladi. **O'takuchlanish** deganda elektr tarmog'i izolyatsiyasidagi ishchi kuchlanish amplitudasidan kattaroq bo'lgan har qanday kuchlanish tushiniladi. Elektr tarmog'iga kommutatsiya yoki atmosfera o'takuchlanishi ta'sir etishi mumkin.

1-jadval. Elektr tizimlarida standart nominal kuchlanishlar U_{nom} va eng katta ishchi kuchlanishlar

Nominal kuchlanish U_{nom} , kV	3	6	10	20	35	110
Eng katta ishchi kuchlanishi $U_{ishchi, eng katta}$, kV	1,15 U_{nom}					
	3,5	6,9	11,5	23	40,5	126
Eng katta faza kuchlanishi $U_{f, eng katta} = U_{ishchi, eng katta} / 3^{0,5}$, kV	2,0	4,0	6,65	13,3	23,4	72,8
Neytralning holati	Izolyatsiyalangan (yoki yoy o'chiruvchi reaktorli yerlangan)					Yerlangan
Nominal kuchlanish U_{nom} , kV	150	220	330	500	750	1150
Eng katta ishchi kuchlanishi $U_{ishchi, eng katta}$, kV	1,15 U_{nom}		1,1 U_{nom}	1,05 U_{nom}		
	172	252	363	525	787,5	1200
Eng katta faza kuchlanishi $U_{f, eng katta} = U_{ishchi, eng katta} / 3^{0,5}$, kV	100	146	210	304	455	695
Neytralning holati	Yerlangan					

Neytrali yerlanmagan uch fazali elektr qurilmaning C fazasi va yer orasida qisqa tutashuv sodir bo'lsa, o'tkinchi jarayon tokning birnecha davridan so'ng tugab, so'ngra qolgan ikki A va B fazalarda kuchlanishning uzoq muddatli kattalashuvi sodir bo'lib, bu fazalarda kuchlanish fazalararo kuchlanish qiymatiga teng, ya'ni $U_A = \sqrt{3}U_f$ bo'lib qoladi.

Kommutatsiya o'takuchlanishi elektr tarmoqlarida to'la elektr quvvatni rejali yoki avariya sababli o'chirish hamda yoqishlarda, ya'ni kommutatsiyalashda, sodir bo'lib turadi. Kommutatsiya o'takuchlanishi statistik tavsifga ega. Har qanday elektr tarmog'ida jamlangan va yoyilgan induktivlik hamda sig'im mavjudligi sababli kommutatsiyalash vaqtida o'tish jaroyoni sodir bo'ladi. Kommutatsiyalash jarayoni juda qisqa muddatli ($10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-2}$ soniya) bo'lgani sababli induktivlikda yig'ilib qolgan magnit maydonining yoki sig'imda yig'ilgan elektr maydonining katta tezlikda o'zgarishi natijasida kommutatsiya o'takuchlanishi paydo bo'ladi (1-rasm, B hududi). Kommutatsiya o'takuchlanishining qiymati elektr tarmog'i sxemasiga va uzgichning tavsifiga qarab shunday kattalashishi mumkinki, agar zaruriy choralar ko'rilmasa, elektr tarmog'i izolyatsiyasini teshib o'tishi va uni to'la yoki qisman ishdan chiqarishi mumkin.

Ko'pincha quyidagi kommutatsiya o'takuchlanishilar kuzatiladi va izolyatsiyaga ta'sir ko'rsatadi: fazaviy kommutatsiya o'takuchlanishi yer bilan faza orasidagi izolyatsiyaga; fazalararo kommutatsiya o'takuchlanishi fazalar orasidagi izolyatsiyaga; kontaktlararo kommutatsiya o'takuchlanishi o'chirgich va ajratgich kontaktlari orasidagi izolyatsiyaga.

Kommutatsiya o'takuchlanishidan elektr qurilmalarni himoyalash uchun turli himoya apparatlaridan foydalaniladi. Jumladan, quvursimon razryadniklardan, ventilli razryadniklardan hamda yarim o'tkazgichli chiziqsiz kuchlanish chegaralagichlaridan foydalanish samaralidir.

Ichki o'takuchlanish darajasi k_{per} qiymati zarb koeffitsiyenti k_{ud} ni, ya'ni o'tish jarayoni maksimal kuchlanishini shu jarayonda tinchlangan kuchlanishiga nisbatini, ko'payish koeffitsiyenti k_u ga, ya'ni tinchlangan kuchlanish miqdorini eng katta faza kuchlanishiga nisbatiga, ko'paytmasidir, ya'ni $k_{per} = k_{ud} k_u$.

Yashin o'takuchlanishi. Atmosferada sodir bo'luvchi chaqmoq va yashin iste'molchilarning elektr tarmoqlarida atmosfera o'takuchlanishini paydo qiladi. Chaqmoq zaryadlangan bulutlar orasidagi elektr razryadi - zaryadsizlanishi bo'lib, razryad natijasida bulutlar o'zaro zaryadsizlanadi. Yashin esa bulut bilan yer orasidagi razryadlardir.

Chaqmoq kanali atmosferada elektr razryadi sababli paydo bo'ladigan tok o'tkazuvchi plazmali elektr yoyi bo'lib, undan katta elektr toki o'tgani uchun atrofga kuchli yorug'lik nuri tarqatadi. Yashin amalda bittagina razryad bo'lib qolmay, balki har 0.1 soniyada qaytariladigan birnecha juda qisqa muddatli (10^{-1} - 10^{-5} soniya davomli) razryadlardan tashkil topadi (1-rasm, A hududi).

Havo elektr uzatish yo'llarining simlariga yoki elektr uskunalar va binolarning metall qismlariga yashin urilishi natijasida yashin o'takuchlanishi vijudga keladi. Yashin urishi - juda qisqa muddatli va katta yuqori kuchlanishli hamda juda katta miqdordagi elektr tokining o'tishi bo'lib, elektr tarmoqlarigi katta shikast yetkazishi va izolyator girlyandasi bo'ylab havoda elektr urib ketish sodir bo'lishi mumkin. Yashin o'takuchlanishiga bardosh beruvchi izolyatsiyani amalda yasab bo'lmaydi. Shuning uchun ham $6 \div 35$ kV kuchlanishli havo elektr uzatish yo'llarda fazani yer bilan qisqa tutashuvini bartaraf qilish uchun yoy o'chish reaktorlardan foydalaniladi. $35 \div 110$ kV kuchlanishli tarmoqda avtomatik qayta ulash tizimi АПВ dan foydalaniladi. Ma'lumki atmosfera havosi gaz elektr mustahkamligi bo'yicha o'zi tiklanuvchi dielektrik gazlar qatoriga kirgani sababli, yashin ta'sirida havoda elektr teshib o'tish sodir bo'lsa ham, havo elektr mustahkamligi tezda qaytadan tiklanadi. Avariylar sonini keskin kamaytirish uchun havo elektr uzatish yo'llar faza simlarining ustiga yashindan himoyalovchi po'lat trosslar o'rnatiladi. Elektr uskunalar va inshootlarga yashin urish zararlanishidan saqlash uchun mahsus yashin qaytargich himoya apparatlaridan keng foydalaniladi.

Uzoq muddatli nominaldan kattaroq kuchlanish neytrali yerlanmagan uch fazali kuchlanish tarmog'ining biron fazasida, masalan, C fazada, yer bilan qisqa tutashuv sodir bo'lgan (2a-rasm). Bu vaqtda C faza kuchlanishi yerlangach boshqa ikki A va B fazalarida kuchlanish kattalashib ketadi. So'ngra A va B fazalarida kuchlanishining miqdori 1.5 marta kattalashib ketishi o'tuvchi jarayon natijasida tebranma holda sodir bo'ladi (2b-rasm). Kuchlanish tebranishining chastotasi qurilma-ning tavsifi, ya'ni induktiv, sig'im va faol qarshiliklari, bilan belgilanadi. O'tuvchi jarayonda A fazadagi kuchlanishning maksimal qiymati, ya'ni ichki o'takuchlanish, quyidagicha taxminan aniqlanadi:

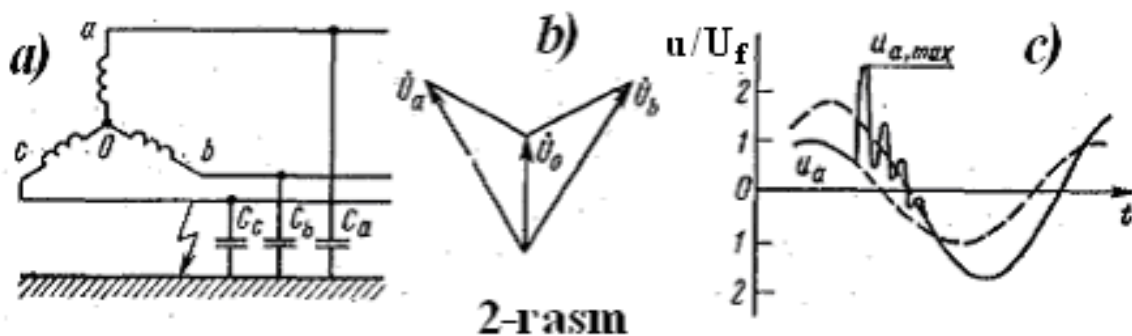
$$u_{A \max} = 1.5U_{\phi} + (1.5U_{\phi} - 0.5U_{\phi}) = 2.5U_{\phi} \quad (1.1)$$

A faza kuchlanishining tebranish chastotasi $f=1000\text{Gs}$ da maksimal kuchlanishga ko'tarilish vaqti, ya'ni $0.25T$ -tebranish davri, $t=250\text{mks}$ bo'lsa, $f=100\text{Gs}$ da $t=2500\text{mks}$ bo'ladi. O'tish jarayoni tezda so'nadi, ya'ni birnecha davr davom etadi xolos. Bu «uzoq muddatli nominaldan katta» kuchlanishning ta'sir vaqti 10^{-1} soniyadan bernecha soniyagacha davom etishi ham mumkin (1-rasm, C hududi).

A va B fazalarida faza kuchlanishi U_f o'rniga fazalar aro chiziqli kuchlanish $U_A=U_{\text{lin}}=\sqrt{3}U_f$ ga teng kuchlanish yuzaga keladi (2b-rasm).

Elektr qurilmalar izolyatsiyasiga buzuvchi omil sifatida quyidagi kuchlanishlar ta'sir ko'rsatadi: uzoq muddatli ta'sir ko'rsatuvchi ishchi kuchlanish; ichki o'takuchlanish impulslari; uzoq muddatli kuchlanishni kattalashuvi; yashin o'takuchlanish impulslari.

Yuqori kuchlanishli va katta quvvatli energetika tizimida elektr izolyatsiyaning yuqori ishonchligi va sifati katta ahamiyatga ega. Elektr tizimidagi elektr qurilmalar va uskunalarining izolyatsiyasi tashqi va ichki izolyatsiyaga bo'linadi.



2-rasm

Tashqi izolyatsiya tarkibiga elektr qurilmalar va uskunalar izolyatsiyasining atmosfera havosi sharoitida ishlaydigan qismi kirada. Tashqi izolyatsiyaning asosiy xususiyati, ya'ni uning elektr chidamligi, atmosfera havosining o'zgaruvchan xossalari bilan chambarchas bog'langanligidir. Atmosfera havosining bunday xossalari: havo bosimi p , absolyut harorati T , namligi γ , changlanganlik darajasi, hamda ularga sezilarli ta'sir ko'rsatuvchi meteorologiya sharoitlari: shamol, yomg'ir, do'l, qor, simlarni muz bilan qoplanishi, tuman hamda tuzli chang yoki elektr o'tkazuvchan zarrachali ifloslanish va boshqalar.

Ichki izolyatsiya esa elektr qurilmalar va uskunalar izolyatsiyasining atmosfera havosi muxitidan to'la ajratilgan qismi bo'lib, gaz, suyuq va qattiq dielektrikdan yoki ularning aralash kombinatsiyalangan qo'llanishidan tashkil topgan. Ichki izolyatsiyaga atmosfera havosi mutlaqo tasir

eta olmaydi. Ichki izolyatsiyaning asosiy xususiyati shundaki, uning elektr izolyatsiyalash tavsifi foydalanish, ya'ni ekspluatatsiya qilish, muddati yillab oshgan sari yomonlashib boraveradi. Bu xodisa **izolyatsiyaning eskirishi** yoki **izolyatsiyaning qarishi** deb nomlanadi. Izolyatsiyaning eskirishi uning ichida toj yoki qisman razryadlar sodir bo'lishi bilan bog'liqdir. Izolyatsiyada qisman va toj razryadlarining asta-sekin rivojlanishi hamda issiqlik, mexanik, kimyoviy ta'sirlari natijasida izolyatsiya hajmini elektr teshib o'tilishi sodir bo'lishi mumkin. Bunday razryadlar ta'sirida izolyatsiyaning yemirlishi va undan hosil bo'lgan kirishmalar bilan dielektrikni ifloslanishi kuzatiladi. Zaryadlangan kirishmalar elektr maydoni ta'sirida elektrodlar toman harakatlanib, o'z joyidan ketib qolishi sababli dielektrikning kimyoviy tarkibi o'zgarishi va natijada izolyatorning elektr mustahkamligi kamayishi sodir bo'ladi. Izolyatsiyada dielektrik yo'qotish hisobiga issiqlik energiya ajralib chiqadi va uni qizdiradi, ammo izolyatsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligi kichik bo'lgani va issiqlikni olib chiqib ketish qiyinligi sababli izolyatsiya qizib ketib, uning katta qalinlikka ega hajmida issiqlik teshib o'tish (пробой) sodir bo'lishi ham mumkin.

O'zi tiklanuvchi va o'zi tiklanmas izolyatsiya. Izolyatsiyada elektr teshib o'tish sodir bo'lgach, uning elektr chidamligi o'zi tiklanuvchi va o'zi tiklanmas bo'ladi. **O'zi tiklanuvchi** izolyatsiyada yuqori kuchlanish ta'sirida to'la razryad yoki elektr teshib o'tish sodir bo'lgandan so'ng kuchlanish o'chirilsa yoki teshib o'tgan joydagi elektr yoyi o'chsa izolyatsiyaning elektr izolyatsiyalovchi hususiyati to'la qayta tiklanadi. O'zi tiklanuvchi izolyatsiyaga atmosfera havosidan iborat tashqi izolyatsiya hamda suyuq va gaz dielektrikli ichki izolyatsiya misol bo'ladi, agar razryaddan so'ng ichki izolyatsiyaning qattiq dielektrigi buzilmagan bo'lsa. **O'zi tiklanmas** izolyatsiyada elektr teshib o'tishdan so'ng izolyatsiyaning elektr izolyatsiyalovchi hususiyati qisman tiklanadi yoki butunlay yo'qoladi.

Izolyatsiyaga talablar. Yuqori kuchlanishli elektr qurilmalarning izolyatsiyasini loyihalashda va yasashda quyidagi talablar bajarilishi shart:

- qurilmaning talab qilingan elektr parametrlari (ishchi kuchlanishi, toki, quvvati, sig'imi, induktivligi, dielektrik yo'qotishi $tg\delta$, faol qarshiligi va b.);

- ishchi kuchlanish ostida ishlash muddati;

- izolyatsiya elektr mustahkamligi yetarli bo'lishi, jumladan, ichki kommutatsiya va (kerak bo'lsa) yashin o'takuchlanishi ta'siriga chidadamli bo'lishi;
- mexanik mustahkamligi yetarli bo'lishi, jumladan, ishchi statik yuklamaga va barcha avariya hollarida dinamik yuklamalarga bardosh bera olishi;
- talab qilingan ishonchlikka ega bo'lishi;
- tannarxi nisbatan arzonroq bo'lishi;
- o'lchamlari va og'irligi kichikroq bo'lishi;
- izolyatsiyalovchi konstruksiyani yasashda zamonoviy yuqori texnologiyalarni qo'llash imkonini berishi;
- ta'mirlashning osonlashtirilishi;
- xizmat ko'rsatish va foydalanishda texnika xavfsizligini ta'minlanishi;
- ekologik xavfsizligini ta'minlanishi.

Yuqorida keltirilgan barcha talablar ko'pincha texnika-iqtisodiy hisoblar yordamida bajariladi va bunda yillik xalq xo'jalik sarflarini imkon boricha kichiklashtirish asos qilib olinadi.

Izolyatsiyaga ta'sir etuvchi omillar:

- izolyatsiyaga elektr ta'siri**: normal foydalanish sharoitida ishchi kuchlanishning uzoq muddatli ta'siri; ichki kommutatsiya o'takuchlanishi ta'siri; yashin o'takuchlanishi ta'siri;
- izolyatsiyaga issiqlik ta'siri**: ishchi sharoitida uzoq muddatli isishi; avariya va zo'rayish sharoitida qizishi;
- izolyatsiyaga statik mexanik ta'sir**: ishchi sharoitida uzoq muddatli statik va o'zgaruvchan yuklama ta'siri; tebranishlar ta'siri; avariya va zo'rayish sharoitida impuls zarbali elektrodinamik yuklama ta'siri, yani **dinamik mexanik ta'sir**;
- izolyatsiyaga atrof muxitning fizik ta'siri**: namlik; bosim; harorat; changlar; tuzli changlar; shudring, yomg'ir; qor; do'l; muz bilan qoplanish; tuman; shamol; qirov;
- izolyatsiyaga atrof muhitining kimyoviy ta'siri**: azot oksidi NO; ozon O₃; uglerod nimoksidi - is gazi SO; oltin gugurtli S, xlorli Cl, ftorli F va boshqa faol kimyoviy birikmalar hamda bulardan izolyatsiya sirtida hosil bo'luvchi zararli moddalar;
- izolyatsiyaga atrof muhitdagi organizmlar ta'siri**; hashoratlar, tirik organizm-kemiruvchilar, makro- va mikroorganizmlar ta'siri: tropik iqlimli; taqir cho'l, masalan, Orol bo'yidagi Ust-yurt platosi, qizil qum saxro hududlarida;

-izolyatsiyaga favqulotda holatlar ta'siri: bo'ron, dovul, yer qimirlashi, suv toshqini, yong'in, portlatish hamda vandalizm turlari ya'ni mis va alyuminni sotishga kesib olish, elektr tarmog'idagi avariylar, poyezdni izdan chiqishi va boshqalar.

Izolyatsiya elektr mustahkamligini tanlash. Yuqori kuchlanishli elektr qurilmalar izolyatsiyasi elektr mustahkamligiga quyidagi kuchlanishlar ta'sir ko'rsatadi (1-rasm, 7 bet): A-yashin o'takuchlanishi; B-ichki kommutatsiya o'takuchlanishi; C-uzoq muddatli nominaldan kattaroq kuchlanish; D-ishchi kuchlanish.

Izolyatsiyaga ta'sir etuvchi nisbiy kuchlanish U/U_f turli o'takuchlanishlar hisobiga 6 martagacha nominal kuchlanishdan oshib ketishi mumkin. Izolyatsiya elektr mustahkamligi shunga qarab tanlab olinsa (1-grafik) izolyatsiya o'lchamlari kattalashadi va tannarhi qimmatlashib ketadi. Bu holda izolyatsiya mustahkamligi ishchi kuchlanishga nisbatan juda katta va iqtisodiy asoslanmagan zahiraga ega bo'lib qoladi. Agar izolyatsiya mustahkamligini iqtisodiy asoslangan zahira bilan olinsa (2-grafik), izolyatsiya o'takuchlanishlarga chidab beraolmaydi. Shuning uchun elektr qurilmalar izolyatsiyasining gabarit o'lchamlarini qisqartirish uchun o'takuchlanish miqdorini chegaralash talab qilinadi.

O'takuchlanishlar miqdorini chegaralash uchun himoya razryadniklaridan foydalaniladi. Elektr qurilmalar iqtisodiy samaradiligini oshirish himoya apparatlarining takomillanishi bilan bog'liq. Elektr qurilmalar ishonchli ishlashi va iqtisodiy samaradiligini ta'minlash uchun ta'sir etuvchi kuchlanishlarning qiymati bilan himoya apparatlarining razryad tavsifi va izolyatsiyaning elektr tavsifini o'zaro moslash kerak bo'ladi. Bu **izolyatsiyani koordinatlash** deb ataladi va qurilma loihalashning bosh masalasidan biridir.

Elektr energiya ishlab chiqaruvchi elektr stansiyalar hamda iste'molchi elektr stansiyalar mavjud.

Elektr stansiyalar asosan elektr energiya ishlab chiqaradi. Elektr stansiyalarining asosiy vazifasi **sinxron generatorlar** yordamida mexanik energiyani, issiqlik energiyasini, atom energiyasini, suv oqimi energiyasini elektr energiyaga aylantirib berishdir. Elektr stansiyalarning ko'pchiligi faqat elektr energiyani ishlab chiqarsa, ba'zilarida elektr energiya hamda issiqlik energiyani ishlab chiqariladi. Elektr stansiyalarida qo'llanilgan generatorlarining turiga qarab $3 \div 24$ kV yuqori kuchlanishli elektr energiya hosil qilinadi. Bu kuchlanish kuch transformatorlari yordamida $35 \div 750$ kV yuqori kuchlanishga aylantiriladi, havo elektr uzatish yo'llari yordamida iste'molchilarga yetkazib beriladi.

Energiya manbalariga qarab elektr stansiyalar quyidagilarga bo‘linadi: issiqlik kondensatsion elektr stansiyalar KES va issiqlik elektr markazlari TES (teplo-elektr sentri); gaz-turbinali va bug‘-gaz qurilmali elektr stansiyalar; gidravlik elektr stansiyalar GES; atom elektr stansiyalari AES; dizel elektr stansiyalari DES. Bu elektrostansiyalarning foydali ish koeffitsiyenti FIK ko‘pi bilan 40% gacha boradi xalos. Hozirgi kunda qayta tiklanuvchi energiya manba‘lari: shamol, quyosh nuri, dengiz to‘lqinlari, biochiqindilar hamda geotermal suvlardan foydalanish imkoni o‘rganilib, mahsus qurilmalar yaratilmoqda. Rivojlangan mamlakatlarda: AQSh, Fransiya, Germaniya, Yaponiya, Koreya, Kanada, Rossiyada atom elektro stansiyalaridan keng ko‘lmda foydalaniladi. Chernobl va Yaponiyada sodir bo‘lgan katta avariylar atom elektr stansiyalari rivojiga futur yetkazgan bo‘lsada, ularning yanada puxtaroq ishlashini ta‘minlash zarurligi e‘tiborni qaratdi. Tabiiy yoqilg‘ilar zahirasi ko‘pi bilan 40÷80 yilga yetishini hisobga olsak, kelajak energetikasi faqat atom energiya bilan ta‘minlanadi.

Elektr energiya manbalari qatoriga jadal rivojlanayotgan **yoqilg‘i elementlari** ham kiradi. Jumladan, vodorodli yoqilg‘i elementi ishqorli suvda vodorod atomlarni sovuq holda «yoqib», ya‘ni kislorod atomi bilan biriktirib, elektr energiya va distillangan suv ishlab chiqararuvchi tejamkor manbadir. Vodorodli yoqilg‘i elementining foydali ish koeffitsiyenti 83% bo‘lsa, is gazi CO ishlatilsa foydali ish koeffitsiyenti 91% bo‘ladi, hamda ko‘mir, ya‘ni karbon C, ishlatilganda foydali ish koeffitsiyenti 99% ga boradi [9,15,18]. Bu albatta kelajak energetikasidir.

“O‘zbekenergo” DAK tizimiga qarashli elektr stansiyalarning **o‘rnatilgan quvvati** 12,3 Mln.kVt tashkil qilib, elektr energiya issiqlik elektr stansiyalarida 86% va gidro elektr stansiyalarida 11.5% va boshqa tashkilotlarda 2,5% ishlab chiqariladi. Issiqlik elektr stansiyalarining 85% ti tabiiy gazda ishlaydi. Energetika asosini quyidagi katta TES lar tashkil qiladi: Sirdaryo TЭС 3 GVt, Yangi Angren TES 2,1 GVt, Toshkent TES 1,86 GVt va Navoiy ТЭЦi 1,25 GVt. Kompaniya gidroenergetikasida 28 GES bo‘lib, shulardan eng kattasi Chorvoq GES 600 MVt va Xojikent GES 165 MVt.

Elektr energiyani iste‘moli elektr nimstansiyalar orqali amalga oshiriladi. **Elektr nimstansiya** (подстанция)ning aniqroq nomini iste‘molchi elektr stansiya deyilsa to‘g‘riroq edi. Ular elektr qurilmalar to‘plami bo‘lib, unda elektr energiya kuchlanishi, tokining doimiy yoki o‘zgaruvchanligi hamda chastotasi bo‘yicha o‘zgartirilib, iste‘molchi

fiderlariga bo'lib taqsimlanadi. Nimstansiya tarkibi elektr energiya ko'rsatgichlari-parametrlarini o'zgartirish uchun xizmat qiladigan kuch transformatorlari, elektr energiyani bir hildan ikkinchi hilga aylantiruvchi o'zgartgich qurilmalar (преобразовательные устройства), taqsimlash qurilmalari (распределительные устройства) РУ, boshqarish qurilmalari, himoya apparatlari (защитные устройства) va o'lchash asboblari (измерительные устройства) hamda yordamchi inshootlardan tashkil topadi.

Nimstansiyalarning tashqi elektr ta'minoti kuchlanishi 500 kV, 220 kV, 110 kV, 35 kV havo elektr uzatish yo'llar orqali bosh pasaytiruvchi ГПП nimstansiyalardan amalga oshiriladi. Elektr transporti tizimida nimstansiyalar, xizmat burchiga qarab, tortish va pasaytirish yoki birlashgan tortish-pasaytirish guruhlariga ajratiladi. Ular metropoliten uchun yer ostida yoki temir yo'l va tramvay uchun yer ustida joylanishi mumkin.

Tortuvchi nimstansiya ТП (тяговые подстанции) bu elektr energiya-ning iste'molchi nimstansiyasi bo'lib, u elektrlashgan yer usti yo'naltirilgan transporti: temir yo'l, metropoliten, tramvaylarning kontakt tarmog'ini yuqori sifatli elektr energiya bilan uzluksiz ta'minlab turishga mo'ljallangan. Tortuvchi nimstansiyalardan boshqa notortuvchi ist'molchilar ham elektr energiya bilan ta'minlanadilar. Tortuvchi nimstansiya ТП **kontakt** tarmog'i КС (контактная сеть) orqali transport vositalariga bog'liq elektr tortish tizimlarining elektr ta'minotini amalga oshiruvchi nimstansiyadir.

Nimstansiyalarda yopiq, ya'ni tashqi muhitdan mutloqo ajratilgan, va ochiq atmosfera havoda ishlaydigan elektr qurilmalari qo'llanadi: bularga birinchi navbatda kuch va o'lchov transformatorlari va taqsimlash qurilmalari kiradi. **Yopiq qurilmaning** afzalligi sifatida uning uzoq muddat davomida puxta va ishonchli ishlashi qayd etiladi. Ichki muhitni hisobga olgan holda apparatlarning qulayligi, ekspluatatsiyaga kam xarj talab qilishi, katta ishlash puxtaligi, gaborit o'lchamlarining kichikligi, o'ranish uchun kam joy talab qilishi, hajmining kichikligi va boshqa xossalari ularga katta afzalliklar berdi.

Ochiq qurilma afzalligi: ularni qurish va yig'ishning osonligida; transport vositalarining qulay yaqinlashish imkoniyatida; yong'in xavfsizligi yuqoriligida; transformator va uskunaning boshqa elementlarida hosil bo'luvchi issiqliklarni haydash imkoniyati yaxshiligida; tashqi havo elektr uzatish yo'llarni olib kelishlikning qulayligidadir.

Yuqori kuchlanishli tarmoq va tizimlar. Ishlash rejimining umumiy-
ligi hamda elektr va issiqlik energiyani ishlab chiqarish va taqsim-
lashning uzluksizligi bilan bir butun bo‘lib bog‘langan elektr stansiyalar,
nimstansiyalar, elektr uzatishlar va issiqlik tarmoqlari to‘plami **energe-
tika tizimini** tashkil etadi.

Energetika tizimining elektr qismi-**elektr tizimi** deb atalib, unga
elektr energiyani ishlab chiqaruvchi stansiyalar, ularning sinxron
generatorlari, taqsimlovchi elektr uskunalari, kuchlanishni ko‘taruvchi
kuch transformatorlari, havo elektr uzatish yo‘llari, elektr nimstansi-
yalari, elektr tarmoqlari, iste’molchilari kiradi.

Elektr tarmog‘i elektr tizimining bir qismi bo‘lib, elektr energiyani
uzatish va taqsimlash vazifasini bajaruvchi nimstansiyalar va havo elektr
uzatish yo‘llaridan tashkil topadi. Elektr tarmoq ma’lum bir xududda
nimstansiyalar, elektr uzatish yo‘llari va elektr taqsimlagichlarni hamda
ularni boshqarish va himoya apparatlarini o‘zida mujassamlashtirgan
elektr qurilmalar to‘plamidir. U taqsimlagich nimstansiyalar va ularni
o‘zaro birlashtiruvchi havo va kabel elektr uzatish yo‘llaridan tashkil
topadi. Elektr energiya elektr stansiyalarda katta quvvatli sinxron
generatorlar yordamida ishlab chiqariladi.

Elektr stansiyalarining asosiy vazifasi mexanik, issiqlik, atom, suv
oqimi, yorug‘lik, shamol va boshqa energiyalarni elektr energiyaga ay-
lantirib berishdir. Elektr stansiyalarning ko‘pchiligi faqat elektr
energiyani ishlab chiqarsa, ba’zilarida elektr energiya hamda issiqlik
energiyani ishlab chiqaradi. Elektr stansiyalarida qo‘llaniladigan
generatorlarning turiga qarab $6 \div 20$ kV yuqori kuchlanishli elektr
energiya ishlab chiqariladi. Bu kuchlanish stansiyadagi kuch trans-
formatorlari yordamida 35 kV dan 750 kV gacha yuqori kuchlanishga
aylantiriladi va iste’molchilarga yetkazib beriladi.

Elektr energiya iste’mol qilinayotganida, u ko‘pincha boshqa turdagi
energiyalarga qayta o‘giriladi: elektr dvigatelda u mexanik energiyaga;
cho‘g‘lanma lampalarda, dastlab, issiqlik energiyaga, so‘ngra esa
yorug‘lik oqimi energiyaga; temir yo‘lda-poyezdning kinetik energiyaga
aylanadi. Energiyaning bir turdan boshqa turga aylanishida albatta
ma’lum **energiya isrofi** bo‘ladi. Isroflar miqdori shu energiyani bir
turdan ikkinchi turga aylantiruvchi qurilmalarning mukammaligiga
bog‘liqdir.

1.2. Yuqori kuchlanishni inson hayotiga xavfi va ekologiya muammolari

Yuqori kuchlanish ekologiya muammolari. Elektr qurilmalarda, ayniqsa, elektr uzatish yo'llarida, yuqori kuchlanish miqdori oshgan sari yangi-yangi ekologiya muammolari kelib chiqmoqda. Yuqori kuchlanishning ekologiyaga uchta ta'siri ma'lum: akustik to'lqinlar tarqatishining, elektromagnit to'lqinlarini tarqatishining va kuchli elektr maydon kuchlanganligining salbiy ta'siridir.

Akustik to'lqinlar yuqori kuchlanishli simlardan elektr razryadlarini strimer shaklida chiqishi natijasida paydo bo'ladi. Tarqaluvchi tovush to'lqining chastotasi 20 Gs dan 20 kGs diapozoni oralig'ida bo'lib, ularni odatda akustik shavqin deyiladi. Yakka simli elektr uzatish yo'llarida akustik shavqin kichkina bo'lib, ekologiya ta'sirini hisobga olminmaydi. Kuchlanish 500 kV dan oshganda 3, 5, 8, 12 ta tomirga bo'laklangan simlar (расщепленные провода) ishlatilganda akustik shavqin va toj razryadi kamayib ketadi. Yomg'ir, ho'l qor, tuman, sim muz bilan qoplanganda toj razryadining boshlanish kuchlanishi $1,5 \div 2$ marta kamayishi sababli akustik shavqin ko'payib ketadi va sim tagida $10 \div 25$ dB borishi mumkin. Tibbiyotdan ma'lumki, insonga akustik shavqin ta'siri 80 dB oshsagina boshlanadi: eshitish organlari qisman buzilishi, og'riq sezilishi, tovushdan charchash, ko'rishning zayiflashishi seziladi. Temir yo'l transportida qo'llaniladigan $6 \div 110$ kV kuchlanishning akustik ta'siri insonga sezilarsizdir.

Elektromagnit oqimli radio to'lqinlar. Havo elektr uzatish yo'lining simlaridan strimer shaklidagi toj razryadi chiqishi sababli atrofga elektromagnit radio to'lqinlari tarqaladi. Elektr uzatish yo'lining kuchlanishi $400 \div 500$ kV oshgandagina radio shavqiniga qarshi normalar belgilangan. Masalan, 1150 kV kuchlanishli elektr uzatish yo'lini loyihalashda yo'l o'qidan 100 m masofada radio to'lqinlarini normalash uchun sim radiusi shunday olinadiki sim sirtidagi maksimal kuchlanganlik quyidagi tengsizlikka mos bo'lishi kerak: $E_m \leq (A - \lg(r))$. Bunda $A=33,8 \pm 31,6$ va r -simning radiusidir [sm]. Bu formula 8 tolaga ajratilgan sim uchun berilgan. Sim radiusi kattalashgan sari radio xavfni bartaraf etish uchun ruxsat etilgan kuchlanganlik miqdori kamayadi.

Kuchli elektr maydon. Havo elektr uzatish yo'llarining simlardagi kuchlanish miqdori oshishi hamda simlarni ko'p tomirli bajarilishi

yig'ilgan zaryad miqdorini kattalashadi. Yakka simdagi zaryad $Q = CU / \sqrt{3}$ bo'lib, 2-jadvalda keltirilgan.

Yuqori kuchlanish miqdori 10÷220 kV orasida bo'lganda simlarda yig'ilgan zaryad miqdori kam bo'lib, elektr maydon xavfi hisobga olmaslik darajasida kichkinadir. Kuchlanish 500÷750 kV ga chiqsa zaryad miqdori 10 marta oshib ketadi va kuchli elektrostatik maydon hosil qiladi, hamda maydon ta'siri ham kuchayadi. Xizmatchilar kuchlanishi 27,5 kV temir yo'l kontakt tamog'i simlarning tagida va kuchlanish 10÷110 kV elektr uzatish yo'llari simlarining tagida uzoq muddat uzluksiz ishlasalar ham elektr maydonning inson organizmiga hechqanday ta'sirini sezishmagan.

Xizmatchilar kuchlanish 500 kV elektr uzatish yo'llarining tagida uzoq muddat uzluksiz ishlasa, elektr maydon ta'sirida tez jismoniy va nerv charchashi hamda ortiqcha bezovtalik sezishgan. O'zgaruvchan va doimiy tokli kuchlanishi 500 kV dan ortiq maydonda xizmatchilar birnecha oy ishlagach markaziy nerv tizimida va yurak-qon tomirlari tizimida funksional o'zgarishlar sodir bo'lishi kuzatilgan. Shu sababli «500 kV va 750 kV kuchlanishli havo elektr uzatish yo'llarida ishlash normalari va mehnat xavfsizligini saqlash tartibi» 1970 yili tasdiqlangan.

2-jadval.

Kuchlanish, kV	10	35	110	220	500	750
Faza kuchlanishi U, kV	5,7	20	64	127	290	433
Faza sig'imi C, pF/m	2	2,5	4	6,5	10,5	12
Zaryad $Q \cdot 10^{-7}$, Kl/m	0,2	0,6	3,5	8	35	55

Havo elektr uzatish yo'li simlarining tagida elektr maydoni kuchlanganligining o'zgarishi 3-jadvalda va inson ishlashiga ruxsat etilgan vaqt 4-jadvalda keltirilgan.

Uzoq yillar davomida 50 Gs chastotali 500 kV kuchlanishli uzatish yo'lini foydalanish shuni ko'rsatdiki, simlar tagidagi kuchlanganlik E 15kV/m dan oshmasa, inson salomatligiga xavf tug'dir-maydi. Kuchlanganlik $E > 15$ kV/m bo'lsa, insonni shunday maydonda uzluksiz bo'lish vaqti cheklanadi. Agar elektr maydon kuchlanganligi 15 kV/m bo'lganda insonni unda uzluksiz bo'lish vaqti 1,5 soat miqdorida belgilangan bo'lsa, maydon kuchlanganligi 20 kV/m va 25 kV/m ga yetganda birnecha daqiqa miqdoridagina ruxsat etilgan.

Havo elektr uzatish yo‘li simlarining tagida elektr maydoni kuchlanganligining kamaytirishning eng oson usuli shuki, simlarni yuqoriroq balandlikka osish tavsiya etiladi. Faza simlari orasidagi masofani ruxsat etilgancha masofaga kamaytirilsa, uch fazli elektr uzatish yo‘lida 120° siljirilgan fazalarning elektr maydonni o‘zaro kompensatsiyalash imkoni oshib, shuning hisobiga simlarning osish balandligini kamaytirish va o‘rtadagi simning tagida ruxsat etilgan kuchlanganlik $E=15 \text{ kV/m}$ miqdorini ta‘minlash mumkin.

3-jadval. Havo elektr uzatish yo‘li simlarining tagida elektr maydoni kuchlanganligining taqsimoti,

Kuchlanish sinfi	Yerda simgacha masofa H, m	10	12,5	15	17,5	20
500 kV	Yerda, kV/m	9,5	6,7	5	3,9	3,6
	2 m da, kV/m	10	7	4,9	3,9	3,6
750 kV	Yerda, kV/m	18	13	10	8	6,5
	2 m da, kV/m	19	13,5	11	8	6,5

Yuqori kuchlanishning inson hayotiga xavfi shundaki, inson tanasining biron qismi bilan elektrotexnik qurilmaning yuqori kuchlanishli simiga yoki tok o‘tkazuvchi qismiga tegib ulgurmasdan faqat ma‘lum masofaga yaqinlashsa, bas, insonga yashin ipidek yorug‘lik sochuvchi razryad kanali kelib tegib, inson tanasi orqali yuqori kuchlanishli razryad o‘tib ketishidadir. Bu yuqori kuchlanishli tokni inson tanasidan yerga o‘tishi natijasida inson paralich holiga kirishiga, xatto hayotdan ko‘z yumishiga olib kelishi mumkin.

Kuchli elektr maydonda insonga ta‘sir etuvchi omillar: uchqun razryadlari, elektr maydon kuchlanganligi va sig‘im tokidan iborat. Inson tanasidagi go‘sht va paydan iborat muskul to‘qimalari, insonning ichki organlari, qon va limfa aylanadigan yo‘l va tomirlar, nerv tomirlari va boshqalar yaxshi elektr o‘tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo‘lib, faqat shu sababli elektr maydoni kuchlanganliginning to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta‘sirini kutish muammoli masala bo‘lsada, lekin bu asosiy omil hisoblanmaqda.

4-jadval. Insonni elektr maydonida ishlashiga ruxsat etilgan vaqt

Elektr maydonining kuchlanganligi, kV/m	5	10	15	20	25
Bir sutkada elektr maydonda bo'lish ruxsat etilgan vaqt, daqiqa	Cheki yo'q	180	90	10	5

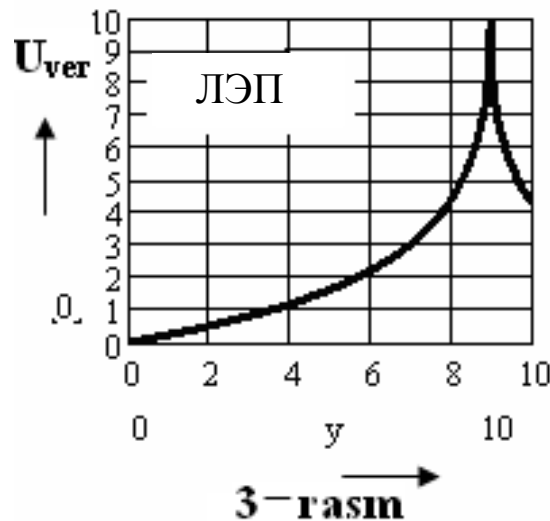
Induksion kuchlanish xavfi. Temir yo'llardagi 27,5 kV kuchlanishli kontakt tarmog'ining manbadan uzilmagan simi elektr maydonining ta'siri sababli unga parallel tortilgan, manbadan uzilgan va yerlanmagan qo'shni simda 2÷4 kV kuchlanish induksiyanishi amalda kuzatilgan.

Nazariy hisoblar shuni ko'rsatdiki, 27,5 kV yuqori kuchlanishli simning elektr maydoni yonidagi manbadan uzilgan, ammo yerlanmagan, 3 m masofadagi birinchi parallel kontakt simida 3,6 kV yuqori induksion kuchlanish kuchlanish hosil qilsa, 6 m masofadagi manbadan uzilgan va yerlanmagan ikkinchi simda 1,5 kV yuqori kuchlanishni induksiyalaydi, va 9 m masofadagi uchunchi shunday simda 821 V kuchlanishni induksiyalasa, 12m masofadagi to'rtinchi manbadan uzilgan simda 500 V ga yaqin kuchlanishni induksiyalaydi.

Temir yo'l yuqori kuchlanishli kontakt tarmog'i simiga parallel tortilgan va СЦБ (сигнализация, централизация, блокировка) tizimini elektr energiya bilan ta'minlovchi 10 kV ikki sim-rels ДПП (два провода-рельс) simidan 4 m masofada joylashgan hamda manbadan uzilgan, ammo yerlanmagan, kontakt tarmog'i simida 2,631 kV kuchlanish induksiyalaydi.

10 kV kuchlanishli ДПП tarmog'ining manbadan uzilmagan simlaridan kontakt tarmog'ining manbadan uzilgan, ammo yerlanmagan, simida 1,175 kV kuchlanish induksiyanadi (3-rasm). Kontakt tarmog'i ustidan o'tgan va yerdan 11 m balandlikda tortilgan 110 kV kuchlanishli uch fazali havo elektr uzatish yo'li ЛЭП-110 simlaridan kontakt tarmog'ining manbadan uzilgan, ammo yerlanmagan, relsdan 9 m balandlikdagi simida 36 kV kuchlanish induksiyanadi. 220 kV kuchlanishli ЛЭП-220 havo elektr uzatish yo'lining yerdan 20 m balandlikda tortilgan simlaridan kontakt tarmog'ining manbadan uzilgan, ammo yerlanmagan, relsdan 9 m balandlikdagi simida 22 kV kuchlanish induksiyanadi. 500 kV kuchlanishli ЛЭП-500 havo elektr uzatish yo'lining yerdan 25 m balandlikda tortilgan simlaridan kontakt tarmog'ining manbadan uzilgan, ammo yerlanmagan, relsdan 9 m balandlikdagi simida 36 kV kuchlanish induksiyanadi (5-jadval).

Bunday induksiyaviy kuchla-nishlar inson salomati va xayoti uchun jiddiy xavf tug‘diradi.



Manbadan uzilgan va ajratilgan qo‘shni parallel simdagi induksiyalangan bunday yuqori kuchlanish inson hayoti uchun juda xavfli bo‘lib, uni yo‘qotish uchun manbadan uzilgan simning ikki nuqtasini yerlash talab qilinadi. Manbadan uzilgan va ajratilgan kontakt tarmog‘i simning ikki yerlangan nuqtasi orasidagina ta‘mirlash ishlarini olib borish ruxsat etiladi. Aks holda inson nerv shoki va tan jaroxati olishi muqarrar. Bu holda ba‘zan ikkilamchi ta‘sir: balanddan qulab tushish, mexanik travma olish, yurak xuruji va boshqa ko‘ngilsiz hodisalar natijasida inson hayoti xavf ostida qoladi.

1.3. Temir yo‘l kontakt tarmog‘idan foydalanishda texnik xavfsizlikni ta‘minlash

Yuqori kuchlanishli temir yo‘l kontakt tarmog‘i hamda yuqori kuchlanishli qurilmalar o‘zida inson hayoti va sog‘lig‘i uchun juda katta xavfni yashirib turadi. Ularning yuqori kuchlanishli qismlarida ko‘zga ko‘rinmas, quloq bilan eshitilmas hamda hidi ham kelmas, ammo havo orqali $0,25 \div 0,5$ metr masofadan yashin kabi kutilmaganda uradigan katta quvvatli hamda o‘ta xavfli kuch mavjud. Yuqori kuchlanishli tarmoq va qurilmalarga xizmat ko‘rsatuvchi insonlardan o‘ta xushyorlik va o‘zining xavfsizligini ta‘minlash uchun yuqori kuchlanish xavfi haqida yetarli bilim hamda xavfsizlikka zarur vositalarga ega bo‘lishi va bu vositalardan to‘g‘ri foydalana olishni bilishi talab qilinadi.

5-jadval. Kuchlanishi 10÷500 kV uch fazali elektr uzatish yo‘llari ostida tik yo‘nalish bo‘ylab hisobiy induksion kuchlanish U_{vert} ning vertikal taqsimoti, kV

H, m	1	2	4	6	9	11	20	25
ЛЭП 10 kV	0,235	0,50	1,121 75	2,2	10	-	-	-
ЛЭП 35 kV	0.822	1,75	4,114	7,7	35	-	-	-
ЛЭП 110 kV	2,07	4,2	9,507	16,6	36,0	110	-	-
ЛЭП 220 kV	1,84	3,79	8,08	13,0	22,0	29,6	220	-
ЛЭП 500 kV	3,096	6,35	13,38	21,2	34,9	45,7	131	500

Himoya vositalari. Yuqori kuchlanishli elektr qurilmalardan foydalanishda texnika xavfsizligini ta'minlash uchun himoya vositalaridan foydalaniladi. Ular **asosiy himoya vositalari** hamda **qo'shimcha himoya vositalariga** bo'linadi. Shunga e'tibor qilish kerakki, 1000 V kichik kuchlanishda asosiy himoya vositalari hisoblangan bandi izolyatsiyalangan ombir va boshqa instrumentlar, izolyatsiyalangan shtangalar, rezinka qo'lqoplar, rezinka kalish va botlar, izolyatsiyalovchi gilamchalar, 1000 V kattaroq yuqori kuchlanishda qo'shimcha himoya vositalari bo'lib qoladi.

Yuqori kuchlanishli elektr qurilmalarda asosiy himoya vositalariga:

- ko'rinuvchi uzilgan havo oraliq'i; izolyatsiyali shtanga;**
- izolyatsiyali minora** (изолированная подставка),
- yuqori kuchlanish ko'rsatgichi** (указатель высокого напряжения),
- yerlatgichlar,**
- drežina** kiradi.

Izolyatsiyalangan shtanga - bu uzun dielektrik tayoqcha bo'lib, elektrni izolyatsiyalovchi materialdan yasaladi va undan asosan imorat ichida foydalaniladi. Tashqarida esa undan quruq havo sharoitida, ya'ni yomg'ir, qor, tuman yo'qligida foydalaniladi.

Ko'rinuvchi uzilgan havo oraliq'i - bu yuqori kuchlanishli energiya ta'minlash tizimi bilan ta'mirlanuvchi qurilma orasidagi elektr o'tkazuvchi simlar yoki shinalardagi uzilgan oraliq bo'lib, temir yo'l kontakt tarmog'i va nimstansiyalarda **ajratgichlar** yordamida hosil qilinadi. Yuqori kuchlanishli va kichik quvvatli sinuv qurilmalarida esa

ko‘rinuvchi uzilgan oraliq ochiq ulagich-rubilniklar yordamida hosil qilishga ruxsat etiladi.

Texnik xizmat ko‘rsatish. Yuqori kuchlanishli elektr qurilmalarga ikki xil tartibda bajariladi:

-yuqori kuchlanish o‘chirilib, manbadan ajratilgan holda;

-yuqori kuchlanish o‘chirilmagan holda, faqat yerlangan predmet 0,8 metrdan uzoqroq masofada bo‘lishi shart.

Yuqori kuchlanish o‘chirilib, ta‘mir ishlari olib borilgan holda yuqori kuchlanish manbai bilan ta‘mir qilinuvchi qurilma orasidagi elektr o‘tkazuvchida ko‘rinuvchi uzilgan oraliq bo‘lishi shart.

Yuqori kuchlanishli elektr qurilmalarni nazorat qilish va ta‘mirlash ishlarini yakka shaxs bajarishi qat‘iyan taqiqlanadi va texnik xizmat ko‘rsatishni kamida ikki kishidan tashkil topgan guruh (бригада) bajaradi. Guruh azolaridan bir kishi rahbar etib tayinlanadi. Guruh azolarining har biri yuqori kuchlanish bilan ishlashda texnika xavfsizligini ta‘minlash va yuqori kuchlanishli qurilmalardan foydalanish qoidalaridan imtihon topshirgan bo‘lishi, kamida II toifaga egalik guvoxnomasi bo‘lishi, umumiy va ish joyidagi instruktajdan o‘tganligi haqida malumot tegishli jurnalda qayd qilinishi shart. Gruppa boshlig‘ining qo‘lida IV yoki V toifaga egalik guvoxnomasi bo‘lishi talab qilinadi. Guruhga sex raxbari imzo chekkan yozma naryad-buyruq va energo-dispecherdan ish bajarishga ruhsat vaqti (окно) olib beriladi.

Yuqori kuchlanish o‘chirilib, manbadan ajratilgan holda texnik xizmat ko‘rsatish uchun avvalo kontakt tamog‘i o‘chirgich bilan elektr ta‘minoti tizimdan uziladi, ajratgich bilan havoda ko‘rinuvchi oraliq hosil qilinadi, so‘ngra ish joyi ikki tomondan ishonchli yerlanadi.

Yerlash - bu elektr qurilmalardagi yuqori kuchlanish o‘chirilib, havoda ko‘rinuvchi uzilgan oraliq tashkil qilingach avvalo bajariladigan amaldir. Yerlatgich izolyatsiyali tayoqcha (штанга) ga o‘rnatilgan o‘zi mahkam tishlab oluvchi qisgich (зажим) bo‘lib, Qisgichga ko‘p tomirli misdan yasalgan izolyatsiyasiz ochiq va yo‘g‘on yerlovchi sim ulanadi. Yerlash quyidagi tartibda bajariladi: avvalo yerlovchi sim yerga ulanadi; so‘ngra yerlagich o‘rnatiladigan joyda yuqori kuchlanishning yo‘qligi tekshirib ko‘riladi; kuchlanish bo‘lmasa, nihoyat, yerlagich izolyatsiyali shtanga-tayoqcha bilan tayinlangan joyga o‘rnatiladi. Yerlashni olish yuqoridagiga teskari tartibda olib boriladi.

Yuqori kuchlanishni o‘chirilmagan holda texnik xizmat ko‘rsatish elektr xavfsizligini ta‘minlash uchun tepasida metaldan yasalgan ish joyi mavjud bo‘lgan izolyatsiyalangan kursidan foydalaniladi. Masalan,

temir yo‘l kontakt tarmog‘ini yuqori kuchlanishni o‘chirmay xizmat ko‘rsatishda **drežina** yoki temir yo‘l bo‘lab harakatlanish imkoni bo‘lgan **g‘ildirakli olib-qo‘yiluvchi izolyatsiyalangan minora** (изолированная съёмная вышка) ishlatiladi. Drežinaning umumiy ko‘rinishi 4-rasmda keltirilgan (rangli ilovaga qarang, 189 bet). Rasmda: 1-mashinist xonasi; 2-ta‘mirlovchi guruh xonasi; 3-yuk ko‘taruvchi kran va teleskopik minora; 4-o‘z o‘qi atrofida aylana oluvchi izolyatsiyalangan supaning ko‘targichi; 5-metall pollik va to‘rt tomoni to‘siqli ishchi supa; 6-supaning to‘rtta izolyatori; 7-dizel generator agregati; 8-o‘z o‘qi atrofida burish mexanizmi; 9-ikki kishilik belanchak; 10-izolyatsiyalangan neytral maydoncha.

Drežina tomida izolyatsiyalangan supa 5, 6 bo‘lib, uning old va orqa tomonida ikkita izolyatsiyali tayoqcha o‘rnatilgan. Tayoqchaning uchida kontakt tarmog‘i simni mahkam tishlab oluvchi qisgich o‘rnatilgan. Qisgichga ko‘p tolali yo‘g‘on mis simi o‘rnatilgan bo‘lib, simning ikkinchi tomoni metall supaga mahkam birkirilgan bo‘ladi. Ish tartibi quyidagicha: ta‘mirlovchi guruh avvalo metall supachaga chiqib, shunday o‘ltirib olishadiki, ularning boshlari bilan kontakt simi orasida masofa 0,5 metrdan kattaroq bo‘ladi. Supachaning old va ort tarafidagi qisqichli izolyatsiyalangan tayoqchani xizmatchilar qo‘li bilan ushlab, nihoyatda ehtiyotlik bilan qisqichni kontakt tarmoq simiga biriktirib qo‘yiladi. Shunda metall supa kuchlanishi kontakt tarmoq simi kuchlanishiga teng bo‘lib qoladi. Supadagi xizmatchi guruh endi qo‘llari bilan kontakt simini ushlab bemolol ishlashlari mumkin. Belanchak va sim orasida kuchlanish farqi bo‘lmagani uchun ularni tok urmaydi. Rejalangan ish kontakt tarmog‘i kuchlanishini uzmagani holda bajarilib bo‘lingach, ishchi guruh xizmatchilari supaga o‘tirib yoki egilib olib simdan ruxsat etilgan uzoqlikda turgan holatda, nihoyatda ehtiyotlik bilan kontakt tarmog‘i simidan izolyatsiya tayoqli qisqichni bo‘shatib oladilar. So‘ngra metall supacha pastga tushirilib, ishchi guruh drežinadan yerga tushadi.

Ish joyida xizmat ko‘rsatuvchi shaxslarning elektr xavfsizligini ta‘minlash uchun va ularni bexosdan yuqori kuchlanishli tok o‘tkazgichlarga tegib ketishlarining oldini olish uchun yerlangan **vaqtinchalik to‘siqlar** yoki **doimiy to‘siqlar** o‘rnatiladi. Sanoat chastotali o‘zgaruvchan tok uchun yuqori kuchlanishli tok o‘tkazuvchilar bilan yerlangan to‘siq oralig‘ining uzunligi 6-jadvalda keltirilgan.

6-jadval. Yuqori kuchlanishli o‘tkazgich bilan yerlangan to‘siq oralig‘i

Kuchlanish	50 Gs o‘zgaruvchan tok			Impulsli tok	
	<10 kV	<50 kV	<250 kV	<100 kV	<400 kV
Oraliq masofa	0,23m	0,5 m	1,5 m	0,5 m	1,0 m

Temir yo‘l transportida yuqori kuchlanishli elektr qurilmalarda bajariladigan texnik xizmat ko‘rsatish ishlari tartibi «O‘zbekiston temir yo‘llari» DATK tasdiqlangan qoidalarga mos ravishda olib borilish kerak [10,11].

Nazorat uchun savollar

1. Yuqori kuchlanish necha kV dan boshlanadi?
2. Tashqi izolyatsiya nima?
3. Tashqi izolyatsiyaning asosiy hususiyatlari.
4. Ichki izolyatsiya nima?
5. Ichki izolyatsiyaning asosiy hususiyatlari.
6. O‘takuchlanish nima?
7. Kommutatsiya o‘takuchlanishi.
8. Atmosfera o‘takuchlanishi.
9. Yuqori kuchlanishning miqdoriga qarab sinflanishi.
10. Nominal kuchlanish nima?
11. Yuqori kuchlanishning turi va shakliga qarab sinflash.
12. Bosh pasaytirgich nimstansiyasi nima?
13. Ochiq turdagi yuqori kuchlanishli qurilmalar afzalligi.
14. Temir yo‘l elektr ta‘minoti qurilmalarini o‘takuchlanishdan himoyalash.
15. Yuqori kuchlanishni inson hayotiga xavfi.
16. Yuqori kuchlanishning ekologik muammolari.
17. Induksiya kuchlanishining insonga xavfi.
18. Temir yo‘l kontakt tarmog‘iga texnik xizmat ko‘rsatish usullari.
19. Yuqori kuchlanishni o‘chirmay texnik xizmat ko‘rsatish.
20. Yuqori kuchlanishda texnika xavfsizligini ta‘minlash.

II bob. TASHQI ELEKTR IZOLYATSIYA

2.1. Tashqi izolyatsiya tavsifi

Tashqi izolyatsiya tarkibiga elektr qurilmalar va uskunalar izolyatsiyasining atmosfera havosi sharoitida ishlaydigan qismi kirada. Tashqi izolyatsiyaning asosiy xususiyati, ya'ni uning elektr chidamligi, atmosfera havosining o'zgaruvchan xossalari bilan chambar-chas bog'langanligidir. Atmosfera havosining bunday xossalari: havo bosimi p , harorati T , namligi γ , changlanganlik darajasi, hamda ularga sezilarli ta'sir ko'rsatuvchi meteorologiya sharoitlari, jumladan: shamol, yomg'ir, do'l, qor, muzlash, tuman hamda tuzli yoki elektr o'tkazuvchan chang zarrachali ifloslanish va boshqalar.

Tashqi izolyatsiya atmosfera havosining asosiy hususiyati bo'lmish uning elektr mustahkamligini to'la qayta tiklanishi sababli tashqi izolyatsiya ham o'zi tiklanuvchi izolyatsiya qatoriga kiradi va yuqori kuchlanish texnikasida keng ko'lamda qo'llanadi.

Havoda **izolyator elektr chidamliligi** deb izolyatorning sirti bo'ylab razryad o'tib, qisqa tutashuvga olib keladigan kuchlanishga aytiladi. Elektr chidamlilik esa razryad jarayonlari mexanizmiga muvofiq ajraladi:

- 1) Quruq razryad kuchlanishi, ishonchligi 50% razryad kuchlanishi;
- 2) Ho'l razryad kuchlanishi;
- 3) Sirti kirlangan izolyatorning razryad kuchlanishi.

Havoning dielektrik hususiyati. Tashqi izolyatsiyaning asosiy dielektriki bo'lib atmosfera havosi xizmat qiladi. Yuqori kuchlanishli elektrodlar yoki tok o'tkazgichlar havoda bir-biridan va yerdan qattiq izolyatorlar bilan ajralgan holda ushlab turiladi. Havodagi izolyatsiya masofasining uzunligi S yuqori kuchlanishning qiymati U va havo elektr mustahkamligiga E_v ga bog'liq.

Havo elektr mustahkamligiga E_v esa elektr maydonning birjinsligi yoki nobirjinsligi bilan belgilanadi. Birjins maydonda fazoning barcha nuqtalarida elektr maydon kuchlanganligi E_0 miqdor jihatdan o'zgarmas bo'lib qoladi. Nobirjins maydonda esa elektr maydonning kuchlanganligi E miqdor jihatdan tahlil qilinuvchi nuqtaning fazodagi o'rniga bog'liq bo'lib, bu nuqtaning fazodagi o'rnini o'zgarsa E ham miqdor

jihatdan o'zgaradi. Bundan tashqari havo elektr mustahkamligi E_v atmosfera sharoitiga ham bog'liq. Jumladan: havo bosimi p , harorati T va absolyut namligi γ larga ham E_v bog'liq.

Normal atmosfera sharoitida birjins elektr maydonli havo oralig'ining uzunligi $S=1\text{m}$ bo'lganda havo elektr mustahkamligi $E_v=30\text{ kV/sm}=3\text{ MV/m}$ dan oshmaydi. Elektr uskunalarda ko'pincha keskin nobirjins elektr maydon mavjud bo'lib, bunday holda havo oralig'ining uzunligi kattalashgan sari havo elektr mustahkamligi E_v undan tezroq sur'atda kamayib ketadi. Masalan, havo oralig'ining uzunligi $S=1\div 2\text{ m}$ bo'lganda $E_v=5\text{ kV/sm}$ ga tushsa, $S=10\div 20\text{ m}$ da havo mustahkamligi $E_v=2,5\div 1,5\text{ kV/sm}$ tushib qoladi.

Elektr uskunalar va elektr uzatish yo'llarning havo oralig'i uzunligi C havo elektr mustahkamligi E_v bilan belgilanib, nominal kuchlanish U ko'payishi bilan havo oralig'i uzunligi S undan tezroq kattalashadi, ya'ni $U(S)$ funksiyasida chiziqli bog'lanish kuzatilmaydi. Tashqi kuchlanish U miqdori havo oralig'ining razryad kuchlanishi U_p ga yetganida elektrodlar orasidagi havo oralig'ining elektr izolyatsiyalash hususiyati yo'qoladi, ya'ni havoning hajmidan elektr teshilishsh razryadi sodir bo'ladi. Bundan tashqari havoning razryad kuchlanishi U_p havo bosimi va haroratiga bog'liq bo'lib, havo oralig'i $S\leq 1\text{ m}$ lik izolyatsiya uchun har 100 m balandlikka ko'tarilganda yoki harorat har 3°C ga ko'tarilganda razryad kuchlanishi U_p taxminan 1% ga kamayadi, va havo namligi γ ikki marta ortsa, razryad kuchlanishi U_p $6\div 8\%$ ga kamayadi.

Tashqi izolyatsiyani elektr sinash turlari:

- 50 Gs chastotali kuchlanishda sinash;
- kommutatsiya o'takuchlanishi impulsdarida sinash;
- yashin o'takuchlanishi impulsdarida sinash;
- doimiy tokli musbat va manfiy ishorali kuchlanishda sinashlari mavjud.

50Gs chastotali kuchlanishda sinash natijasida izolyatsiyaning ichki o'takuchlanish ta'siriga ishonchligi aniqlanadi. Izolyatorlar quruq holatda va yomg'ir yog'ib turgan holatda sinaladi. Ifloslangan va namlangan izolyatsiyani o'zgaruchan tokli kuchlanish bilan sinash uni ishchi kuchlanishda ishlay olishni ko'rsatadi. Izolyatsiyaning elektr teshilishlihi kuchlanishni muayyan tezlikda tekis ko'tarishda sodir bo'lishi kerak.

Kommutatsiya o'takuchlanishi impulsida sinash musbat va manfiy ishorali impulsli kuchlanishlarda olib boriladi. Nodavriy impuls shakli

quyidagicha: musbat va kuchlanishning maksimal qiymatigacha ko'tarish vaqti: $250 \pm 50 \text{ мкс}$; impuls uzunligi, ya'ni kuchlanish ko'tarila boshlanishidan to kuchlanish ko'tarilib, maksimal qiymatining yarmigacha qaytib tushishgacha ketgan vaqt: $2500 \pm 500 \text{ мкс}$; Bunday impulsining qisqacha belgilanishi: 250/2500 mks. Izolyatorlarning sinovi quruq holatda va yomg'ir yog'ib turgan holatda olib boriladi. Kommutatsiya o'takuchlanishi impulsida sinashni o'zgaruchan tokli kuchlanish bilan sinashga almashtirish ruxsat etiladi. Izolyatsiyaning elektr teshilishi kuchlanish impulsi amplitudasining ko'tarilish jarayonida sodir bo'ladi.

Yashin o'takuchlanishi impulsida sinash izolyatsiyaning yashin o'takuchlanishi impulsari tasiriga turg'unligi tekshirish uchun olib boriladi. Sinovlar musbat va manfiy ishorali impulsli kuchlanishlarda olib boriladi. Yashin impulsining to'la impuls shakli: kuchlanishni maksimal qiymatigacha ko'tarilish vaqti, ya'ni fronti: $1,2 \pm 0,36 \text{ мкс}$; impuls uzunligi: $50 \pm 10 \text{ мкс}$. Bunday impulsining qisqacha belgilanishi: 1,2/50 mks. Izolyatorlarning sinovi faqat quruq holatda olib boriladi, chunki bunday qisqa impulsli kuchlanish sinoviga yomg'irning ta'siri yo'q. Yashin o'takuchlanishi bilan sinovda berilgan kuchlanishda razryadni paydo bo'lish ehtimoli odatda razryad paydo bo'lganidagi impuls sonini impulsning umumiy soniga nisbati bilan belgilanadi. Bunday sinovlardan olingan razryad kuchlanishi tasodifiy miqdor hisoblanmaydi va P(U) egri chizig'i «hodisa egri chizig'i (кривая эффекта)» deb ataladi.

2.2. Gazda elektr razryadi

Izolyatsiyaning yuqori kuchlanishli elektrodi bilan yerlangan elektrodi orasidaga gazga chegaroviy kuchlanish berilganda gaz hajmida elektr razryadi bilan elektr teshilish paydo bo'lib, elektrodning o'zaro elektr tutashishi sodir bo'ladi.

Havo va boshqa gaz elektr izolyatsiyalash qobiliyatining buzilishi uning hajmida **erkin elektron** paydo bo'lishi sababli boshlanadi. Kuchlanish berilgan elektrodlar oralig'idagi elektr maydonli havoda paydo bo'lgan erkin elektron anod tamon yo'nalib harakatlanadi. Erkin elektronni elektr maydonda harakatlanishi natijasida uning tezligi ko'payadi, ya'ni tezlashadi, hamda kinetik energiyasi kattalashadi. Elektronning olgan kinetik energiyasining miqdori havodagi gaz atomlari orasida erkin yurish masofasi λ_e ga to'g'ridan - to'g'ri

bog'liqdir. Birinchi maydonda elektronning olgan kinetik energiyasi quyidagicha bo'ladi

$$W_e = eE_0\lambda_e \quad (2.1)$$

Bunda: e -elektron zaryadi, E_0 -elektr maydon kuchlaniligi, λ_e - elektronning havoda erkin yugurish masofasi. O'z navbatida elektronning erkin yugurish masofasi

$$\lambda_e = kT/2\pi pr_a^2 \quad (2.2)$$

teng bo'lib, bunda: koeffitsiyent $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Dj/K, T -absolyut harorat, p -bosim, r_a -havo atomlarining radiusidir. Agar elektronning olgan kinetik energiyasi W_e havo atomining ionlanish potentsiyali W_i dan kattaroq bo'lsa, tezlashgan erkin elektron havo atomiga zarb bilan urilib, **ionlash jarayoni** hosil bo'ladi, ya'ni atomning elektron qobig'idan bitta elektronni urib, havoga chiqarib yuboradi. Ma'lumki, vodorod gazi H_2 uchun ionlanish potentsiyali $W_i=15\text{eV}$ bo'lsa, azot gazi N_2 uchun ionlanish potentsiyali $W_i=15,6\text{eV}$ va kislorod gazi O_2 uchun ionlanish potentsiyali $W_i=12,1\text{eV}$ ga tengdir.

Har bir gaz atomi musbat ionlanganda havoga bitta yangi erkin elektron uchib chiqadi. Boshlang'ich birlamchi elektron bilan yangi elektron ikkita bo'lib, elektr maydonda tezlanuvchi harakatlanadi. Ikkinchi to'qnashuvdan so'ng erkin elektronlar soni 4 taga va uchinchi to'qnashuvdan so'ng 8 taga yetadi. Erkin elektronlar havo atomi bilan har ionlovchi to'qnashuvdan so'ng borgan sari erkin elektronlarning soni ko'payib boraveradi. Elektr maydonda erkin elektronlarning anodga qarab yurgan sari havo atomlari bilan ketma-ket to'qnashib, erkin elektronlar sonining ortib borish jarayoni **elektron lavinas** deb ataladi. Lavinadagi elektronlar soni n quyidagicha hisoblanadi

$$n = \exp(\alpha x) \quad (2.3)$$

Bunda: α -elektronning zarb bilan havo atomiga to'qnashib, atomni ionlanish koeffitsiyenti, x - elektronning yugurish masofasidir. Gaz razryadi nazariyasidan ma'lumki, $E/p=20 \div 150$ B/(sm*mm smob ustuni) ga teng bo'lib, gaz oralig'i uchun quyidagi empirik formula mavjud:

$$\alpha / p = 8,5 \exp\left(-\frac{250 p}{E}\right) \quad (2.4)$$

Bunda: E-elektromaydon kuchlanganligi, V/sm; p-havo bosimi, mm smob ustini; harorat $T=293 \text{ K}=\text{const}$, ya'ni o'zgarmas holatga tegishli.

Agar $E/p=34 \text{ V}/(\text{sm} \cdot \text{mm smob ustini})$ bo'lsa, $a/p=5$ ga teng bo'ladi, va $E/p=44$ bo'lsa, $a/p=30$ ga teng bo'ladi. Elektron lavinasining hosil bo'lishi elektroddan elektr tokining o'tishga sabab bo'ladi.

Havo atomlarini ionlash natijasida har bir erkin elektron musbat zaryadli bir ion, manfiy zaryadli bir elektron hamda ko'plab yorug'lik nuri fotonlarini hosil qiladi.

Quyidagi havoni ionlash omillari natijasida havo atomi ionlanib, havoda erkin elektron hosil qiladi: zarbli ionlash; tabiiy ionlash; termionlanish; fotoionlash; fotoelektron emissiya; termoelektron emissiya; avtoelektron emissiya; mikroportlash elektron emissiyasi va b.

Lavina razryadi elektr maydonli gazda erkin elektronlar va ionlardan tashkil topgan plazma kanali bo'lib, u tinimsiz anod tomonga qarab harakatlanadi hamda radius bo'ylab kengayib boradi.

Shunday qilib, erkin elektron paydo bo'lishidan boshlangan elektron lavinasi rivojlanib, borgan sari ko'proq masofaga anod tamon siljiydi va kundalangiga ham kengayib boraveradi. Bunga diffuziya va elektrostatik kuchlar sababdir. Lavina plazmasi ichidagi elektron va ionlar ko'paygach, uning oldidagi maydan kuchlanganligi E ko'payadi va ort qismidagi E kamayadi. Lavina dumida qolgan elektronlar musbat ionlar bilan birga ikkilamchi lavina plazmasini hosil qiladi, va bu plazma kengayib, strimer kanalini, ya'ni lavina plazmasi sirtidan chiquvchi va tok zichligi eng katta bo'lgan betartib razryad kanallarini paydo qiladi. Ikkilamchi lavina qizib, yorug'lik nurini chiqaradi.

Strimer razryadi gazdagi lavina razryadi plazmasining sirtidan katta tezlikda ipsimon kanal hosil qilib, atofga tovush to'lqini va yorug'lik tarqatuvchi razryadlarning yashin kabi betartib chiqishidir. Strimer kanali elektroddacha borishi yoki bormasligi ham mumkin. Borsa-havoni elektr teshilishi sodir bo'ladi. Elektron lavinasining plazma strimeriga o'tish sharti shuki, ion va elektronlarning o'z kinetik energiyasiga sababchi bo'lgan elektr maydon kuchlanganligi tashqi maydon kuchlanganligiga yaqinlashishi kerak. Birjinsli maydonda strimer hosil bo'lish sharti razryad mustaqilligi shartiga mosdir.

Havo atomlarini ionlash jarayoni bilan bir vaqtda unga zid jarayon - zaryadlangan zarrachalarning **neytrallanish jarayoni** ham ketadi. Bu jarayon **rekombinatsiya jarayoni** deyiladi. Musbat N^+ va manfiy N^- zaryadlangan ionlar soni teng, ya'ni $N=N^+=N^-$ bo'lsa, rekombinatsiya, ya'ni ionlarning neytrallanish jarayoni, natijasida ionlar kotsentratsiyasi kamayadi:

$$N = \frac{N_0}{1 + \rho N_0 t} \quad (2.5)$$

bunda N_0 - ionlarning boshlang'ich konsentratsiya, ρ -rekombinatsiya koeffitsiyenti bo'lib, u 1sek vaqtda 1sm^3 dagi rekombinatsiyalar soni, t-vaqt. Rekombinatsiya jarayoni tufayli elektron lovinasining rivoji sekinlashib, xatto o'chib qolishi ham mumkin.

Mustaqil va nomustaqil razryad. Agar tashqi ionlash omillari yo'qotilsa, bor lavina elektrodga yetib kelmasligi va elektr toki o'tishining tuxtashi ham mumkin. Bunday gaz razryadi jarayoni nomustaqil razryaddir.

Mustaqil razryad sodir bo'lganda tashqi ionlash omillari yo'qotilsa ham elektron lavinalari hosil bo'laveradi. Buning uchun har bir erkin elektron havo atomini ionlash natijasida yangi ikkilamchi elektronni paydo qilish shart.

Birjinslik maydonda **gaz razryadining mustaqillik sharti**

$$\gamma \exp(aL) > 1 \quad (2.6)$$

Bunda γ -barcha ikkilamchi erkin elektron hosil qilish jarayonlarining umumlashtiruvchi ionlash koeffitsiyenti.

Birjinslik maydonda mustaqil razryad elektrodlar oraliridagi havo oralig'ini to'la elektr teshilishi, ya'ni probay bilan yakunlandi. Nobirjins maydonda ionlanish jarayoni elektrod oralig'ining bir qismida sodir bo'lib, razryad faqat o'sha qismida yonadi, hamda razryadning maxsus turi - **toj razryadi** hosil bo'lishi mumkin. Nobirjins maydonda razryadning mustaqillik sharti elektrod oralig'ining faqat razryad paydo bo'lgan qismidagina bajariladi.

2.3. Gaz elektr mustahkamligi

Gaz elektr mustahkamligi quyidagilarga bog'liq: elektrodlar orasidagi masofa S ; gazning turi, bosimi, harorati va namligi; elektr maydonning **nobirjinslik koeffitsiyenti** $K_i = E_{\max} / E_{cp}$, ya'ni elektrodlar va dielektrikning shakli; kuchlanishni ko'tarish tezligi, ya'ni kuchlanishning ta'sir etish vaqti. Kuchli nobirjins elektr maydonda, ya'ni $K_i > 5$ dan ortiq bo'lganda, toj razryadi poydo bo'ladi.

Toj razryadi havodagi yuqori kuchlanishli sim atrofida yoki metallarning o'tkur qirralari uchida hosil bo'ladigan juda katta nobirjinslikka ega bo'lgan elektr maydonida yonadigan mustaqil razryad bo'lib, atrofga akustikoviy va elektromagnit to'lqinlarini tarqatib, ekologiyani buzadi hamda elektr quvvati isrofiga olib keladi.

Razryad kuchlanishi-statistik qiymat. Atmosfera havosidagi o'zgar-mas meteorologiya sharoitida izolyatorlar va elektrod oraliqlarining, ya'ni tashqi izolyatsiyaning, razryad kuchlanishi U_p ga razryad kelib chiqishi va uning rivojlanishi bilan bog'liq ko'plab tasodifiy omillar ta'sir ko'rsatadi. Jumladan, razryad trayektoriyasini oldindan bashorat qilish qiyin. Shuning uchun razryad kuchlanishi U_p tasodifiy hodisa bo'lib, u statistika qonunlariga bo'ysunadi.

Sinov tajribalari shuni ko'rsatdiki, razryad kuchlanishi U_p tarqoqlik (распределение) ehtimoli **Gaussning noral tarqoqlik qonuniga** bo'ysunadi. Razryad paydo bo'lishi tarqoqlik ehtimolining integral funksiyasi $P(U)$ quyidagicha:

$$P(U) = \left(\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{(u-\bar{U})^2}{2\sigma^2}} du \right); \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{U} - U)^2}{N-1}} \quad (2.7)$$

Bu formulalarda: $\bar{U}$ -razryad kuchlanishining 50% tarqoqlik ehtimolidagi qiymati; σ -razryad kuchlanishining 50% tarqoqlik ehtimoli qiymatidan **o'rtacha kvadratik og'ishi**, ya'ni tarqoqlik ehtimolining tarqoqlik egri chizig'idagi tikligi (критична кривой); N -tajribalar soni. Quyidagi 6-jadvalda razryad kuchlanishi $\bar{U}$ ning ikki tomonga 50% tarqoqligidan og'ishi $B\sigma$ ehtimoli keltirgan.

Jadvaldan shuni ko'ramizki, kuchlanish $U \leq \bar{U} - 2\sigma$ bo'lganda razryad sodir bo'lish ehtimoli 0,023 ga teng bo'lib, $U \leq \bar{U} - 3\sigma$ bo'lganda

esa razryad sodir bo'lish ehtimoli yanada kichik va 0.00135 ga tengdir. Eng kichkina razryad kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi, chunki bu holda razryad hosil bo'lish ehtimoli juda kichkina:

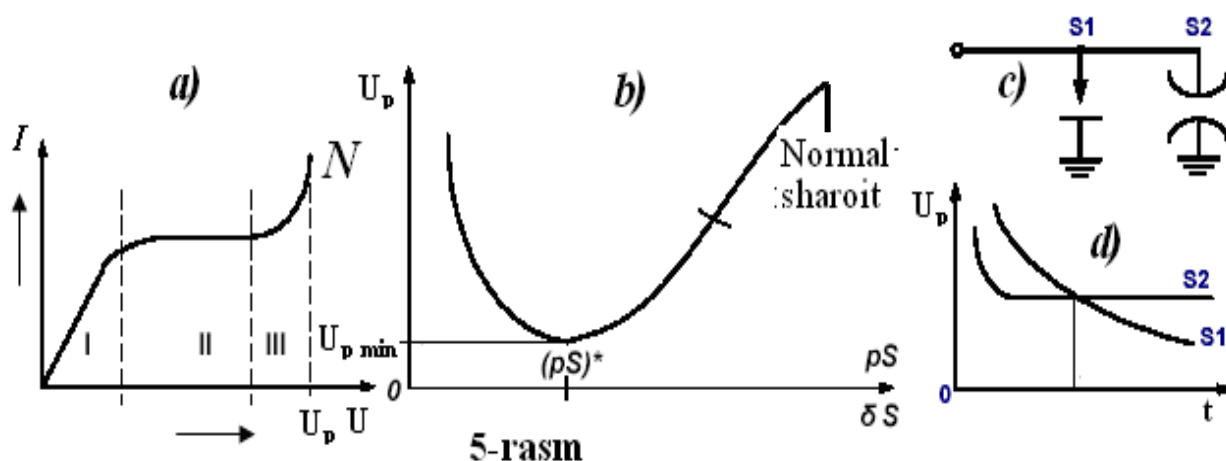
$$U_{\min} = \bar{U} - 3\sigma \quad (2.8)$$

6-jadval. $\bar{U}$ - razryad kuchlanishning tarqoqlik ehtimoli 50% qiymatini $B\sigma$ ni $P(\bar{U} - U) > B\sigma$ oralig'ida og'ishi

$B\sigma$	σ	2σ	3σ	4σ
$\bar{U}$ ni 50% tarqoqlik ehtimolidan og'ishi	0,3174	0.0455	0.0027	0,000064

Odatda izolyatsiyaning sinash tajribalari natijasida razryad kuchlanishi 50% ehtimoli qiymati $\bar{U}$ va razryad kuchlanishining undan o'rtacha kvadratik og'ishi σ aniqlanadi. Razryad kuchlanishining o'rtacha kvadratik og'ishining nisbiy qiymati $c = (\sigma / \bar{U}) 100\%$ og'ish standarti yoki **variatsiya koeffitsiyenti** deb ataladi.

Gaz elektr mustahkamligi elektrod oralig'ining volt-amper tavsifida ko'rsatildi (5a-rasm). Tavsif uch hududga ajratilgan. I hududda elektr toki I erkin elektronlar bilan musbat va manfiy ionlarning gazdagi zichligiga bog'liq bo'lib, kuchlanish U ko'paysa tok I ham chiziqli ko'payadi va bu hududda Om konuni bajariladi. II hududda tokning maksimal miqdori to'yinadi, ya'ni havoda paydo bo'lgan barcha elektronlar va ionlarning hammasini elektr maydon elektrod(lar)ga yig'ib oladi, shuning uchun bu hududda kuchlanish ko'paysa ham elektr tokining miqdori o'zgarmay qolaveradi. III hududda volt-amper tavsifida $I(U)$ Om konuniga bo'ysunmay, undan tezroq o'sadigan egri chiziq bo'ylab ortib boradi. N nuqtasida berilgan tashqi kuchlanish U atmosfera havo mustahkamligidan oshib, tok I keskin ko'tarilib ketadi va havoni elektr teshilishi (электрический пробой воздуха) sodir bo'ladi.



Pashen qonuni. Tajribada aniqlandiki, agar gaz bosimi p ning razryad oralig'i S ga ko'paytmasi pS o'zgarmas bo'lsa, gaz oralig'ini teshilish kuchlanishi U_p ham o'zgarmay qaladi. Bu Pashen qonunidir. Bunda gaz harorati o'zgarmas bo'lishi shart. Harorat o'zgarsa gaz zichligi ham o'zgaradi va natijada $U_p=f(pS)$ bog'lanishi chiqadi. Pashen qonuni funksiyasi $U_p=f(pS)$ 5b-rasmda keltirilgan.

Birjins elektr maydonda havo razryad kuchlanishining $U_p=f(pS)$ egri chizig'i Pashen qonunini ifodalovchi 5b-rasmda kuzatsak, ma'lum pS da U_p eng kichik-minimal qiymatga - U_{pmin} ega bo'lar ekan. Qiymat U_{pmin} har xil gaz uchun turlicha bo'lib, 7-jadvalda turli gazlar uchun U_{pmin} qiymati keltirilgan. Bundan o'xshashlik qonuni kelib chiqadi.

7-jadval. Turli gazlarda minimal razryad kuchlanishi U_{pmin} qiymati

Gaz	U_{pmin}, V	$pS, Pa \cdot m$	Gaz	U_{pmin}, V	$pS, Pa \cdot m$
He	155	5.32	Havo	352	0.73
H ₂	230	1.4	CO ₂	420	0.62
N ₂	240	0.86	O ₂	450	0.93
Ne	245	5.32	SF ₆	507	0.35

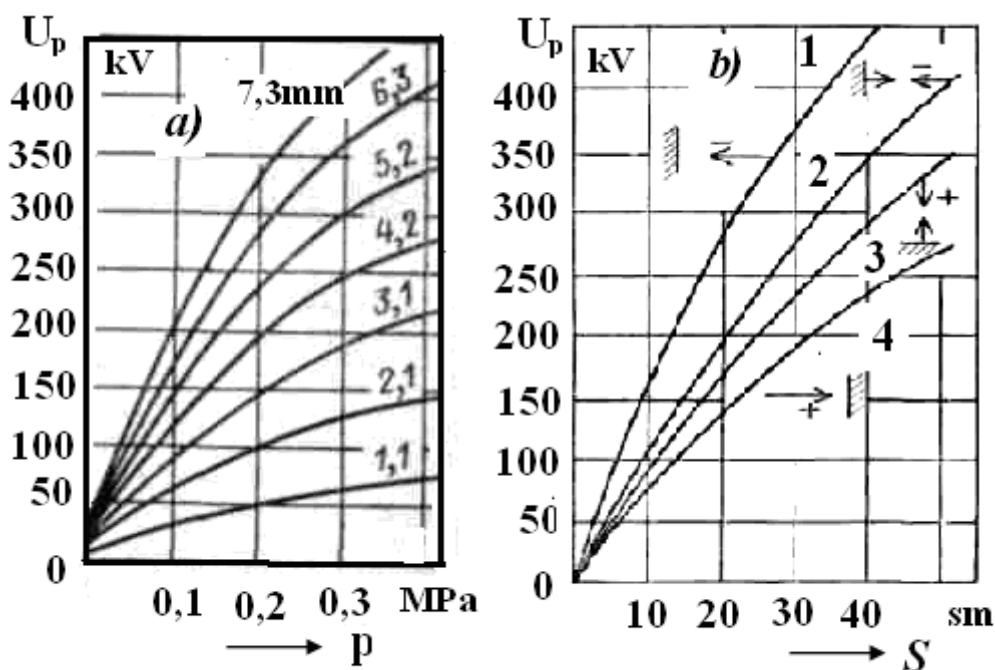
O'xshashlik qonuni shundan iboratki, har qanday gaz uchun nobirjins maydonda harorat o'zgarmagan holatda boshlang'ich razrad kuchlanishi U_H gaz bosimi p ni razryad oralig'i S ga ko'paytmasining funksiyasidir. Pashen qonuni o'xshashlik qonunining xususiy xoli va u faqat birjins maydonga taalluqlidir.

Birjins maydonda gaz razryadi. Elektr maydon nobirjinsligining ta'siri gaz izolyatsiyaning volt-sekund tavsifida ajralib turadi: nobirjins maydonli izolyatsiya S1 volt-soniya tavsifi vaqt o'tishi bilan keskin kamaysa, birjins maydonli izolyatsiya S2 tavsifi ancha sekin kamayadi (5c,d-rasm).

Tekis elektrodlar orasidagi 50Gs chastotali birjins elektr maydonda havoning razryad kuchlanishi U_p elektrodlar orasidagi masofa $1,1\text{mm} < S < 7,3\text{mm}$ oralig'ida hamda bosim $0 < p < 0,3 \text{ MPa}$ oralig'ida o'zgarguvchi grafiklari 6a-rasmida keltirilgan.

Sinov shuni ko'rsatdiki, havoda elektrodlar oralig'i S va bosim p kattalashgan sari razryad kuchlanishi U_p ham mos ravishda oshib boradi, lekin $U_p(S)$ va $U_p(p)$ grafiklari albatta chiziqli qonunga bo'ysunmaydi, ya'ni chiziqli bog'lanishdan ancha pastda qolib ketadi.

Havodagi keskin nobirjins maydonda razryad. Nobirjins elektr maydon nayzasimon elektrod bilan tekis elektrod orasida bo'lsa (5c-rasm) bunga nobirjins maydon kontakt tarmog'ining simi bilan yer hamda havo elektr uzatish yo'lining simi bilan yer orasidagi elektr maydon misol bo'ladi (6b-rasm, 1 va 4 grafiklar). Nobirjins elektr maydon nayzasimon elektrod bilan nayzasimon elektrod orasida hosil bo'lsa, bunga havo elektr uzatish yo'li simlari orasidagi maydon misoldir (6b-rasm, 2 va 3 grafiklar).



6-rasm

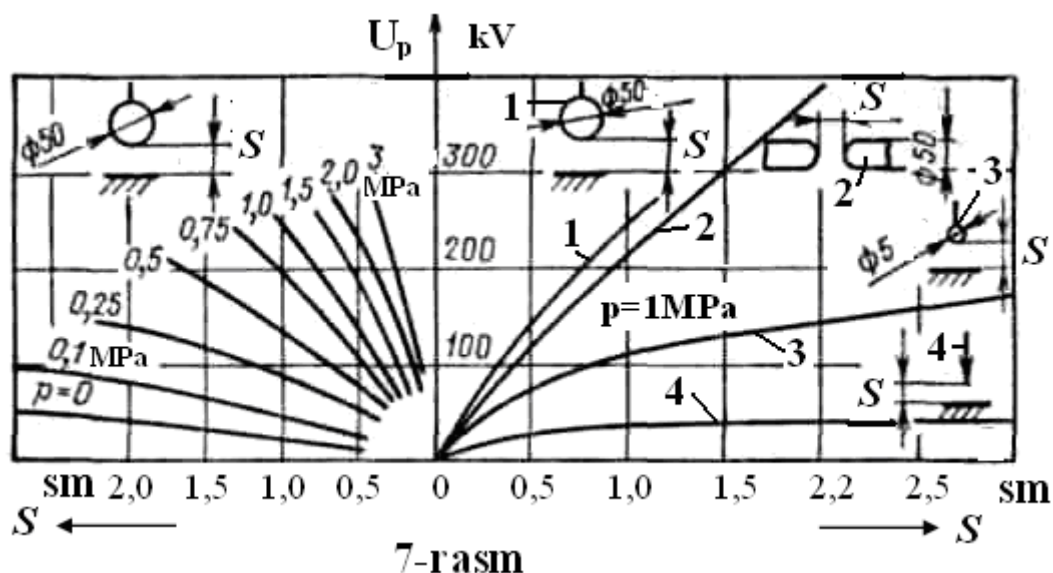
1,5/40 mks impuls kuchlanish ta'sirida atmosfera bosimli havo oralig'i izolyatsiyasi sinovi o'tkazilsa, u holda nobirjins elektr maydonda razryad kuchlanishi U_p impuls kuchlanishining ishorasiga bog'liqligi ma'lum bo'ladi (6b-rasm). Yuqorida aytilgan har ikki holatda ham razryad kuchlanishi $U_p(S)$ grafigi manfiy ishorali impulda yuqoriroq qiymatga va musbat ishorali impulda quyiyoq qiymatga ega bo'lishi aniqlangan.

Masalan, havoda nayza-tekislik shaklidagi elektrodlar oralig'i 20 sm holatida razryad kuchlanishi $U_p^- = 280$ kV va $U_p^+ = 140$ kV, ya'ni farq ikki marta, hamda nayza-nayza elektrodlarda $U_p^- = 200$ kV va $U_p^+ = 140$ kV, ya'ni farq 1,4 marta, bo'ladi. E'tibor qilsak, elektr maydonning nobirjinsligi nayza-nayza shaklidagi elektrodlar orasida nisbatan kattaroq, nayza-tekislik shaklidagi elektrodlar orasida nisbatan kichikroq bo'ladi. Bu albatta $U_p(S)$ grafiklariga ta'sir ko'rsatadi: nayza-nayza elektrodlar havo orlig'ining razryad kuchlanishi grafigi o'zaro yaqin joylashadi.

Razryad kuchlanishining elektrodlar shakliga bog'liqligi. Razryad kuchlanishiga quyidagi elektrodlar shakli:, tayoqcha-tayoqcha, shar-tekislik, nayza-tekislik bo'lgan holatdagi ta'siri haqidagi ma'lumot 7-rasmda keltirilgan. Tajriba 50 Gs chastotali o'zgaruvchan tokli sinov kuchlanishida o'tkazilgan. Natijada, shunday elektrod juftliklarining razryad kuchlanishi U_p amplitudasiga havo oralig'ining uzunligi S ning va bosim p ning ta'siri o'rganilgan.

Havo bosimi $0 < p < 3$ MPa oralig'ida o'zgartirilsa, elektrod juftligi oralig'i $0 < S < 2,5$ sm masofada o'zgartirilgan (7-rasm).

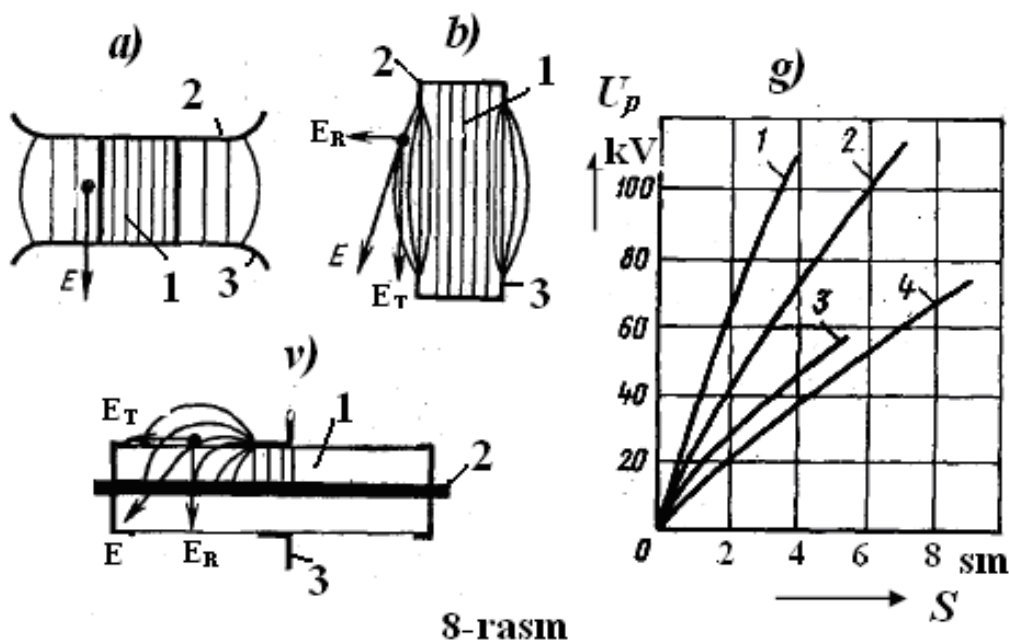
Bosim $p = 1$ MPa va havo oralig'ining uzunligi $S = 1$ sm bo'lgan holda razryad kuchlanishi U_p amplitudasiga elektrod shaklining ta'sirini tahlil qilsak, 50 mm diametrli shar-tekislik uchun elektr maydoni birjinsga yaqin zaif birjins bo'lib, $U_p = 250$ kV; tayoqcha-tayoqcha uchun elektr maydoni nobirjins va $U_p = 220$ kV; 5mm diametrli sharcha-tekislik maydoni keskin nobirjins va $U_p = 110$ kV; nayza-tekislik uchun elektr maydoni juda keskin nobirjins va $U_p = 30$ kV bo'ladi.



Elektrod shakli o'zgarishi bilan elektr maydoning nobirjinslik koeffitsiyenti kattalashgan sari razryad kuchlanishi U_p kamayib borishiga amin bo'lamiz. 50mm diametrli shar-tekislik uchun U_p ni nayza-tekislik uchun U_p ga nisbatini olsak, kurinadiki $250/30=8,33$ marta razryad kuchlanishi U_p kamayib ketadi.

2.4. Izolyator turlari

Izolyator elektr maydoni. Izolyator sirti bo'ylab razryad paydo bo'lishi va rivojlanishi avvalo uning havodagi dielektrik sirtida sodir bo'ladi. Izolyator sirti bilan tashqi elektr maydon kuchlanganligining yo'nalishi yoki maydon kuch chiziqlari turli burchak tashkil qilishi mumkin. Bu burchakni razryadga ta'sirini tahlil qilamiz. Birinchi holda tashqi elektr maydon kuch chiziqlari izolyator ishchi sirtiga parallel bo'ldi (8a-rasm), elektr maydon birjinsligiga o'xshab qoladi. Ikkinchi holda maydon nobirjins bo'lib, izolyator ishchi sirtida maydon kuchlanganligining tangensial tarkibi E_T normal tarkibi E_R dan kattaroq qiymatga ega bo'ladi (8b-rasm). Uchinchi holda maydon keskin nobirjins bo'lib, izolyator ishchi sirtida maydon kuchlanganligining normal tarkibi E_R tangensial tarkibi E_T dan kattaroq qiymatga ega bo'ladi (8v-rasm). Birinchi holdagi izolyator tuzilishi amalda kam uchraydi va dielektrik sirtida paydo bo'ladigan elektr zaryadi hisobiga maydonning birjinsligi yo'qoladi. Shunga qaramasdan, razryad paydo bo'lishiga dielektrik ta'sirini aniqlashga qulay. Ikkinchi holda tayanch izolyatorlari loyihalansa, uchinchi holda kirma izolyatolar bajariladi. Shuning uchun ular amalda ko'proq uchraydi.



8-rasm

Xatto birinchi izolyator dielektrik sirt elektr mustahkamligi aynan shunday izolyatorsiz havo oralig'i mustahkamligidan kichikraq. Bu dielektrik sirtining atrofdagi namlikni adsorbsiyalash xususiyati borligi hamda qattiq dielektrik bilan elektrodlar orasidagi mikro tirqishlar mavjudligi bilan tushuntiriladi. Birjins maydonda turli elektrotexnik materialdan yasalgan namunalar razryad kuchlanishining elektrodlar oralig'iga bog'liq grafigi 8g-rasmda keltirilgan. Rasmda 1-izolyatorsiz havodagi elektrodlar oralig'i; 2-farfor; 3-shisha; 4-elektrod bilan dielektrik oralig'i yaxshi juftlanmagan holdagi farfor va shisha namunalari. Rasmdan ko'rinib turibdiki, agar izolyatorsiz $S=4$ sm havo oralig'ining razryad kuchlanishi 110 kV ga yaqin bo'lsa, elektrodlar orasiga farfor namunasi qo'yilganda razryad kuchlanishi 70 kV va shisha namunasi kiritilganda 45 kV gacha pasayib ketadi. Agar elektrodlar bilan farfor va shisha namunalari orasida mikro tirqish bo'lsa, razryad kuchlanishi 40 kV gacha kichrayadi. Shunday qilib, havo oralig'iga farfor namunasi kiritilsa razryad kuchlanishi 1,57 marta kamayadi. Agar elektrodlar bilan farfor va shisha namunalari orasida mikro tirqish bo'lsa, razryad kuchlanishi 2,75 marta kamayayib ketadi.

Elektr izolyatsiyalovchi elektrotexnik materiallar. Izolyatorlar chinni, shisha, keramika, plastmassa, epoksid kompundi va boshqa materiallardan yasaladi. Ba'zi qattiq dielektiklarning elektr tavsifi 8-jadvalda berilgan.

Tashqi sirt bo'ylab razryad yo'lini uzaytirish uchun izolyator sirtida maxsus shakldagi do'ngliklar, ya'ni **qovurg'alar** (peбpa), hosil qilinadi.

Chinining elektr chidamliligi $30 \div 40$ kV/mm bo'lsa, shishaniki - 45kV/mm. Chinining 1,5mm qalinlikdagi mexanik chidamliligi qisishda 45 MPa, tortishda 30 MPa, bukishda 70 MPa.

Izolyatorning sirti gigraskopik bo'lmashligi, ya'ni namlikni yutmasligi, meteorologik ta'sirdan o'z hossalari o'zgartirmasligi hamda yuqori darajada **trekingga**, ya'ni izolyatsiya sirtida razryad kanali hosil bo'lishiga, chidamliligi talab qilinadi.

Namlanishdan saqlash uchun ichki qurilma chinni izolyatorlarining sirti **oq emal-glazur** bilan qoplansa, tashqi qurilma chinni izolyator sirti **jigarrang emal-glazur** bilan qoplanadi.

8-jadval. Ba'zi dielektriklarning elektrofizik xossalari.

Dielektrik	E_{pr} MV/m	ϵ	$tg\delta$	ρ_v Om*sm	T_{rab} °C	σ_{rast} MPa
Farfor-chinni	10÷30	6÷8	0,015- 0,025	10^{12} - 10^{13}		45- 70
Kvars shishasi	20÷30	3,8	0,0002	10^{15}	200	100
Sitall-ya'ni kristallangan shisha	25÷35	4÷5	0,001- 0,08	10^{10} - 10^{13}	90	150
Getinaks	8,4	5,5	0,35	10^7	90	
Tekstolit	5÷10	5÷6	0,3- 0,05	10^6	105	
Steklotekstolit	11,5	5,5	0,04	10^{10}	130	
Polietilen ПЭНП	45÷55	2,3	0,0002	10^{15}		
Polietilen ПЭВП	45÷55	2,4	0,0003	10^{15}		
Viniplast ПВХ	35÷45	3,2	0,02	10^{13}	90	
Ftoroplast ПТФЭ	26	2	0,002	10^{15} - 10^{18}	>260	
Organik shisha ПММК	15÷25	3,6		10^{11}	-	
Polistirol	25	2,5	0,0002	10^{15}	70	
Lavsan ПЭТФ	180	3,1	0,003	10^{15}	120	-
Epoksid kompaundi	37	4,4	0,008	$3 \cdot 10^{13}$	-	
Kapron ПАА	22	5÷14	0,008	$3,5 \cdot 10^{13}$	105	-

Bunda: E_{pr} -material hajm elektr mustahkamligi; ε -materialning dielektrik singdruchanligi; $tg\delta$ -dielektr materialida quvvat isrofi; ρ_v - nisbiy hajm qarshiligi; T_{rab} -ishchi hararat; σ_{rast} -materialning tortish kuchiga mexanik mustahkamligi.

Ba'zan izolyatsiyaga qator tashqi ta'sirlar ham bo'lishi mumkin, jumladan, quyosh radiatsiyasi, mikroorganizmlar va boshqalar. Tashqi muhit bilan kontakti natijasida izolyatsiya sirtining ifloslanishi, so'ngra shudring yoki yomg'ir ta'sirida sirt iflosligining namlanishi sababli izolyatsiyaning elektr izolyatsiyalovchi xususiyati keskin yomonlashib ketishi natijasida yong'in chiqishi yoki avariya holati sodir bo'lishi mumkin.

Izolyatorlar turi. Elektr uskuna va qurilmalarda izolyatorlar bajaradigan vazifasiga qarab quyidagi turlarga bo'linadi: tayanch izolyatorlar; osma izolyatorlar, kirma izolyator.

Tayanch izolyatorlar. Ikki turda ijro etiladi: tayanch tayoqcha izolyatorlar va tayanch nayzabop izolyatorlar.

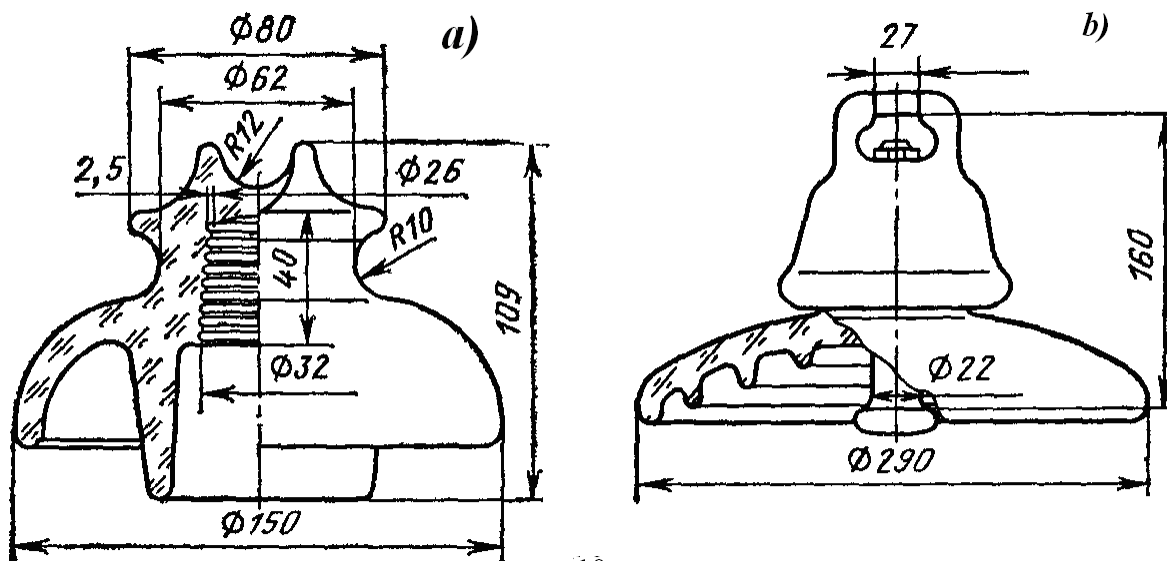
Tayanch tayoqcha izolyator asosan tok o'tkazuvchan shinalar va kontakt detallarni o'rnatishda qo'llanadi va shuning uchun ular ba'zan OF turidagi **stansion-apparat izolyatorlari** deb ham ataladi (9a,b,v,g-rasm, rangli ilovaga qarang, 180 bet).

Tuzilishi: uzunchoq chinni – farfor 2 tananing ikki uchiga ikkita metall biriktirgich 1,3 sement bilan mustahkam o'rnatilgan. Ichki qurilmaga tanasi to'la yoki g'ovak chinnilik 35 kV gacha kuchlanish uchun sirti qovurg'asiz yasaladi. (9b,v-rasm) Tashqi qurilmaga mo'ljallangan tayanch izolyator sirti qovurg'ali yasaladi (9a,g-rasm). Ichki tayanch izolyatorlarning belgisi: ОФ-35-375; O-tayanch (опорный), Ф-farfor, nominal kuchlanish $U_n=35$ kV, bukish kuchi 375 kN. Tashqi tayanch izolyatorining belgisi: ОHC-35-2000 bo'lib, unda O-tayanch (опорный), Н-tashqi (наружный) muhitga mo'ljallangan, С-tayoqchasimon (стержневой) izolyator, nominal kuchlanishi $U_n=35$ kV, parchalash kuchi $F=2000$ kN (9a-rasm).

Tayanch izolyatorlardan qisqa tutashuv vaqtida paydo bo'ladigan katta qiymatli elektrodinamik kuchlarga chidashi talab qilinadi.

Nayzabop izolyator havo elektr uzatish yo'llarining yuqori kuchlanishli simlarni tayanch ustunlarga o'rnatishda ishlatiladi. Nayzaga o'tkaziluvchi izolyatorning shishadan yasalgan bir elementlik konstruksiyasining o'lchamli tarxi 10a-rasmda keltirilgan. Tuzilishi: farfor

tananing tagida metall nayzasi kiritib oʻrnatiladigan mahsus chuqurcha va tepasida sim biriktiriladigan ariqcha va halqasimon botiqlik bor.



10-rasm

Bunday izolyatorlarning 6÷10 kV uchun tanasi yaxlit va 35 kV uchun tanasi bir-biriga mustahkam biriktirilgan ikki likobchali bajariladi. Belgisi: masalan, ШФ-6 va ШС-6; Ш-nayzaga (штыревой) oʻtkaziluvchi, Ф-farfor, С-shisha (стеклянный) izolyator, nominal kuchlanishi $U_n=6\text{kV}$. Shisha tananing balandligi 109 mm va tashqi diametri 150 mm boʻlib, tagida diametri 32 mm boʻlgan metall nayzasi kiritib oʻrnatiladigan mahsus chuqurchaning uzunligi 40 mm bajarilgan. Tepa qismining tashqi diametri 80 mm boʻlib, unda sim biriktiriladigan ariqcha radiusi 12 mm va ichki diametri 62 mm halqasimon botiqlik bordir.

35 kV havo elektr uzatish yoʻllarining yuqori kuchlanishli simlarini tayanch ustunga oʻrnatishda ishlatiladigan nayzabop ikki likobchali izolyatorning koʻrinishi 9d-rasmda keltirilgan (rangli ilovaga qarang, 180 bet). Unda: 1-birinchi va 2-ikkinchi likobcha izolyator; 3-metall qalpoq; 4-tayanchga biriktiriluvchi nayza; 5-likobcha bilan nayzani mustahkam bogʻlovchi qotma.

Osma izolyatorlar shakli boʻyicha ikki turli bajariladi: osma likobcha izolyator hamda osma tayoqcha izolyator.

Osma likobcha izolyator havo elektr uzatgish yoʻllarda elektr oʻtkazuvchi simlarni osish uchun ishlatiladi. Tuzilishi: likobcha izolyator sopol-keramika, chinni-farfor yoki kvars shisha materiallaridan tayyorlanadi. 10b-rasmda koʻrsatilgan osma likobcha izolyatorning shisha ustiga sement bilan biriktirilgan ustiga 27 mm oʻrnatish tirqishli

metall do'ppi va tagida 22 mm diametrli ilgakli metall tayoqcha bor. Bunday metall do'ppi orqali mazkur likobcha izolyator metall armaturaga yoki yuqoridagi avvalgi likobcha izolyatorning ilgakli metall tayoqchasiga osib qo'yiladi. Likobcha balandligi 160 mm va tashqi diametri 290 mm o'lchamga ega.

Belgilanishi: ПС-16Б; П-осма (подвешной) izolyator, С-shisha (стеклянный) dan yasalgan, 16-nominal tortish kuchi 160 kN va Б-izolyatorning tuzilish shaklini ko'rsatadi.

Osma likobcha izolyatorning ho'l razryad kuchlanishi quruqrazryad kuchlanishidan $1,8 \div 2$ marta kichikroq. Bu izolyatorlar o'takuchlanish ta'sirida elektr teshilishining oldini olish uchun shunday loyhalanganki, quruq holda izolyator hajmining elektr teshilish kuchlanishi U_{pr} sirt bo'lab razryad kuchlanishi U_p dan 16 marta katta.

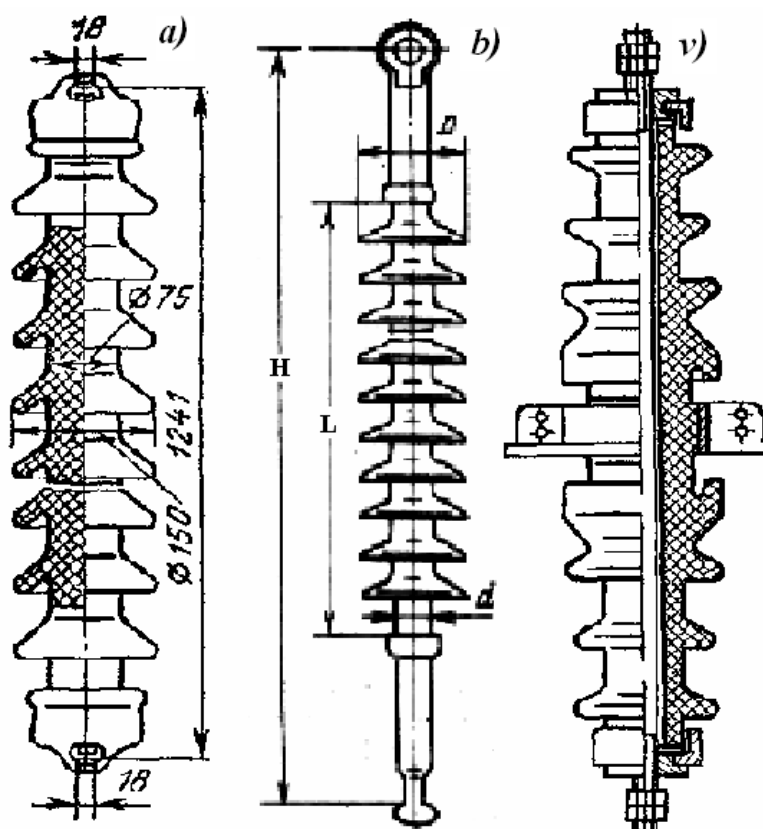
Likobchaning tepa sirti tekis bo'ylab $5^\circ \div 10^\circ$ konus shaklida yomg'ir suvni oson oqib tushishini ta'minlaydi, past sirti razryad yo'lini uzaytirish uchun bir necha do'ngalak qovurg'ali qilib yasaladi. Ko'pincha izolyatorni ishdan chiqishiga do'ppi bilan tayoqcha orasida chinni yoki shishani elektr teshilishi sabab bo'lsada, ammo elector teshilgandan so'ng ham izolyatorning mexanik chidamliligi o'zgarmay qolishi va yuqori kuchlanishli simni yerga tush-masligi ta'minlanadi. Osma izolyatorlar havo elektr uzatish yo'llaridagi allyumin-po'lat simlarning tonnalab og'irligini ko'tarib tura olishi shart.

Likobcha izolyator yakka holatda yoki ko'p izolyatorli izolyatorlar shodasi - **izolyatorlar girlyandasi** shaklida ishlatiladi. Likobcha izolyatorlar girlyandasining ikki turi mavjud: anker tayanchga o'rnatiladigan **tortma girlyanda** va oraliq tayanchga o'rnatiladigan **osma girlyanda**. Havo elektr uzatish yo'llari 35 kV hamda temir yo'l kontakt tarmog'ida 27,5 kV yuqori kuchlanish uchun ikki, uch va to'rt likobcha izolyator girlyandasi qo'llaniladi. Girlyandadagi likobcha izolyatorlar soni shu hudud atmosferasining ifloslanish darajasiga yoki izolyatorlarning girlyandasining izolyatsiyasi ishonchligiga qo'yilgan talabga mos ravishda olinadi. Havo elektr uzatish yo'llarida yuqori kuchlanish 35 kV bo'lsa, likobcha izolyator ko'pincha yakka holda va 110 kV uchun $6 \div 10$ ta, 220 kV uchun $10 \div 15$ ta hamda 500 kV uchun 20 va undan ko'proq sonli izolyatorlar girlyandasi qo'llaniladi.

Izolyatorlar girlyandasi sharnirli bajarilgani uchun u faqat tortish kuchiga ishlaydi, ammo izolyator chinnisi ichidagi do'ppi va tayoqcha shunday joylashtirilganki, chinni faqat yuqori chidamli qisilishga ish-

laydi. Girlyanda izolyatorlaridan birontasi ishdan chiqsa ham unga osilgan sim yerga tushib ketmaydi va qisqa tutashuv sodir bo'lmaydi.

Osma tayoqcha izolyator (11a-rasm). Tuzilishi: tashqi sirti ko'p qovurg'ali shakilda bajarilgan tayoqchasimon cho'zinchoq farfor tanali izolyator bo'lib, uning ikki uchiga 18 mm o'rnatish tirqishli metall do'ppichalar maxsus sement bilan biriktirilgan. Osma tayoqcha farfor izolyatorining tashqi diametri 150 mm va uzunligi 1241 mm bo'lib, qovurg'a o'rnatilgan tayoqcha tanasining diametri 75 mm. Osma tayoqcha izolyatorlarning ho'lrazryad va quruqrazryad kuchlanishlari farqi 15÷20% ga boradi.



11-rasm

Ba'zi hollarda polimer materialdan yasalgan osma tayoqcha izolyator ham qo'llaniladi (11b-rasm). Bunday izolyator bo'ylama shisha tolali epoksid tayoqchasidan yasaladi. Izolyator sirtining yoyli elektr razryadga chidamligini oshirish uchun sirti kremniy organik rezina yoki fluoroplast bilan qoplanadi. Bu qoplama tashqi qovurg'ali bajarilib, namlik va ifloslikni o'zidan chetlatuvchi xossaga ega. Polimerli izolyatorlar havo elektr uzatish yo'llarining faza simlari orasiga o'rnatilib, havo masofasini o'zgaras saqlanishini ta'minlashda foydalaniladi.

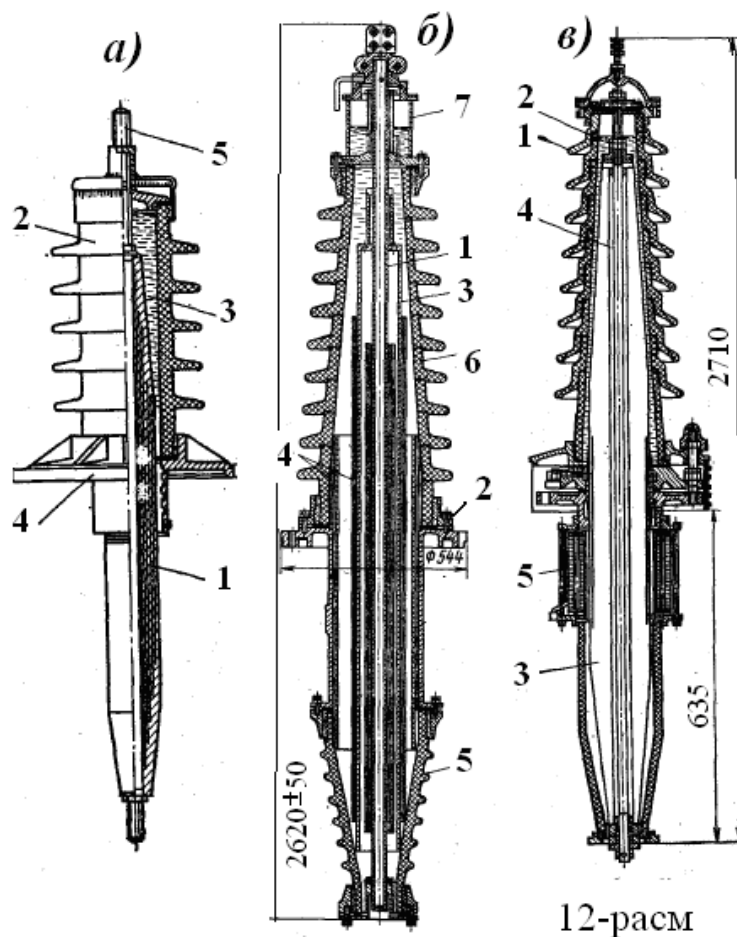
Juda yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish yo'llarining faza simlarida toj razryadi paydo bo'lishining oldini olish uchun har bir faza simi 3, 5, 8, 12 donagacha ko'p tomirlarga ajratib tashlanadi. Bunday **ko'p tomirli faza simi** tomirlari orasidagi izolyatsiyalovchi havo masofasini qattiq shamol vaqtida ham o'zgarmas turishini ta'minlash uchun polimerli osma tayoqcha izolyator qo'llaniladi.

Kirma izolyatorlar inshoot devori yoki qurilmalarning metall korpusi orqali yuqori kuchlanishli elektr tokini o'tkazishda ishlatiladi (11v-rasm). Tuzilishi: g'ovak farfor ichiga yuqori kuchlanishli tok o'tkazuvchi tayoqchasimon sim elektrod va tashqi sirtining qoq yarmiga yerga ulangan biriktiruvchi metall halqa o'rnatilgan.

6 kV dan 35 kV gacha yuqori kuchlanish uchun kirma izolyatorlar to'la farfor tayoqchasidan tuzilgan bo'ladi, ya'ni tok o'tkazuvchi tayoqchasimon elektrod va farfor tana orasida havo bo'shlig'i bo'lmaydi hisob. Belgisi: ПНШ-35/3000; П-kirma, ya'ni proxodnoy izolyator, H-tashqi (наружный), Ш-shishadan yasalgan, nominal kuchlanishi $U_n=35$ kV, nominal toki $I_n=3$ kA, tortish kuchi $F=20$ kN.

Kuchlanish 35 kV moyli elektr o'chirgichi C-35 ga o'ratilgan kirma izolyatorning ko'ndalang kesimi yuqorida 9e-rasmda (rangli ilovaga qarang, 180 bet) ko'rsatirilgan edi. Bunda: 1-o'chirgichning po'lat qopqog'i; 2-yuqori kuchlanish kontakti uchun tashqi ulama; 3-ekran va kirma izolyator qopqog'i; 4-sovuqqa chidamli quyma; 5-kirma ichidagi bakelitdan yasalgan quvurcha-vtulka; 6-farfordan yasalgan izolyatsiyalovchi qoplama-(покрышка); 7-kirmaga o'rnatilgan tok o'lchov transformatori; 8-yo'naltiruvchi chuqurcha-vtulka; 9-turg'un ichki kontakt; 10-elektr yoyini o'chiruvchi idish-kamera; 11-izolyatsiyalovchi elektr karton; 12-transformator moyining isitgichi; 13-moy chiqaruvchi jo'mrak-kran; 14-o'chirgich joylangan idish-bak; 15-kirma izolyatorning tok o'tkazuvchi mis tayoqchasi; 16-boshqaruv shtangasi; 17-tortuvchi boltlari; 18-o'chirgichning yuritma mexanizmi bilan harakatlanuvchi elektrodi.

Tashqi qurilma uchun mo'ljallangan 35 kV kuchlanishli kirma izolyator 12a-rasmda keltirilgan. Unda: 1-qog'oz-bakelitdan yasalgan asosiy izolyatsiya; 2-farfor pokrishkasi; 3-issiq-sovuqqa chidamli quyma-mastika; 4-metall flanets; 5-tok o'tkazuvchi markaziy mis tayoqcha.



110 kV dan yuqoriroq kuchlanish uchun mo'ljallangan 220 kV va 500 kV kirma izolyatorlar murakkabroq konstruksiyada tuzilgan. Ichki izolyatsiya elektr maydoni oraliq kondensator elektrodlarini o'rnatish hisobiga maydon rostlanadi.

110kV kuchlanishli to'siqli moy izolyatsiyali kirma izolyator 12b-rasmda keltirilgan. Unda: 1-tok o'tkazuvchi markaziy tayoqcha; 2-erlangan metall flanets; 3-kartondan yasalgan to'siq; 4-yordamchi elektrodlar; 5 va 6-farfor pokrishkalari; 7-moy kengayish idishi.

110÷220 kV kuchlanishli qog'oz-moy izolyatsiyali kirma izolyator 12v-rasmda keltirilgan. Unda: 1-farfor pokrishka; 2-moy; 3-qog'oz-moy izolyatsiya; 4-tok o'tkazuvchi markaziy quvurcha; 5-tok o'lchov transformatori.

Kirma izolyator ichiga tabiiy suyuq dielektrik: transformator moyi yoki kabel moyi quyib qo'yiladi, chunki moyning elektr chi-damligi juda yuqori. Transformator moyida razryadning shakillanish vaqti katta bo'lgani uchun moyni elektr teshish kuchlanishi U_v kuchlanishning ko'tarish tezligiga bog'liq: qancha tez ko'tarilsa, U_v shuncha baland. Masalan, yangi transformator moyining 50 Gs da diametri 25 mm

standart elektrodlar oralig'i $S=2,5$ mm ni teshish kuchlanishi $U_v=40\div 60\text{kV}$ ($E_v=16\div 24\text{MV/m}$) bo'lib, moyning namligi va tozaligiga bog'liq. Moy eskirgach, U_v kamayib ketadi. Transformator va kabel moylari tabiiy suyuq uglevodorod birikmalari bo'lib, neftni qayta ishlab olinadi.

Sintetik suyuq dielektriklar tuzilishida uglerod atomi C kremniy atomi bilan almashtirilgan bo'ladi. Kremniy-organik suyuqlik elektr mustahkamligi $E_v=14\div 18\text{ MV/m}$, gigroskopik emas, namlik va yuqori haroratga bardoshlidir. Ular zaharsiz va ekologik xavfsiz bo'lgani sababli keng qullanilmoqda. Faqat narxi qimmatroq xolos.

Masalan, Sovtol-10 ning tarkibi 90% pentaxlordifenil hamda 10% trixlorbenzoldan iborat bo'lib, undan yuqori kuchlanishli transformator va kirma izolyatorlarni to'latishda foydalaniladi.

2.5. Tashqi izolyatsiya elektr maydonini rostlash

Elektr maydon rostlashning zaruriyati. Tashqi elektr maydonni rostlash izolyatorning elektr chidamliligini oshirish, izolyator uzunligini qisqartirish, toj razryadiga energiya sarfini va zararli radio to'lqinlar chiqishini kamaytirishga xizmat qiladi.

Toj razryadi paydo bo'lish kuchlanganligi E_t izolyatsiya maydonining **nobirjinslilik koefitsenti** K_i ga bog'liqdir. Ma'lumki

$$K_i = E_{\text{mak}}/E_{o'r} \quad (2.10)$$

Bunda E_{mak} -maydonning eng katta va $E_{o'r}$ -o'rtacha kuchlanganligidir.
Izolyatsiyadan foydalanish koefitsiyenti

$$\eta = 1/K_i \quad (2.11)$$

Izolyator atrofidagi elektr maydon keskin nobirjins maydon bo'lib, unda $K_i \geq 3$ gacha va undan ortiq bo'ladi. Elektrodning yonida elektr maydon kuchlanganligi o'rtacha kuchlanganlikdan izolyatsiyalovchi materialning nisbiy dielektrik singdiruvchanlik koefitsiyenti ϵ marta kattalashadi. Umuman olganda, elektrodning yonida maydon kuchlanganligi $E_e=f(\epsilon)$ bo'lib, ya'ni E_e miqdori ϵ ga - nisbiy elektr singdiruvchanlik proporsionaldir.

Izolyatsiya elektr maydonini rostlashning asosiy mazmuni nobirjinslik koeffitsientni iloji boricha kamaytirish va $K_i=1$ ga yaqinlashtirishdir. Elektr maydonni rastlash bilan toj razryadi hosil bo'lishning oldini olishga, hamda energiya isrofini va radio to'lqin tasirini kamaytirishga, izolyat-siyalovchi uzunlikni qisqartirishga erishiladi. Natijada, iqtisodiy maq-sadga muvofiq keladigan izolyatsiya konstruksiyasi ishlab chiqish masalasi xal qilinadi.

Izolyatsiya maydoni rastlashning optimal darajasi har bir aniq holat uchun alohida aniqlanadi, bunda elektr qurilmaning umumiy texnika-iqtisodiy ko'rsatgichlarini tahlil qilishga asoslanadi. Ishchi kuchlanish miqdori ko'tarilgan sari elektr maydonni rostlash imkonlaridan foydalanishning samaradorligi tezroq oshib ketadi. Katta yuqori kuchlanishli hamda juda katta yuqori kuchlanishli elektr apparatlar izolyatsiyasining elektr maydonini rostlamay ularni yasash texnikoviy xal qilinmas masalaga aylanib qoladi.

Izolyatsiyani muvofiqlash, ya'ni **koordinatsiyalash**, deb izolyatsiya elektr mustuhkamligi bilan unga ta'sir etuvchi kuchlanish orasidagi zaruriy moslashuvni ekspluatatsiyada ta'minlashga aytiladi. Bunda izol-yatsiyani texnika-iqtisodiy asoslangan kichik shikastlanish va javobgarligi kamroq iste'molchilarni elektr ta'minotida uzulish ehtimoliga bog'liq ko'rib chiqiladi.

Izolyatsiyani ekranlash. Amalda tashqi elektr madonni rostlash uchun tashqi va ichki **ekranlar** qo'llaniladi. Elektr izolyatorining yuqori kuchlanishli elektrodi atrofiga o'rnatilgan tashqi ekranning vazifasi nobirjinslik koeffitsienti K_i kamaytirish hisobiga razryad kuchlanishi U_p ni ko'paytirishdir. Masalan, vakuum sharoitida uzunligi atigi 15mm bo'lgan korund keramikasidan yasalgan tayanch izolyator: ekransiz holatda razryad kuchlanishi $U_{p1}=26kV$ bo'lsa, tashqi ekran o'rnatilgach razryad kuchlanishi $U_{p2}=110kV$ yetib boradi, ya'ni ekran o'rnatilgach tayanch izolyatorning razryad kuchlanishi $U_{p2}/U_{p1}=4$ marta ko'payadi.

Ekranlash tizimiga talablar. Shunday qilib, elektr apparatlarni loyiha-lashda ekranlash tizimi to'g'ri tanlashning katta ahamiyati bor. U orqali izolyatsiyalovchi muhit imkonlaridan to'la foydalanish va izolyatsiya ishining yuqori ishonchliligini ta'minlash hamda toj razryadini cheklash masalasi yechiladi. Ekranlarning o'zi, albatta, radio va akustik shovqinlar paydo qiluvchi toj razryadining manbai bo'lmasligi shart.

Ekranlarga talablar quyidagicha qo'yiladi.

1. Turli izolyatsiyalovchi elektrotexnik materiallar uchun ichki izol-

yatsiyaning maksimal kuchlanganligi $E_{\max}$ ruxsat etilgan kuchlanganlikdan E_{ruxs} ortiq bo'lmashligi ta'minlanishi kerak, ya'ni $E_{\max} \leq E_{\text{pyxc}}$.

2. Toj razryadini cheklash uchun ekranlanuvchi tok o'tkazgichlar sirtida va ekran sirtida maksimal kuchlanganlik ruxsat etilgan kuchlanganlikdan E_{ruxs} ortiq bo'lmashligi kerak. Bu shartni bajarilishi uchun olinadi $U_{\phi.H} = 0.9U_H$. Bunda: $U_{\phi.H}$ -faza kuchlanishining eng katta qiymati; U_H -toj razryadin boshlanish kuchlanishi.

3. Ekranlash tizimi tabiiy izolyatsiyalovi muhit imkonlaridan maksimal foydalanishni va elektr apparatning minimal o'lchamini ta'milashi kerak.

Izolyatsiya elektr maydonni ekran bilan rostlash. Elektr maydonni roslaguvchi ekran izolyatorning yuqori kuchlanishli elektrodining egri chiziqli radiusini kattalashuvchi xizmatini bajaradi. Kichik radius o'tkir qirra hosil qilib, undan toj razryadi chiqishini onsonlashtiradi va amalda izolyator elektr chidamligini kamaytiradi.

Masalan: masofa uzunligi $S=1.5$ m bo'lgan nayza-tekislik elektrodlararo oraliq uchun atmosfera havosida razryad kuchlanishi $U_p=180$ kV ga teng. Uzunligi $S=0.5$ m shar-shar shaklidagi elektrodlar oralig'i uchun sharlar diametri $D=0.25$ m bo'lgandagi havoda razryad kuchlanishi $U_p=225$ kV dir. Sharlar diametri kattalashgan sari shar-shar elektrodlar oralig'i uzunligi $S=0.5$ m o'zgarmay qolsa ham razryad kuchlanishi U_p ko'payib boraveradi: jumladan, $D=0.5$ m uchun $U_p=390$ kV olinsa, $D=1$ m uchun $U_p=580$ kV ga boradi.

Shunday qilib, havoda diametri 1 m shar-shar shaklidagi elektrodlar oralig'ida razryad kuchlanishi U_{pshsh} nayza-tekislik elektrodlar oralig'idagi razryad kuchlanishi U_{pnt} dan 3 marta yuqoriroqdir. Bunday natija elektrodlar orasidagi elektr maydonning rostlanganligi bilan tushintiriladi.

Likobcha shaklidagi osma izolyatorlardan izolyatorlar girlyandasi-shodasi tuziladi. Girlyadani tashkil qiluvchi izolyatorlar o'zaro metall elektrodlar orqali mustahkam hamda erkin burilish imkonli biriktiriladi. O'zgaruvchan tokda girlyanda tarkibidagi metal elektrodlarining yerlangan metall tayanchga nisbatan sig'imi C_1 va yuqori kuchlanishli simga nisbatan sig'imi C_2 mavjud. Izolyatorlardan o'tuvchi tokning girlyanda bo'ylab taqsimoti odatda chiziqli bo'lmaydi. Shuning uchun ham kuchlanish taqsimoti ham notekisdir. Agar $C_2=0$ va $C_1 \neq 0$ bo'lganda kuchlanishning o'rtachaga eng katta qushimchasi ΔU simga yaqin

birinchi likobchada kuzatiladi. Agar $C_2 \neq 0$ va $C_1=0$ eng katta U metal 2 traversaga yaqin birinchi likobchadadir.

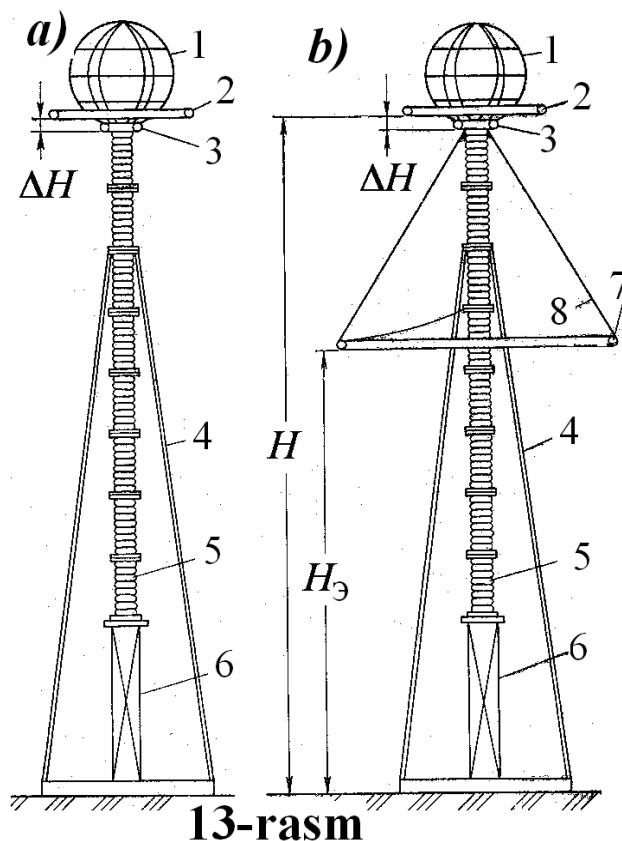
O'zbekiston iqlim sharoitida quyoshli soatlarning ko'pligi, havoni juda quruqligi va yuqori darajada changlanganligini hamda **Oralbo'yi regionida esa tuzli chang** mavjudligini nazarda tutib, toj razryadni yo'qotish uchun har bir likobcha izolyatoridagi kuchlanish $10 \div 20$ kV olinadi. Kuchlanish $110 \div 220$ kV ga borganda girlyandaning simdan birinchi izolyatoriga eng katta kuchlanish tushadi. Bu kuchlanishni kamaytirish uchun har bir izolyatorga to'g'ri keladigan elektr kuchlanish taqsimoti rostlanadi. Rostlash uchun faza simi tarafidagi likobchasimon izolyatorga halqasimon yoki sakkiz soni yoki oval shaklidagi **mahsus armatura ekranlar** o'rnatiladi. Bu ekranlar girlyandaning armaturasi deb yuritiladi. Armaturalar simni girlyandaga osilgan joyiga biriktiriladi. Armatura yordamida simga eng yaqin izolyatorning C_2 sig'imi kattalashib, bu izolyatoridagi va unga yaqin izolyatorlardagi kuchlanish kamayada va boshqa izolyatoridagi kuchlanish ko'payib, girlyanda bo'ylab elektr maydon rostlanadi.

Tayanch izolyatorning ishchi kuchlanishi 110 kV dan oshsa, bir necha izolyatorlardan izolyator minorasi, ya'ni kolonnasi, tuziladi.

Bir ustunli izolyator kolonnasi 5 tuzilishi 13a-rasmda keltirilgan. Izolyator kolonnasi ustiga bironta yukli narsa o'rnatilishi talab qilinsa, u holda ko'pincha uch ustunli piramida shaklida ijro etiladi. Tashqi elektr madonni rostlash uchun izolyator kolonnasining yuqori kuchlanishli tomoniga sharli ekran va uning pastrog'iga kolonnani o'rab olguvchi tor shaklidagi quvursimon metaldan bir yoki birnecha ekranlar o'rnatiladi. 13a-rasmda ikkita halqasimon 2, 3 ekranli va 13b-rasmda uchta halqasimon 2, 3, 7 ekranli izolyator kolonnasi ko'rsatilgan. Izolyator kolonnasi 5 yerlangan metall taglik 6 ga o'rnatilgan va tik holatda turg'un ushlab turish uchun uchta izolyatsiyalovchi osma tayoqcha izolyatorlar zanjiri 4 bilan uch yoqqa tortib qo'yiladi. Birinchi halqasimon ekran 2 shar shaklidagi ekran 1 ostini o'rab oluvchi qilib yerdan H balandlikda o'rnatilgan. Ikkinchi halqasimon ekran 3 kolonna tepasidagi metall qismini o'rab turadi va birinchi halqasimon ekran 2 dan ΔH pastga o'rnatilgan. Uchinchi halqasimon ekran 7 uchta izolyatsiyalovchi osma tayoqcha izolyatorlar zanjiri 4 bilan kolonna tepasiga yerdan H_3 balandlikda osib qo'yilgan va unga tepadan uchunchi izolyator potentsiali berilgan.

Izolyatorning ishchi kuchlanishi ko'tarilgan sari yuqori kuchlanishli elektrod qoshida o'rnatiladigan ekranning diametri ham kattalashib

boradi. Katta diametrli shar shaklidagi elektrodni yasash juda qiyinligi va narhi qimmatligi tufayli, bunday shar sirti ko'plab oddiy kichik-kichik doiralardan tashkil qilinadi va doiralarni radius bo'ylab kerak joyga surish imkonidan foydalanib, katta diametrli shar shakli hosil qilinadi. Bunday standartlangan elementlar, ya'ni bo'lakchalar, shunday o'rnatiladiki, ularning tashqi sirti katta o'lchamli shar sirtini tashkil etadi. Elementlar radial yo'nalishda harakatlantirilib, tajribada yuqori sifatli rostlangan elektr maydoni olinadi.



Ekranlar shakli va o'lchamlari to'g'ri tanlansa, toj razryadining boshlanish kuchlanishi U_t ishchi kuchlanish U_{ish} dan kattaroq bo'lishi ta'minlanadi, ya'ni $U_t > U_{ish}$ sharti bajariladi. Bu holda izolyatorlarning amalda toj razryadsiz ishlashi to'la ta'minlanadi.

Ekraning turli shakllari solishtirilsa, bir xil gabarit o'lchamlarida eng katta egrilik radiusini, ya'ni E_{max} chegaralashning eng katta imkonini, albatta, sharli ekranlar bera oladi. Shar-tekislik oralig'ida eng katta kuchlanganlik E_{max} hisoblash formulasi quyidagicha:

$$E_{max} = \frac{U}{r \left(1 - \frac{r}{2H} \right)} \left[1 + 3 \left(\frac{r}{2H} \right)^2 \right], \quad (2.12)$$

bunda: r - shar radiusi; H -shar markazini yer sathidan balandligi. Havoda berilgan balandlikda o'rnatilgan sharli ekranining radiusi r qiymati $E_{\max} < E_0$ tengsizligidan olinadi, bunda E_0 - shar sirtidan toj razryadi boshlanish kuchlanganligi:

$$E_0 = 24.5 \delta m \left[1 + \frac{0.65}{(\delta r_0)^{0.38}} \right], \quad (2.13)$$

Yer sathidan H balandlikda joylashgan yakka torsimon ekran uchun eng katta kuchlanganlik $E_{\max}$ hisoblash quyidagi bajariladi:

$$E_{\max} = \frac{U}{r_0} \frac{1 + \frac{r_0}{2r_T} \ln \frac{8r_T}{r_0} \left(1 + \frac{r_0}{2r_T} \right)}{\left[\ln \frac{8r_T}{r_0} \left(1 + \frac{r_0}{2r_T} \right) - \frac{\pi r_T}{2H} \right] \left(1 + \frac{r_0}{2r_T} \right)}, \quad (2.14)$$

Bunda: r_0 -torsimon halqa ko'ndalang kesimi aylanasing radiusi va r_T -torsimon halqa radiusi. Berilgan H balandlikda radiuslar r_0 va r_T qiymati $E_{\max} < E_0$ tengsizligidan topiladi [4].

Birnecha torsimon halqa ekranlarining tahminiy hisobi emperik formula bilan kompyuterda olib borilsa, aniq hisobi esa Puasson tenglamasining integral shaklidagi analitik yechimi formulasi bilan olib boriladi.

O'z o'qi bo'ylab o'lchami uzun bo'lgan izolyatorlar yoki izolyatorlar kolonnasi bor elektr qurilmalar uchun yuqori kuchlanishli elektrod sirtiga diametri d_t bo'lgan metall quvurdan yasalgan D diametrga ega toroidal shaklli tashqi ekran o'rnatiladi. Har vaqt toroidal shaklli tashqi ekranning diametri D metall quvur diametri d_t dan $10 \div 40$ marta katta qilib olinadi, ya'ni $D \gg d_t$ sharti bajariladi. Izolyator o'qi bo'ylab yerdan ekran o'rnatilgan joygacha bo'lgan masofa h ning izolyator balandligi H ga nisbati $h/H=0,8$ olingani ma'qul. Biroq sharli elektrodda toj razryadning boshlanish kuchlanishi U_{tsh} toroidal elektrodda toj razryadining boshlanish kuchlanishi U_{tt} dan ancha yuqoriroqdir. Ba'zan uzun izolyator o'qi bo'ylab bir necha tashqi toroidal ekranlar yoki davriy joylashgan ko'p sonli toroidal ekranlar o'rnatiladi.

O'takuchlanish tasir etganda izolyatorlar kolonnasining elektr chidamligi uni tashkil qilgan elementar izolyatorlardan katta farq qilishi

mumkin. Bu izolyatorlar kolonnasining yuqori kuchlanishli uchida elektr maydonni halqasimon toroidal ekranlar bilan rostlashga bog‘liq. Xatto shunday holatni ta’minlash mumkinki, unda izolyatorlar sirti bo‘ylab elektr razryadi poydo bo‘lish ehtimoli nulga yaqinlashib, razryad, asosan, toroidal ekran bilan yer orasidagi havoda sodir bo‘ladi. Bu holda izolyatorlar kolonnasi elektr mustahkamligi havo elektr mustahkamligi bilan belgilanadi.

Nazorat uchun savollar

1. Tashqi izolyatsiyaning umumiy tavsifi.
2. Havoning elektr mustahkamligi.
3. Izolyatorlarning turlari.
4. Osma izolyatorlar.
5. Tayanch izolyatorlar.
6. Kirma izolyatorlar
7. Tashqi izolyatsiya elektr maydonini rostlash.
8. Ekranlash tizimga talablar.
9. Ekranlardan foydalanish.
10. Pashen qonuni.
11. Mustaqil va nomustaqil razryad.
12. Razryadning mustaqillik sharti.
13. Lavina razryadi.
14. Strimer razryadi.
15. Elektr maydon nega rostlanadi?

III bob. ICHKI ELEKTR IZOLYATSIYA

3.1. Ichki izolyatsiya tavsifi

Elektr qurilmalar izolyatsiyasining asosiy vazifasi izolyatsiyalanuvchi qismlardan elektr toki o'tmasligini ta'minlashdir. Izolyatsiyadan foydalanish sharoitida undan quyidagi elektr toklari o'tishi mumkin:

-o'zgaruvchan kuchlanishda **sig'im toklari**, izolyatsiya dielektrik polarizatsiyasi va sig'imiga bog'liq;

-juda kichik miqdorda **faol sirt toki** va **faol hajm toki**, izolyatsiyaning faol hajm qarshiligi R_v va faol sirt qarshiligi R_s ga bog'liq;

-**sirt razryad toklari**, izolyatsiya sirtidagi elektr zaryadining zichligiga hamda tashqi kuchlanishga bog'liq;

-namligi sababli **absorbsiya toklari** absorbsiya koeffitsiyentiga bog'liq;

-**qisman razryad toklari**, izolyatsiyaning tuzilish sifatiga, ya'ni hajmidagi gazli mikrobo'shliqlariga, bog'liq.

Ichki izolyatsiyasining asosiy xossalari. **Ichki izolyatsiya** deb, elektr uskunalarning atmosfera havosidan mutloq to'silgan hamda qisilgan gaz, vakuum, qattiq va suyuq dielektrik yoki ularning kombinatsiyasidan tashkil topgan izolyatsiya tushuniladi. Ichki izolyatsiya murakkab va ko'p turli bo'lishiga qaramay uning asosiy xossalari qo'llanilgan dielektrik xossalar bilan chambar-chas bog'liq. Dielektrik tanlash quyidagilarga bog'liq:

1) Ichki izolyatsiya dielektrik mustahkamligi havo mustahkamligidan $5 \div 10$ va undan ham ko'proq marta katta. Bu elektr o'tkazgichlar orasidagi masofani shuncha marta qisqartirish va yuqori texnika-iqtisod ko'rsatgichli elektr uskuna yasash imkonini beradi.

2) Ichki izolyatsiyaning hammasi yoki uning bir qismi elektr toki o'tkazgichlarini mexanik-turg'un holatda ushlab turuvchi tayanch vazifasini bojaradi, shuning uchun mexanik pishiq bo'lgan qattiq dielektrik qo'llaniladi.

3) Ichki izolyatsiya hajmi orqali issiqlik energiyasi atrofga tarqatiladi. Iloji bor joyda suyuq va qisilgan gaz dielektriklarni qo'llash ma'qul, chunki ularning ichki izolyatsiyani sovitish imkoni kattaroq.

Ichki izolyatsiyaning barcha dielektriklari uchun quyidagi umumiylik mavjud:

- ichki izolyatsiya elektr mustahkamligi yuqori kuchlanishning ta'sir etish vaqti bilan juda murakkab holda bog'langanligi;
- ichki izolyatsiya nominal yuqori kuchlanish ostida uzoq muddatli ishlash vaqti o'tishi bilan unda elektr eskirishning mavjudligi;
- ichki izolyatsiyani birgina elektr teshib o'tish, ya'ni proboy, sodir bo'lgandan so'ng izolyatsiya elektr mustahkamligining qayta tiklanmas holati yuzaga kelishi;
- ichki izolyatsiya ekspluatatsiya jarayonida elektr, issiqlik, mexanik, kimyoviy va boshqa omillarning ta'sir ko'rsatishiga chidamliligini ta'minlash lozimligi.

Ichki izolyatsiya elektr mustahkamligi U_p quyidagicha farqlanadi:

- 1) ichki izolyatsiyadan foydalanish davrida, ya'ni ekspluatatsiya davomida, ishchi kuchlanishning uzluksiz ta'siriga chidamligini ta'minlovchi uzoq muddatli elektr mustahkamlik;
- 2) ichki standart yashin impulsi ta'siriga chidamligini ta'minlovchi yashinga qisqa muddatli mustahkamlik;
- 3) ichki izolyatsiyaning kommutatsiya o'takuchlanishi impulsiga chidamligini ta'minlovchi kommutatsiyaga qisqa muddatli elektr mustahkamlik.

Ichki izolyatsiyaning elektr teshish kuchlanishi U_p vaqt t bilan juda murakkab bog'lanishga egadir. Kichik vaqt $t=10^{-5}\div10^{-3}$ soniyada erkin e -elektronlar ta'siri sababli dielektrik hajmini elektr teshib o'tish U_p sodir bo'ladi. Agar 10^{-3} soniyadan kattaroq vaqtda teshib o'tish kuzatilsa, U_p dielektrik hajmidagi begona kirmalar ta'sirida elektr teshish sodir bo'ladi. So'ngra teshib o'tish bir necha daqiqadan soatlargacha vaqt o'tgach kuzatilsa, bu dielektrikni issiqlik ta'sirida teshishdir. Izolyatsiyaga kuchlanish berilsa, u isiydi. Bunga sabab dielektrikdagi sig'im toklari, absorbsiya toklari, sirt va hajm toklaridir. Agar elektr teshib o'tish bir necha soatdan $5\div10$ yil vaqt o'tgach kuzatilsa, bu izolyatsiyaning eskirishidandir.

Qattiq va suyuq ichki izolyatsiyaning razryad kuchlanishi U_p **o'zi tiklanmaslik** xususiyatiga ega. Yangi uskunalar ichki izolyatsiyasining razryad kuchlanishi U_p ni ekspluatatsiyadan oldin o'lchab bo'lmaydi, chunki bir marta **elektr teshish**, ya'ni proboy, sodir bo'lgach, izolyatsiya o'z ishlash qobiliyatini qisman yoki to'la yo'qotadi. Shuning uchun ham amalda ichki izolyatsiya elektr mustahkamligi izolyatsiya sifatini nazoratlash usuli bilan aniqlaydi. Jumladan, ichki izolyatsiyaning

dielektrik yo‘qotishi $\text{tg} \delta$ ichki izolyatsiya ichida qisman razryadlarning mavjudligi va intensivligi, sinov kuchlanishi ta‘sirining natijasi, kutilgan o‘ta kuchlanishlarning me‘yori va boshqalarga qarab aniqlanadi.

Ichki izolyatsiya elektrotexnik materiallariga talablar. Ichki izolyatsiyada qo‘llanuvchi elektrotexnik materiallarning, ya‘ni dielektrlarning, elektr, issiqlik va mexanik xossalarga yuqori talab qo‘yiladi. Avvalo ichki izolyatsiyaning qisqa va uzoq muddatli elektr mustahkamligini ta‘minlash talab qilinadi. Buning uchun ichki izolyatsiya yaslovchi dielektrik materiallar quyidagi talablarga javob berishi lozim: ish mobaynida dielektrik material xossalari barqarorligi; material hajmini elektr teshib o‘tish kuchlanishining qiymati kattaroqligi; material sirti bo‘ylab razryad kuchlanishini kattaroqligi; material sirtining namlikni hajmga o‘tazmasliga va ifloslanishga chidamligi hamda ifloslikdan oson tozalanishi; dielektrik hajmining elektr yo‘qotishi $\text{tg} \delta$ ning kichikroqligi; materialning qisman razryad ta‘siriga chidamliligi; gaz kirishmalaridan xolisligi; issiqlikni yaxshi o‘tkazuvchanligi; issiqlik ta‘sirida eskishga chidamliligi; mexanik mustahkamligini katta statik va qisqa tutashuvning dinamik kuchlar ta‘siriga bardoshligi; izolyator yasash texnologiyasiga mosligi; ekologiyani muhofizalash talablariga javob berishi va undan foydalanishda zaharli moddalar chiqarmasliga; uzoq muddatli beta‘mir ishlash imkoni; ishlash muddati tugagach osongina qayta ishlanishi yoki atrof muhitni ifloslamay yo‘qotib yuborilishi; tannarxining kichikroq bo‘lishi; material va xomash‘yosi noyob bo‘lmasligi. Ba‘zan boshqa zarur talablar ham qo‘yiladi, jumladan, kondensator moyiga nisbiy dielektrik singdiruvchanligini iloji boricha kattaroq bo‘lishi.

Izolyator yasaladigan dielektrlar avvalo yuqori mexanik chidamlikka ham ega bo‘lishlari shart, chunki izolyatorlar elektr uskuna konstruksiyasining bir elementi bo‘lib, katta miqdorda mexanik yuklama ko‘taradilar. Masalan, havo elektr uzatish yo‘llaridagi izolyatorlar simning va undagi muzlarning og‘irligiga hamda simning taranglik tortish kuchiga chidamli bo‘lishlari va o‘nlab tonna yuklama ko‘tarishlari kerak. Taqsimlagich shinalari biriktirilgan tayanch izolyatorlar qisqa tutashuv sharoitida vijudga keluvchi juda katta elektrodinamikoviy kuchlarga bardosh berishlari kerak. Farfor, ya‘ni chinini, va shishaning mexanik chidamligi yuklamaning turiga bog‘liqdir. Jumladan, 2÷3 sm diametrli forfor namunasining mexanik mustahkamligi qisqish kuchiga 450 MPa bo‘lsa, egish kuchiga 70 MPa va tortish kuchiga faqat 30 MPa dir. Shuning uchun ham agar izolyatsiya konstruksiyasida farfor qisqish

kuchi ta'sirida ishlasa, bunday izolyator eng katta mexanik mustahkamlikka ega bo'ladi. Yasash vaqtida toblangan, ya'ni zakalka qilingan, shishalarning mexanik chidamligi farfordan qolishmaydi va u ham qisish kuchiga yaxshiroq ishlaydi. Likobchasimon osma izolyatorlarda farfor va shisha faqat qisish kuchi ta'sirida ishlaydigan holda bajariladi. Toblangan shishadan yasalgan bunday izolyatorlar 40 tonna tortish kuchiga chidamlidir.

Izolyatsiyaga statikoviylar mexanik ta'sir yuqori kuchlanishli izolyatsion konstruksiyaning massasi mavjudligi va bu massani turg'un holatda ushlab turish shartligi sababli yuzaga keladi. O'ta kuchlanish impulsarlari sababli paydo bo'ladigan elektrodinamik va vibratsiyali, ya'ni tebranma harakatli, ta'sirlarning izolyatsiyaga dinamikoviylar mexanik xavfi shundaki, ichki izolyatsiya hajmida uning elektr mustahkamligiga putr yetkazuvchi **mikrodarzliklar** va deformatsiyalangan gazli mikropuffakchalar hosil qilinishi mumkin. O'zgaruvchan tokli nominal yuqori kuchlanishga ega elektr maydon tasirida bo'lgan izolyatsiyadan ko'p yillar davomida uzluksiz foydalanish vaqti o'tishi bilan gaz muhitli mikrodarzliklarda qismaniy razryad paydo bo'lishi hamda qismaniy razryadlarning vaqt o'tgan sari kattaroq tezlikda rivojlanib ketishi izolyatsiyani tez eskirishini kelib chiqaradi va juda xavfli muammoga aylanadi.

3.2. Ichki izolyatsiya turlari

Yuqori kuchlanishli elektr qurilmalarning ichki izolyatsiyasida quyidagi izolyatsiya turlaridan keng foydalaniladi: suyuq dielektrlardan; qog'oz-moy izolyatsiyasidan; to'siqli moy izolyatsiyadan; quyma epoksid va boshqa kompaundli izolyatsiyadan; polimer va boshqa qattiq izolyatsiyalardan; vakuumli izolyatsiyadan; qisilgan gazli izolyatsiyadan. Ular quyidagi umumiy xossalarga egadirlar: ichki izolyatsiya biron marta elektr teshib o'tilgandan so'ng ko'pincha izolyatsiya elektr mustahkamligi tiklanmasligi, ya'ni o'zi tiklanmas izolyatsiya turiga mansubligi; ichki izolyatsiyaga elektr, mexanik, issiqlik, kimyoviy va boshqa tashqi omillarning katta ta'siri borligidadir.

Elektr izolyatsiyalovchi materiallarning **issiqlikka chidamlilik sandart sinflariga** bo'lingan (9-jadval).

9-jadval. Elektrotexnik materallar issiqlikga chidamlilik standart sinflari

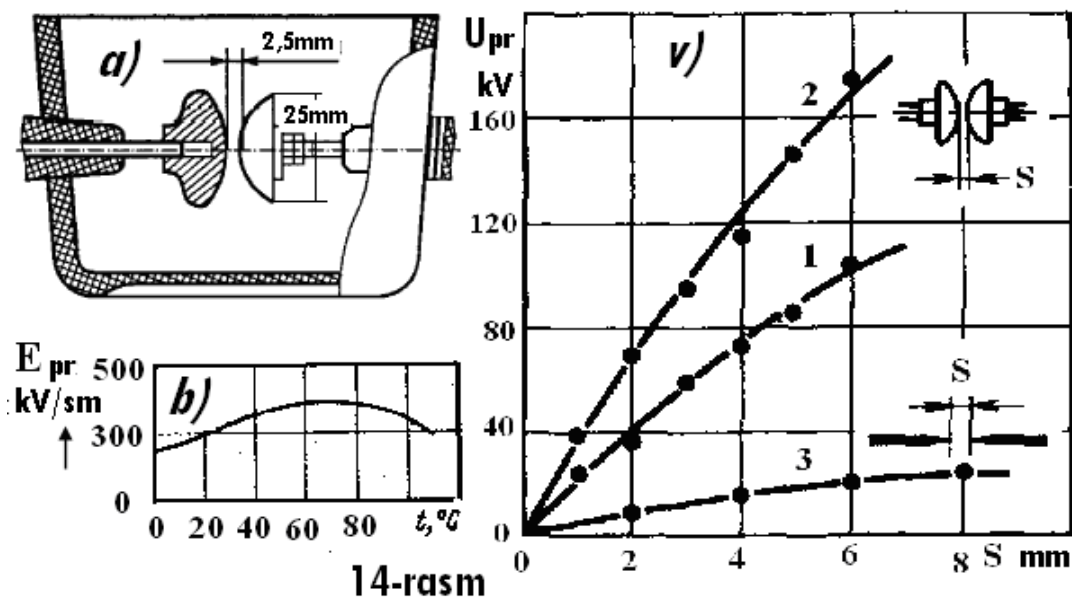
Issiqqa chidamlilik sinflari	Y	A	E	B	F	H	C
Ruxsat etilgan harorat, °C	90	105	120	130	155	180	>180

Suyuq dielektrik materiallar asosan sun'iy va tabiiy bo'ladi. **Tabiiy suyuq dielektriklar** neftni qayta ishlash jarayonida olinadi. Masalan, transformator moyi va kondensator moyi suyuq uglevodorod birikmalaridir. **Sintetik suyuq dielektriklar**: xlorlangan uglevodlar, kremniy organik hamda ftor organik suyuqliklar va boshqalardan iborat.

Ba'zi tabiiy va sun'iy suyuq dielektriklarning elektr tavsifi 10-jadvalda ketirilgan.

Sintetik suyuq dielektriklarning ishlash harorati anchi yuqori, ya'ni 300÷350°C ga borsa, tabiiy moylar 80÷150°C gacha ishlaydi.

Moyning razryad kuchlanishini o'lchash 0,5 litr hajmli to'g'ri silindr shaklidagi forfor idishga o'rnatilgan diametri 25 mm standart elektrodlar yordami bilan olib boriladi (14a-rasm). Moylarning, amalda ko'proq transformator moyining, razryad kuchlanishi U_p ni o'lchash jarayoni yuqori kuchlanishli ПИИ-70, АИ-80 yoki АИ-90 sinov apparatlarida olib boriladi.



10-jadval. Suyuq dielektriklarning asosiy xossalari

Suyuq dielektiklar	$E_{pr}, \text{kV/sm}$ (U_{pr}, kV)	ϵ	$tg\delta$	ρ_v	T_{zam} °S
Transformator moyi TAn	280(70)	2,3	0,215	$5 \cdot 10^{10}$	-45
Трансформатор мойи Т-750	300(75)	2,25	0,056	10^{11}	-55
Transformator moyi Tk	320(80)	2,2	0,004	10^{12}	-45
Kondensator moyi	200	2,2	0,005	10^{12}	-45
Kabel moyi MH-4	180	2,2	0,003	10^{11}	-45
Sovol-10	220	4,3	0,03	10^{12}	-6
Kastor moyi	150	4-4,5	0,02	-	-15
Kremnoorganik moy ПЭС-3	(45)	2,4	0,0003	10^{11}	-70
Ftoruglevodorod Xladon-12	(32)	2,52	0,0002	10^{12}	-

Bunda: E_{pr} -material hajm elektr mustahkamligi; ϵ -materialning dielektrik singdruchanligi; $tg\delta$ -dielektr materialida quvvat isrofi; ρ_v - nisbiy hajm qarshiligi; T_{zam} -muzlash hararati.

Moy standart idishga shuncha quyiladiki, moyning sirti elektodlardan 15 mm dan ortiq balandroq masofada bo'lsin. Quyilgan moy 10 minut tinchlantirib qo'yilgach, so'ngra moyni birinchi elektr teshish kuzatiladi.

Elektrodlar oralig'i 2,5 mm o'lchamida aniq belgilangandir. Harorat 20°S holatida sinusoidal o'zgaruvchan 50 Gs chastotali kuchlanish 2 kV/s tezlikda suyuq dielektriklarni elektr teshib o'tish sodir bo'lgunicha ko'tariladi. Razryad kuchlanishlari o'lchavi U_{pr} besh marta takrorlanadi. O'lchovlar orasida havo puffakchalari ketishi uchun 5 daqiqagacha kutiladi. Har razryaddan so'ng suyuqlik toza shisha tayoqsa bilan aralashtirilib yuboriladi.

Suyuq dielektrik elektr mustahkamligi birinchi elektr teshib o'tish kuchlanishi bilan belgilanada, masalan, transformator moyining mustahkamligi 50 kV deyilsa, bu 2,5mm elektrodlar oralig'idagi suyuq dielektrik hajmini elektr teshib o'tish kuchlanishidir. Moyning o'rtacha elektr mustahkamligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\bar{E}_p = \frac{\sum_{i=1}^N E_{pi}}{N}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_{pi} - \bar{E}_p)^2}{N-1}}; \quad K_{\text{var}} = \frac{\sigma}{\bar{E}_p} 100\% \quad (3.1)$$

Bunda: N-moyni elektr teshib o'tish soni; σ -o'rtacha kvadaratik og'ish, ya'ni moyning har bir elektr teshib o'tish kuchlanishini o'rtacha elektr mustahkamlikdan tarqoqligi; K_{var} -variatsiya koefitsiyenti bo'lib, agar $K_{\text{var}} < 15\%$ bo'lsa, moy birjinsli izolyatsiya hisoblanadi.

Transformator moyi razryad kuchlanishi U_{pr} elektrodlar oralig'idagi C masofasini kattalashishi bilan va elektr maydon birjinsligini kamayishi bilan kamayadi (14v-rasm). Rasmda 1-grafik transformator moyining harorati 20°C da olingan bo'lsa, 2-grafik moyining harorati 100oS tegishlidir. 1 va 2 grafiklar standart elektrodlar bilan birjins elektr maydonida o'lchangan bo'lsa, 3-grafik esa nayza-nayza shaklidagi elektrodlar bilan nobirjins elektr maydonida olingandir. Qisqa $t < 1000$ mks impulsda kuchlanish ishorasining ta'siri seziladi. Suyuq dielektriklarning namlanishi va kirlanishi U_p ni kamaytiradi. Transformator moyining harorati 60÷80°C ga ko'tarilsa, razryad kuchlanishi U_{pr} sezilarli oshadi, chunki moydagi suv emulsiya holatidan malekulyar erigan holatga o'tadi. Harorati yanada ko'tarilsa, moydagi suv parlanib, gaz puffakchilar hosil qilishi tufayli razryad kuchlanishi U_{pr} kamayadi. Transformator moy elektr mustahkamligiga undagi molekulyar erigan suvning ta'siri yo'q hisob, lekin juda kichik miqdordagi emulsiyaviy suv moyning elektr mustahkamligi sezilarli kamaytiradi. Chunki emulsiya suvining sharcha shaklidagi mayda puffakchalari polyarizatsiya ta'sirida tashqi elektr maydonning kuch chiziqlari bo'ylab cho'zilib ketadi va elektr o'tkazuvchi ko'priklar hosil qiladi. Buning ta'sirida moyda kutilgandan kichikroq kuchlanishda ham razryad sodir bo'ladi, natijada moyning elektr mustahkamligi kamayadi. Razryad kuchlanishining kamayib ketishiga moyning hajmini gigroskopik ifloslanishga olib keluvchi qog'oz, karton va to'qimalarning tolalari ham sabab bo'lib, ular elektr o'tkazuvchi ko'priklar hosil bo'lishini osonlashtiradi. Moyda molekulyar erigan va emulsion holatdagi suvning umumiy miqdori cheklangan bo'lib, agar u 0,02% oshsa, ortiqcha suv idish tagiga cho'kib, yig'ilib oladi. Moyning elektr mustahkamligi E_{pr} haroratga bog'liqdir (14b-rasm), harorat 60÷80°C orasida moy mustahkamligi eng katta qiymatga ega va 350÷400 kV/sm bo'ladi. Transformator moyi **ishlash harorati** 75÷95 °C orasidadir.

Transformator moyida razryadning shakillanishi vaqti katta bo'lgani uchun U_{pr} kuchlanishning ko'tarish tezligiga bog'liq: sinovchi kuchlanish qancha tez ko'tarilsa, U_{pr} shuncha baland bo'ladi. Masalan, yangi transformator moyining 50 Gs da standard elektrodli $S=2,5\text{mm}$ masofani teshish kuchlanishi $U_{pr}=40\div 60\text{ kV}$ oralig'ida bo'lib, moyning namligi va tozaligiga bog'liq. Moy namligi miqdori uning og'rligining $0.01\div 0.015\%$ ga borsa moyning elektr chidamligi keskin kamayadi. Moy bunday eskirgach, ya'ni namlangach, razryad kuchlanishi U_{pr} tezda kamayib ketishi ham mumkin.

Transformator moyining birjins elektr maydonida elektr mustahkamligi 150 kV/sm bo'lib, atmosfera havosining elektr mustahkamligidan $7\div 8$ marta kattaroqdir.

Yangi va foydalanishdagi transformator moyini elektr mustahkamligiga qarab qanday kuchlanishda ishlatish tartibi 11-jadvalda keltirilgan.

11-jadval

Qurilmaning nominal kuchlanishi, kV	2,5mm standart oraliqni teshib o'tish kuchlanishi, kV	
	Yangi moy	Foydalanishdagi moy
6 va kichikraq	25	20
35	30	25
110÷220	40	35
330 va kattaroq	50	45

Transformator moyining normal sharoitda asosiy ko'rsatgichlari:

-moyning zichligi - $0,87\div 0,90\text{ Mg/m}^3$;

-moyni haroratdan kengayish koeffitsiyenti $0,00065\div 0,00066\text{ K}^{-1}$;

-moyni nisbiy issiqlik sig'imi - $1,5\text{ kDj/(kg}\cdot\text{K)}$;

-moyni issiqlik o'tkazuvchanligi erkin konveksiyada $1\text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$ atrofida, havonikidan $25\div 30$ marta kattaroq;

-moy bug'ining o't olish harorati, ya'ni ochiq alanga yoki uchqun yaqinlashganda moy bug'ining havo bilan aralashmasini yonib ketishi, yoki yonishining eng kichik harorati bo'lib, bu moyni yong'inga xavfi yoki issiqlikka bardoshlik ko'rsagichidir, u $135\div 140^\circ\text{C}$ oralig'idadir;

-moy qovushoqligining kichikligi elektr qurilmada ajralib chiqadigan issiqlikni sirkulyatsiya hisobiga tezda atrofga tarqatib yuborish va qurilmaning sovishini ta'minlashga xizmat qiladi. Harorat tushsa, moyning qovushoqligi kattalashadi va 20°C da transformator moyining

shartli qovushoqligi 4.2°E (Engler) bo'lganda kinematik qovushoqlik $30 \text{ St}=0,000030 \text{ m}^2/\text{s}$ bo'ladi. 50°C da esa 2°E oshmasligi kerak. Ma'lumki, $1 \text{ St}=10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ bo'lib, o'lchov birliklarni o'tkazish jadvallari mavjud.

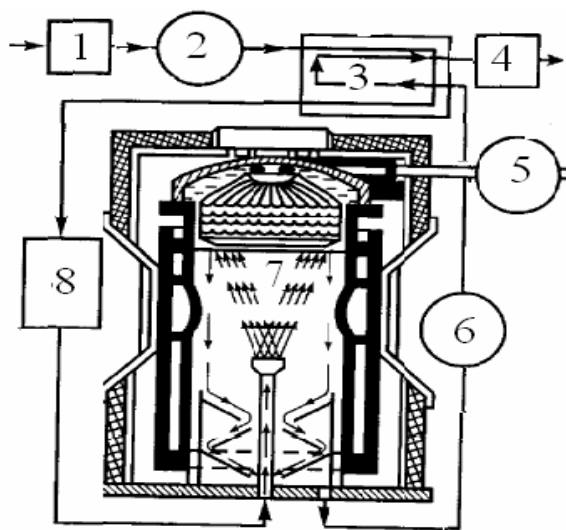
-moy kislota soni neft moylarining eskirish ko'rsatgichi bo'lib, bu kislota neytrallashtirish uchun 1 gramm moyga necha milligramm ishqor qo'shish kerakligini bildiradi, jumladan, moylar $0.03 \div 0.1 \text{ g KOH/kg}$ kislota soniga ega;

-moyning muzlash-qotish harorati, sovuqqa chidamli ATM-65 moyining qotishi - minus 70°C ;

-moyning gaz analizi yordamida moyli elekt uskunaning, jumladan kuch transformatorining, nosozligi aniqlanadi. Moy tarkibidagi gaz miqdori qisman razryad, uchqun razryadi xatto yoyli razryad borligidan yoki ayrim joyni qizib ketishidan darak beradi. Natijada transformator ishdan chiqmasdan ancha ovval nosozlik aniqlanadi va avariyaning oldi olinadi. Moydagi gazlarni aniqlashda xromatografik analiz usuli qo'llaniladi;

-moyning eng katta ishlash harorati 95°C hisoblanadi.

Transformator moyi ishrash jarayonida eskiradi: tiniq och sariq rangi qoralashadi; hajmida ifloslovchi kislota va smolalar hosil bo'ladi; razryadlar ta'sirida moy molekulasini parchalanadi; qovushoqligi, kislota soni va moy bug'ining o't olish harorati kattalashadi.



15-rasm

Moy quritish-moyni tozalashning eng sodda usuli bo'lib, suvni qaynatish hisobiga bug'latib yuboriladi. Suvning qaynash harorati moynikidan ancha pastdir. Moyni vakuumda changlatib quritish usuli 15-rasmda keltirilgan. Moyni vakuumda quritish samaraliroqdir, chunki suv qaynash haroratida havo kislorodining moyga kimyoviy ta'siri bartaraf qilinadi hamda suvni qaynash harorati pasayadi. Moy dastlabki filtr 1

nasos 2 issiqlik olmashgich 3 dan utib, elektr isitgich 8 ga keladi. Qizigan moy changlangan holda vakuum idishi 7 ga yetib keladi. Vakuum nasos 5 suv bug'i va gazlarni so'rib turadi. Quritilgan moy nasos 6 issiqlik olmashgich 3 va filtpress 4 orqali transformatorga bakiga yoki toza moy saqlash idishga yetkazib beriladi. Bu jarayonda moy faqat suvsizlantiriladi.

Moyni filtirlash. Moy katta bosim ta'sirida filtrlovchi kartondan o'tkaziladi. Bu jarayonda moy mayda mexanik kirishmalardan tozalanadi va tozalashning oxirgi bosqichidir.

Moyni sentrofugalash usuli og'irligi yengil moydan og'irroq bo'lgan suv, tolalar va kuyindilardan ajratib, moyni tozalab beradi. Markazdan qochma kuch og'irroq kirishmalarni idish devoliga siqib qo'yib. Yengil moyni markazda qoldiradi.

Moyni regeneratsiyalash. Yuqoridagi usullar bilan moyni to'la tozalab bo'lmaydi. Regeneratsiyada moyni adsorbentlar sirti "eskirish" da hosil bo'lgan kirmalar va namlikdan tozalaydi. Adsorbent sifatida oqortiruvchi tuproq, silikogel va alyuminiy okisidan foydalaniladi.

Kondensator moyi yuqori kuchlanishli kondensatorning qog'oz izolyatsiyasiga shimdiriladi. Kuch kondensatorlari elektr tarmoq induktivligini kompetatsiyalashda ishlatiladi.

Kabel moyi yuqori kuchlanishli kabelning qog'oz izolyatsiyasiga shimdirishda qo'llaniladi va qog'oz izolyatsiyaning elektr mustahkamligini hamda issiqlik o'tkazuvchanligini oshiradi.

Qattiq dielektrlarning elektr mustahkamligi $1000 \text{ kV/sm} = 10 \text{ MV/m}$ gacha boradi. Tashqi elektr maydon dielektrik hajmida elektronlar harakati uchun juda murakkab holat paydo qiladi. Avvalo egrilik radiusi kichikroq elektrod qarshisidagi dielektrik hajmda ingichka razryad kanali paydo bo'ladi va u kanal gazsimon chiqindilarga to'ladi. Ichida erkin elektronlar ko'payib, yangi razryad shohobchalarini **dendridlarni** hosil qiladi. Shohlangan razryadning hududiy razryad kanali elektrodga yetgach dielektrik hajmi elektr teshiladi, ya'ni probay sodir bo'ladi. Qattiq dielektrikda hosil bo'lgan teshik devorlari bo'ylab elektr o'tkazuvchi kuyindilar hosil bo'ladi. Elektr mustahkamligi E_{pr} juda kichrayib ketadi, vaqt o'tishi bilan qattiq dielektrikning hajm elektr mustahkamligi E_{pr} qaytib tiklanmaydi. Kuchlanish berilganda qattiq dielektrik hajmining elektr yo'qotishi $tg \delta$ aktiv elektr o'tkazuvchanlikning kattalashishi sababli kattalashdi.

Moyda qattiq dielektrik sirti bo'ylab razryad. Moyda toj razryadi U_{toj} va sirpanuvchi sirt razryadi U_p kuchlanishlarining tavsifi gazdagidek

bo'lsada, lekin miqdori ancha baland. Sababi: moyning nisbiy dielektr singdruvchangligi $\epsilon = 2,8$ bo'lib, havoniki $\epsilon = 1$ dan ancha katta va qattiq jism singdruvchangligi $\epsilon = 3 \div 10$ ga yaqinligidadir. Bir xil o'lcham va elektrod shaklida moyda elektr maydon kuchlanganlikning taqsimoti havonikiga nisbatan ancha birjinsliroqdir. Bu holatda moy kattaroq hajmiy elektr o'tkazuvchanlikka egadir. Nihoyat, moy gazga nisbatan kattaroq elektr mustahkamlikka egadir. Yuqoridagi asoslar sababli moyda toj razryadi paydo bo'lish kuchlanishi U_{toj} , sirt bo'ylab sirponuvchi razryad kuchlanishi U_{psr} hamda razryad kuchlanishi U_p gazdan kattaroqdir.

Izolyatsiyani kombinatsiyalash natijasida uning elektr mustahkamligini va issiqlik o'tkazuvchanligini oshirish zamon talabidir. Qattiq dielektriklar juda yuqori elektr mutahkamlikka ega bo'lib, izolyatsiya konstruksiyasiga mexanik turg'unlik bersa ham, amma ularning issiqlik o'tkazuvchanligi kichkinadir. Qattiq izolyatsiyani metall elektrodlar bilan havo tirqishsiz o'zaro biriktirish juda mushkul ish. Bu uzoq muddatli elektr chidamligini kamaytiradi. Suyuq dielektriklar havo tirqishlarini oson to'ldiradilar. Qattiq va suyuq dielektriklarni kombinatsiyalash bilan izolyatsiya konstruksiyasining katta mexanik va elektr mustahkamligi hamda kerakli issiqlik o'tkazuvchanligi ta'minlanadi.

Qog'oz-moy izolyatsiya. Qog'oz-moy izolyatsiya moy shimdirilgan qog'oz qatlamlaridan tashkil topadi. Qog'oz sirtini notekisligi sababli uning qatlamlari orasida tirqishlar qolgan bo'lib, ular moy bilan to'ldiriladi. Moyli tirqishlarning qalinligi millimetrlarning o'ndan bir ulushidan katta bo'lmaydi.

Ichki izolyatsiyaning tuzilishiga qarab izolatsiyalovchi qatlam ikki turli bajariladi: varaq (list) yoki o'rama (rulan) qog'ozlaridan hamda tasma (lenta) shaklidagi qog'ozdan. Listsimon yoki rulonli o'rama izolyatsiya uzilmas list yoki rulondan tuzilgan bo'lib, kodensatorlarda, transformatorlarda va yuqori kuchlanishli kirma izolyatorlarda qo'llaniladi. Tasmaimon izolyatsiya tuzilishi murakkab bo'lgan konstruksiyalarni izolyatsiyalashda yoki izolyatsiyadan bukiluvchanlik talab qilinganda ishlatiladi.

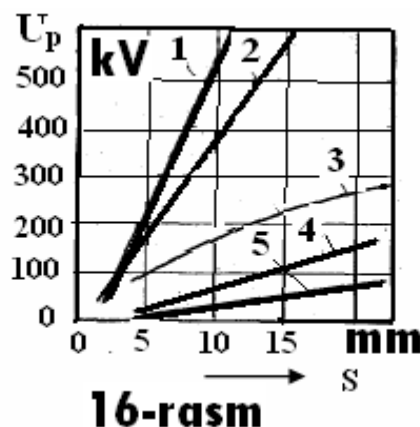
Qog'ozli izolyatsiyani moy bilan to'yintirishdan avval namlik va gaz puffakchalaridan qutilish uchun uni vakuumlanadi. Vakuumlash qoldiq bosim $1,33 \div 0,0133$ Pa holatida, yoki vakuum 10^{-2} dan 10^{-4} mm simob ustiniga teng holatda, hamda harorat $100 \div 120^\circ\text{S}$ bo'lgandagina olib boriladi.

Qog'oz-moyli izolyatsiya nihoyatda yuqori elektr mustahkamligiga ega bo'lib, uni tashkil qilgan bo'laklaridan ancha balanddir. Qog'oz moyli izolyatsiya yupqa qatlamni teshib ketish kuchlanganligi 500kV/sm yaqin bo'lsa, moyning teshib ketish kuchlanishi 150÷200kV/sm va kabel qog'ozning elektr mustahkamligi 100÷150kV/sm va zichligi kattaroq kondensator qog'ozining mustahkamligi 150÷500kV/sm ga tengdir.

Tanlangan materiallarning sifati hamda izolyatsiyani yasash texnologiyasiga qarab ruxsat etilgan ishchi kuchlanganlik 120÷180kV/sm bo'lsa, to'siqli moy izolyatsiyani esa 40÷60kV/sm bo'ladi.

3.3. Qisilgan gaz va vakuumli izolyatsiya

Qisilgan gaz. Ichki izolyatsiyada gazni qo'llashning qattiq va suyuq dielektrlarga nisbatan birqancha afzallilari bor. Jumladan, gaz izolyatsiyaning dielektrik yo'qotishlari juda kichik va elektr mustahkamligi o'z-o'zidan tiklanuvi bo'lib, uzoq yillik foydalanish davrida o'z xossalari o'zgarmas holda saqlab turadi, ya'ni eskirmaydi. Gaz izolyatsiyani qo'llash qurilma massasini keskin kamaytirishga va yong'in xavf-sizligini ta'minlashga olib keladi va qurilmaning tuzilishi ham soddalashadi.



16-rasm

Gazning razryad kuchlanishi U_p ni elektrodlar orasidagi masofa S ga bog'lik grafiklari 16-rasmda keltirilgan. Unda: 1-havo bosim $p=2,8$ MPa; 2-elegaz SF_6 bosim $p=0,7$ MPa; 3-transformator moyi; 4-elegaz atmosfera bosimida; 5-havo atmosfera bosimida.

Gazning bosimi oshgan sari uning elektr mustahkamligi chiziqli ortib boraveradi. Jumladan, qisilgan havoning 1,5 MPa, ya'ni 15 atm ga yaqin, bosimda elektr mustahkamligi 150 kV/sm ga yetadi, ya'ni transformator moyinikiga yaqinlashadi. Ayniqsa elegaz SF_6 elektr mustahkamligi yuqorida qayt qilingan bosimda 500kV/sm ga tengdir.

Elektr qurilmalar izolyatsiyasida ishlatiluvchi gazdan kimyoviy turg'un bo'lishi, elektr razryadi vaqtida kimyoviy faol va zaharli moddalarni chiqarmasligi, kimyoviy inert bo'lishi, ya'ni birga qo'llangan materiallar bilan kimyoviy reaksiyaga kirmasligi, yuqori issiqlik o'tkazuvchan bo'lishi, yong'in chiqish xavfsizligini ta'minlashi, past suyulish hararatiga ega bo'lishi sababli katta bosim ostida ishlay olishi talab qilinadi. Hozirgi kunda elektr izolyatsiyasi sifatida havo, azot N_2 , elegaz SF_6 keng qo'llaniladi. CO_2 gaz lazerlarida qo'llanilmoqda.

Elegaz SF_6 . Gazlar ichida havo va azotga nisbatan 2,5 marta kattaroq elektr mustahkamlikka ega elektrotexnik gaz-elegazdir. Buning sababi shuki, elegaz SF_6 molekulasida fluor galogeni bor bo'lib, bu elegazni elektr manfiy gaz bo'lishiga sababchidir. Gaz razryadi paydo bo'lishining asosiy sababchisi bo'lgan erkin elektronni fluor o'ziga biriktirib, mustahkam ion hosil qiladi. Erkin elektron yutilgach razryad hosil bo'lish sababi ham yo'qoladi. Elegazning ishchi bosimi cheklangan, chunki suyulish hararati ancha baland. Masalan, 0.3 MPa da elegazning suyulish hararati minus $45^\circ C$ bo'lsa, 0,5 MPa da minus $30^\circ C$ dir.

Bu muammo elegazni boshqa, suyulish hararati pastroq gazlar bilan birga qo'llash bilan xal qilinadi. 70% azot va 30% elegazning 8 MPa bosimdagi suyulish hararati minus $45^\circ C$ tashkil etadi. Azot hamda elegaz aralashmasi yuqori kuchlanishli kondensatorlarda, transformatorlarda, kabellarda, germetik taqsimlash qurilmalari GPYlarda hamda uzgich va ayrgichlarda keng ko'lamda qo'llanilmoqda.

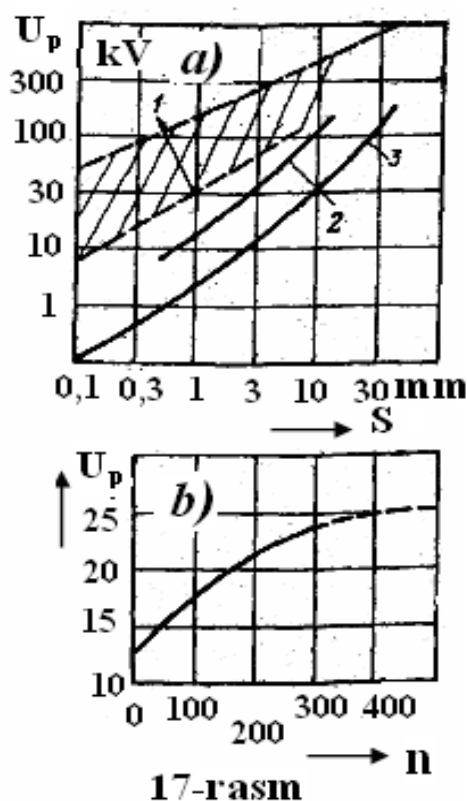
Elegaz juda yaxshi izolyatsiya bo'lishi bilan birga juda yaxshi elektr yoyini o'chiruvchi muhitdir. Elegazda o'chiriluvchi tokning qiymati havonikiga nisbatan 10 marta kattaroqdir. Elegazda elektr yoyi o'chgach, uning elektr mustahkamligini tiklanish tezligi havonikidan 10 martacha kattaroqdir. Shuning uchun ham elegazda o'chirish quvvati 100 marta kattadir. Zamonoviy qurilmalarda elegazli o'chirgichlar havo va moyli o'chirgichlarni siqib chiqarmoqda (16-rasm 2-grafik).

Vakuumli izoyatsiya. Vakuum izolyatsiyasi deganda qoldiq gaz bosimning elektrodlar orasidagi masofaga ko'paytmasi $pS=0,01 \div 0,2$ Pa*sm dan kamroq bo'lgan bosim $10^{-4} \div 10^{-6}$ mm smob ustuni holati tushiniladi. Bunday sharoitda razryad va mikrorazryadlar elektrodlar sirtidagi jarayonlar bilan belgilanadi. Bu jarayonlar elektrod metalining elektrofizik xossalari, elektrod shakli, elektrod sirtining tekisligi va silliqligi, mikrozapchalar bor-yo'qligi hamda elektrodلarni yuqori kuchlanish bilan chiniqtirish sifatiga bog'liq. Agar elektrodلar orasida

qattiq dielektrik bo'lsa, u holda izolyator sirtining holati, undagi elektr zaryad miqdori va qutbi hamda izolyator bilan elektrodlarning biriktirish sifati mikrorazryadlar paydo bo'lish jarayoniga katta ta'sir ko'rsatadi.

Vakuum izolyatsiyasining elektr mustahkamligi elegaz va havonikidan ko'pincha yuqoriroq turadi (17-rasm).

Vakuum oralig'ining razryad kuchlanishi keltirilgan 17a-rasmning 1 grafigidagi pastki chiziq elektrodlarni yuqori kuchlanish bilan chiniqtirilmagan holatga mos kelsa, yuqoridagi chiziq esa chiniqtirilgan holatga mos kelsadi. Bu rasmda 2 grafik bosim $p=0,1\text{MPa}$ elegazga tegishli bo'lsa, 3 grafik bosim $p=0,1\text{MPa}$ havoga tegishlidir. Vakuum izolyatsiyaning razryad kuchlanishi U_p yuqori kuchlanishli razryad bilan chiniqtiruv sinovlarining soni n ga bog'lanishi 17b-rasmida keltirilgan.



17-rasm

Vakuum izolyatsiyaning chiniqtirish birinchi usulda ketma-ket yuqori kuchlanishli razryad ta'sirida olib borilsa, ikkinchi usulda yuqori kuchlanishni ko'tarish razryad kuchlanishiga biroz yetmasdan to'xtatilib, shu kuchlanishda 5÷10 daqiqa chiniqtirib turiladi, so'ngra kuchlanish yana biroz ko'tariladi va qayta chiniqtiriladi. Bunday chiniqtirishni o'nlab pog'onali, xatto 100 pog'onagacha shoshmasdan olib borilishi ijobiy natija beradi. Ikkinchi usul bilan chiniqtirish elektrodlar orasida qattiq dielektrik bo'lganda olib boriladi.

Yuqori kuchlanishli razryadlar bilan vakuum izolyatsiyani chiniqti-rishda elektrod sirtining qizishi va elektrod sirtidan materilni bug‘lanib ketishi sodir bo‘ladi. Qizish va material bug‘lanishi asosan elektrod sirtidagi mikro zirapchalarda va begona qoplamalarda hosil bo‘lib, ular erib bug‘lanib ketishi natijasida elektrod sirti tozalanib va tekislanib qoladi. Natijada kuchlanishni balandroq qiymatga ko‘tarish imkoni tug‘iladi.

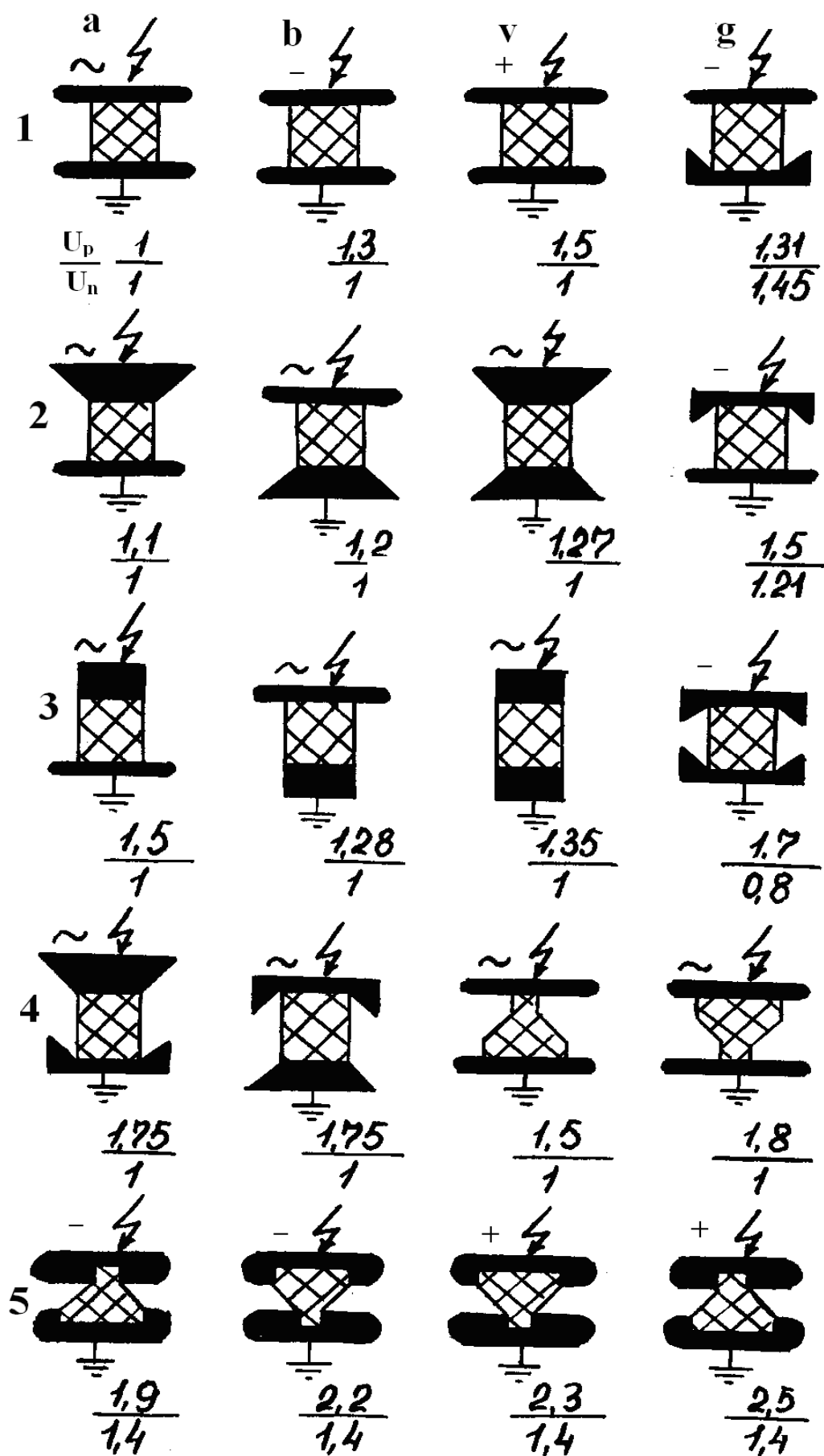
Vakuum izolyatsiya elektr mustahkamligining buzilishi, asosan, uch bosqichda sodir bo‘ladi. Birinchisi, elektrodلarga berilgan yuqori kuchlanish qattiq bog‘liq bo‘lgan zichligi $10^{-3} \div 10^{-4}$ A/sm² keladigan **qorog‘u toklar** (temnovo‘ye toki) ning paydo bo‘lishidadir. Ikkinchisi, davriy qaytarilib turadigan kichik quvvatli $10^{-3} \div 10^{-4}$ A impulsli **mikrorazryad toklari** bo‘lib, ularning qaytarilish chastotasi 0,1 Gs va undan kachikdan boshlab, o‘nlab, ba‘zan 100 Gs gacha boradi.

Bu toklar mikrorazryad toklari bo‘lib, ular sababli atrofga insonga salomatligiga salbiy ta‘sir qiluvchi rentgen nuri tarqalish xavfi mavjud. Uchinchisi, vakuum izolyatsiyaning elektr urib ketilishidir. Vakuum izolyatsiya o‘zi tiklanuvchi izolyatsiya turiga mansub bo‘lib, elektr urib ketish sodir bo‘lgach vakuum izolyatsiyaning elektr mustahkamligi $10^3 \div 10^4$ soniya davomida tezda qayta tiklanadi.

Vakuumda qattiq izolyatorning sirt razryad kuchlanishi elektrodلar va dielektrik shakliga, sinov kuchlanishning turiga hamda elektrod bilan dielektrikni juftlash sifatiga bog‘liqdir.

Quyida keltirilgan ma‘lumotلarni muallif boshchiligidagi ilmiy guruh tomonidan vakuumli tajriba stendida olingan (18-rasm). Turli shakldagi izolyatorلar razryad kuchlanishi haqida vakuumda olingan ma‘lumot havo va moyda olingan ma‘lumotga nisbatan aniqroqdir, chunki vakuumda izolyator atrofi bo‘shliq bo‘lib, izolyatorni o‘rab turuvchi dielektirikdan himoyalangandir.

Rasmda keltirilgan U_n -mikrorazryad boshlanish kuchlanishi va U_p -razryad kuchlanishi bo‘lib, bularning miqdori 50Gs o‘zgaruvchan tokda tekis elektrodli va silindr shaklidagi dielektrikli **a1** izolyator uchun 1 deb olinib, boshqa holatda shunga nisbatan o‘zgarishi keltirilgan. Masalan, musbat qutbli doimiy tokda **b1** izolyator uchun $U_n=1$ va $U_p=1,3$ bo‘lsa, manfiy qutbli doimiy tokda **v1** izolyator uchun $U_n=1$ va $U_p=1,5$. Doimiy tokda izolyatorning mikrorazryad kuchlanishi o‘zgarmay qolsada, o‘zgaruvchan tokka nisbatan razryad kuchlanishi 30%÷50% kattaraq bo‘lar ekan. Mikorazryad kuchlanishi o‘zgarmay qolsada, o‘zgaruvchan tokka nisbatan razryad kuchlanishi 30%÷50% kattaraq.



18-rasm

Ikkala elektrodi musbat burchakli konus shaklidagi **g3** izolyatori uchun $U_n=0,8$ va $U_p=1,7$ bo'lsa, potensial elektrod musbat burchakli konus shaklida va yerlangan elektrod tekis shaklidagi **g2** izolyatori uchun $U_n=1,21$ va $U_p=1,5$ hamda potensial elektrod tekis shaklida va yerlangan elektrod musbat burchakli konus shaklidagi **g1** izolyatori uchun $U_n=1,45$ va $U_p=1,31$ bo'lishi tajribada aniqlandi.

O'zgaruvchan tokda ikkala elektrodi manfiy burchakli konus shaklidagi **v2** izolyatori uchun $U_n=1$ va $U_p=1,27$ bo'lsa, potensial elektrod manfiy burchakli konus shaklida va yerlangan elektrod tekis shaklidagi **a2** izolyatori uchun $U_n=1$ va $U_p=1,1$ hamda potensial elektrod tekis shaklida va yerlangan elektrod musbat burchakli konus shaklidagi **b2** izolyatori uchun $U_n=1$ va $U_p=1,2$ bo'lar ekan.

O'zgaruvchan tokda ikkala elektrodi radiusi dielektrik radiusiga teng silindr shaklidagi **v3** izolyatori uchun $U_n=1$ va $U_p=1,35$ bo'lsa, potensial elektrod radiusi dielektrik radiusiga teng silindr shaklida va yerlangan elektrod tekis shaklidagi **a3** izolyatori uchun $U_n=1$ va $U_p=1,5$ hamda potensial elektrod tekis shaklida va yerlangan elektrod radiusi dielektrik radiusiga teng silindr shaklidagi **b3** izolyatori uchun $U_n=1$ va $U_p=1,28$ bo'lar ekan. O'zgaruvchan tokda eng katta razryad kuchlanishi $U_p=1,75$ elektrodlari turli ishorali konus shaklidagi **a4** va **v4** izolyatorlarida olingan.

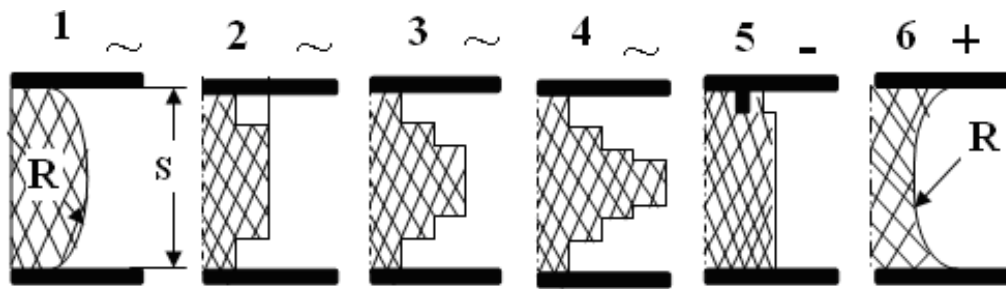
Dielektrik shakli kichik diametrli silindr-konus katta diametrli silindr shaklida yasalsa, potensial elektrod bilan dielektrikning kichik diametrli silindri juftlangan **v4** izolyator uchun o'zgaruvchan tokda $U_n=1$ va $U_p=1,5$ bo'lsa, potensial elektrod bilan dielektrikning katta diametrli silindri juftlangan **g4** izolyator uchun $U_n=1$ va $U_p=1,8$ bo'ladi.

Dielektrikning kichik diametrli silindr qismi potensial elektrodga kiritilgan **a5** izolyatori uchun manfiy qutbli doimiy tokda $U_n=1,4$ va $U_p=1,9$ bo'lsa, aynan shunday **g5** izolyatori uchun musbat qutbli doimiy tokda $U_n=1,4$ va $U_p=2,5$ bo'ladi. Dielektrikning katta diametrli silindr qismi potensial elektrodga kiritilgan **b5** izolyatori uchun manfiy qutbli doimiy tokda $U_n=1,4$ va $U_p=2,2$ bo'lsa, aynan shunday **v5** izolyatori uchun musbat qutbli doimiy tokda $U_n=1,4$ va $U_p=2,3$ bo'ladi.

Shunday qilib, izolyator elektrodi va dielektrigi shaklini va ularni juftlash sifatini oshirishsa razryad kuchlanishi $1,9 < U_p < 2,5$ oralig'ida kattalashtirish imkoni mavjud.

Agar izolyator elektrodlari tekis shaklida qolishi shart bo'lsa, u holda dielektrikka bir yoki ikki tomanlama zinapoya, hamda toroidal botiq

yoki qabariq shakl berish bilan razryad kuchlanishi oshirish mumkin (19-rasm).



19-rasm

Toroidal qabariq dielektrikli izolyator 1 uchun $R=S/2$ olinsa, $U_p=1,75$ bo'lishi tajribada aniqlangan.

Vakuum izolyatsiya ko'pincha shunday qurilmalarda qo'llanadiki, uning ishchi muhiti vakuumli sharoit bo'ladi. Bunday qurilmalar: sanoat energetikasida vakuum o'chirgichlar va vakuum razryadniklar, 20 50kV kuchlanishli namuna kondensatorlar; rentgan apparatlari; elektron va ion tezlatgichlari; kosmik elektr raketa dvigatellari; kosmik kemalarning yuqori kuchlanishli tashqi himoya tizimlari; elektr vakuum asboblari.

Vakuum izolyatsiyaning kamchiligi shundaki, yuqori darajali vakuum olish va vakuumni uzoq muddat ushlab turishning qiyinligi mavjud, ammo kosmik fazo sharoitida vakuum tabiiy muhit bo'ladi.

3.4. Ichki izolyatsiya elektr maydonini rostlash

Ichki izolyatsiyaning qalinligi d ko'pincha $E_{\max} \leq E_{\text{rux}}$ sharti bilan aniqlanadi. Bunda E_{rux} -ruxsat etilgan maksimal kuchlanganlik; U_{hisb} hisobiy kuchlanish. Bu shartga quyidagi tengsizlik to'g'ri keladi:

$$d \geq \frac{U_{\text{hisb}}}{E_{\text{rux}}} K_i \quad (3.3)$$

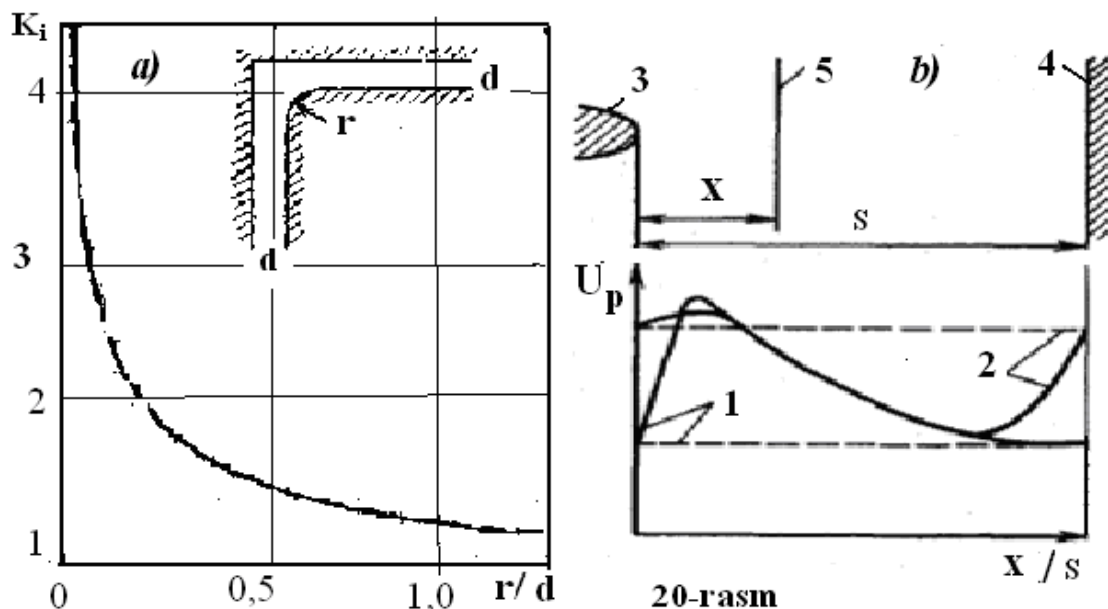
Elektr maydonni rostlash elektr maydonni nobirjinslik koeffitsiyenti K_i miqdorida ichki izolyatsiya qalinligi d ni kichraytirish imkonini beradi.

Elektr maydonni radiusli rostlash. Bir-biridan d masofada joylashgan to'g'ri burchakli elektrodlar orasidagi elektr maydonni ichki elektrodning qirrali burchagiga radiusi r bo'lgan aylana shaklini berib,

aylananing radiusi r ni kattalashtirish hisobiga roslanadi (20a-rasm). Elektrodlar orasidagi masofa d o'zgarmay radius $0.02 < r/d < 1.2$ oralig'ida kattalashtirilsa, unda maydonning nobirjinslilik koeffitsienti $4 < K_i < 1$ oralig'ida o'zgaradi.

Elektr maydonni moy-to'siqli rostlash. Dielektrik to'siqlar izolyatsiyalanuvchi elektrodlar oralig'ining elektr chidamliligini oshirish maqsadida qo'llaniladi (20b-rasm). Dielektrik to'siq toj razryadi beruvchi elektrod yaqiniga elektr maydoni kuch chiziqlariga perpendikulyar holda o'rnatiladi. Rasmda nayza shaklida 3 elektrodga manfiy ishorada kuchlanish U^- va tekislik shaklida 4 elektrodga musbat ishorada kuchlanish U^+ berilgan.

To'siq-moyli izolyatsiyasining elektr mustahkamligi to'siq 5 ning elektrodlar oralig'idagi turar joyiga bog'liqdir. Rasmdagi 1 grafikda tayoqchasimon elektrod 3 ga musbat ishorali kuchlanish berilgan holatda va tekis elektrod yerlangan holatdagi U_p teshib ketish kuchlanishning masofa x/L bo'ylab taqsimoti keltirilgan. 2 grafikda manfiy ishorali kuchlanish berilgan holatda U_p teshib ketish kuchlanishining masofa x/s ga bog'lanishi ko'rsatilgan. Punktir chiziq bilan to'siq yo'q holatidagi U_p teshib ketish kuchlanishi keltirilgan. Dielektrik to'siq 5 bilan yuqori kuchlanishli elektrod 3 oralig'i x elektrodlar oralig'i s ga $x=0.15 \div 0.2s$ olinsa, kattaroq elektr mustahkamlikka erishiladi.



20-rasm

Bunday to'siqli sharoitda nayzaga musbat ishorali kuchlanish berilgan holatda qurilmaning elektr chidamlilik E_r $2 \div 3$ marta oshsa, manfiy kuchlanishda elektr chidamligi E_r atigi $1.2 \div 1.3$ martaga ko'payadi.

Dielektrik sirtning zaryadlanish hisobiga kuchlanganlik E ning amaldagi taqsimoti rostlanadi. O'zgaruvchan tokda kuchlanganlik E ning ko'payishi kamroq bo'lsa, ammo impuls kuchlanishida E_r mutlaqo ko'paymaydi, chunki impuls ta'sir etuvchi vaqt davomida dielektrik sirt zaryadlanib ulgurmaydi.

Elektr maydonni kondensator ekranli rostlash. 110 kV va undan yuqori kuchlanishlarga mo'ljallangan kirma izolyator elektr maydonning eng katta kuchlanganligi E_{mak} o'qqa o'rnatilgan markaziy kirma elektrod 1 sirti bilan yerlangan biriktiruvchi elektrod 2 oralig'ida radius bo'ylab sodir bo'ladi (21-rasm). Markaziy kirma (вводный) mis elektrod 1 bilan yerlangan biriktiruvchi (установочный) elektrod 2 oralig'iga kondensator elektrodleri 5 o'rnatilib, bir oraliq birnecha ketma-ket oraliqlarga bo'linadi. Oraliqlarni chegaralovchi elektrodler orasidagi sig'im shunday olinadiki, natijada maydon rostlanadi. Kirma-ning tashqi va ichki konusimon izolyator pokrishkalari 4 yordamida markaziy elektrod 1 ni qo'zg'almas holda saqlab turiladi.

Kondensator ekranlari juda yupqa metaldan yoki metall zar varaq (folgi) laridan yasaladi va ular yordamchi elektrodler hisoblanib, bosh izolyatsiyaning asosiy elektrodleri orasiga joylashtiriladi. Natijada ketma-ket joylashgan kondensatorlar zanjiri hosil qilinadi. O'zgaruvchan tokda bu kondensatorlarining sig'imi izolyatsiyada kuchlanish taqsimotini belgilab tursa, bu ishni doimiy tokda ekranlar orasidagi izolyatsiya qarshiliga bajaradi.

Kondensator ekranlarining o'lchami, soni va o'zaro joylashuvini o'zgarish usuli bilan ketma-ket ulangan kondensatorlar sig'imini tanlab olish imkoni tug'iladi. Shunday qilib, izolyatsiyada kerakli kuchlanish taqsimotini ta'minlash mumkin. Kondensator ekranlari bosh ichki izolyatsiya ichida elektr maydonni radial yo'nalishda va o'q bo'lab yo'nalishda hamda elektrodler chetida rostlashlari mumkin.

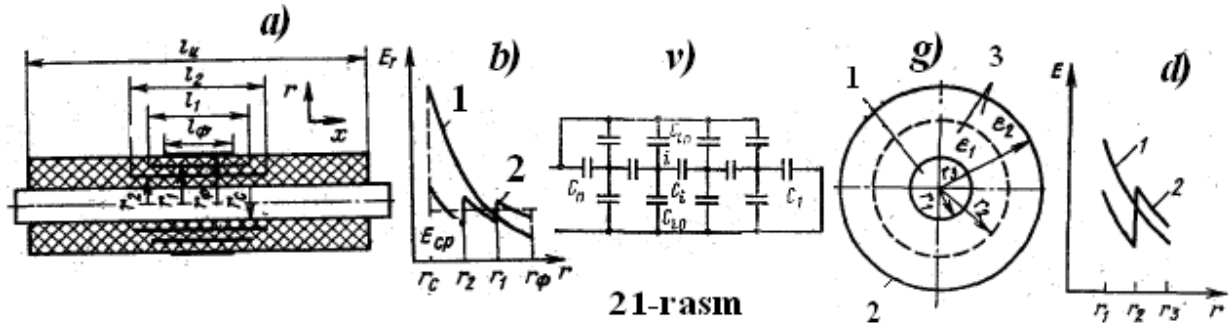
O'q simmetriyali konstruksiyada barcha kondensatorlardan o'tadigan radial elektr oqimi o'zgarmas deb olinadi va

$$2\pi r l \varepsilon_0 \varepsilon E_r = \text{const} \quad (3.5)$$

Bunda: E_r -kondensator ekrani qoshidagi radial kuchlanganlik; r -ekran radiusi va l -ekran uzunligi. Har bir kondensatorda maksimal kuchlanganlik teng deb olinsa, u holda ekran o'lchamlari quyidagi sodda tenglikdan topiladi:

$$rl = const \quad (3.6)$$

Kondensator ekranlarining soni ko'proq olib (21a-rasm), ekranlar oralig'i $2 \div 4\text{mm}$ bo'lsa, radial yo'nalishda kuchlanganlik miqdori o'rtacha kuchlanganlik E_{sr} yaqin o'zgarmas bo'lib qoladi va izolyatsiya diametrini sezilarli kichiklashtirish imkonini beradi.



21-rasm

21b-rasmda radial kuchlanganlikning radius bo'ylab o'zgarishi $E(r)$ kondensator ekransiz holatda 1 grafikda va 3 ta kondensator ekranli holatda 2 grafik berilgan.

Radial kuchlanganlik miqdori 3 ta kondensator ekranli holatda o'rtacha kuchlanganlik E_{sr} ga yaqinlashadi. Rasmda hisoblash uchun ekvivalent sxema ham keltirilgan (21v-rasm).

Elektr maydonni gradirlashni qo'llab rostlash. O'zgaruvchan tokda ishlaydigan qog'oz-moy va polietilen izolyatsiyasi elektr maydonini rostlash usullaridan biri gradirlashdir. Gradirlash izolyatsiya qalinligi bo'lab turli dielektrik singdruvchanlikka ega materildan foydalanish bilan bajariladi (21g-rasm). Ayniqsa kabel sanoatida gradirlash keng ko'lamda qullaniladi. Izolyatsiyadan foydalanishda uning ishonchliligi oshirish uchun izolyatsiya ichidagi maksimal kuchlanganlik ruxsat etilgan kuchlanganlikdan kattalashib ketmasligini ta'minlash kerakligidir, ya'ni $E_{max} \leq E_{rux}$ bo'lishi shart. Agar maksimal kuchlanganlikni elektr maydoni nobirjinslik koeffitsiyenti $K_i = E_{max}/E_0$ bilan aniqlasak va izolyatsiyadagi o'rtacha kuchlanganlik $E_0 = U/d$ ekanligini hisobga olsak, bunda U-ishchi kuchlanish va d-izolyatsiya qalinliga, u holda:

$$\frac{U}{d} K_i \leq E_{rux} \quad (3.7)$$

Bir tomirli kabelning tok o'tkazuvchi tomirining radiusi r_1 bo'lganda gradirlanmagan izolyatsiya bir turdagi dielektrikdan yasaladi va kuchlanganlik E izolyatsiya qalinligi bo'ylab taqsimoti 1 grafikda keltirilgan (21d-rasm). Gradirlangan izolyatsiyada kuchlanganlik E qalinligi bo'ylab taqsimoti 2 grafikda keltirilgan. Gradirlash natijasida izolyatsiyadagi kuchlanganlik ikki martagacha kamayadi.

Izolyatsiyani gradirlash. Qog'oz-moy izolyatsiyaning dielektrik singdruvchanligi elektirodlar oralig'ida o'zgaradi. Eng katta dielektrik singdruvchanlikka zichligi 1.2 g/sm va qalinligi 8 mkm qog'oz ega bo'lsa, eng kichik ε ga zichligi 0.85 g/sm va qalinligi 200mkm qog'oz ega. Odatda gradirlash ikki qatlamli bajariladi, birinchi qatlamga zichligi va dielektrik singdruvchanligi kattaroq qog'oz o'raladi. Ko'p qatlamli gradirlash katta kuchlanishli kabellar izolyatsiyasida olib boriladi. Jumladan, 500kV kabel 6 qatlamli qog'oz-moy izolyatsiyaga ega. Qog'oz-moy izolyatsiyali kabellar 1 MV kuchlanishga ham ishlab chiqarilgan. O'zgaruvchan tokda ishlovchi kabellarning gradirlash sharti quyidagicha:

$$\varepsilon_1 r_1 = \varepsilon_2 r_2 \quad (3.8)$$

Gradirlash usuli bilan ichki kuchlanganlikni kamaytirish polietilen izolyatsiyali kabellarda keng ko'lamda olib boriladi. Har bir qatlam polietileniga boshqa qatlamdan ajralib turuchi rang beriladi, masalan, qizil, sariq, ko'k va h.k.

Polietilen izolyatsiyani gradirlash. Polietilen izolyatsiyali kabellarining ishchi kuchlanishi 1,2 MV gacha ko'tarilgan. Polietilen kabellarining gradirlash qatlamlarini bir-biridan ko'z bilan ajratish uchun qatlamlarga turli ranglar berilgan, jumladan: ko'k, yashil, sariq, qizil va x.k.

Doimiy tokda ishlaydigan kabellar izolyatsiyasidagi kuchlanish taqsimoti mazkur izolyatsiyaning elektr o'tkazuvchanligi bilan belgilanadi. Bunday kabellarda gradirlash quyidagi shartga asosan bajariladi:

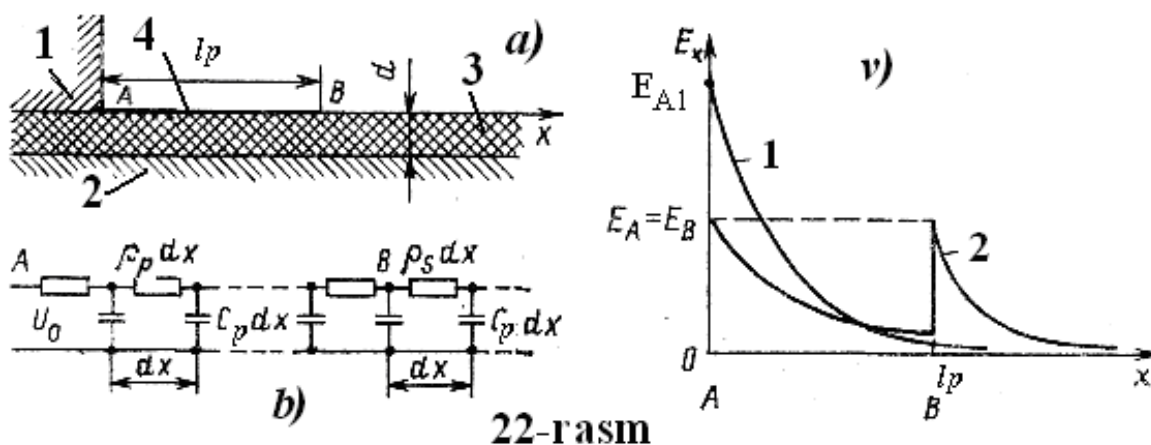
$$\gamma_1 r_1 = \gamma_2 r_2 \quad (3.9)$$

Bunda: γ va izolyatsiya qatlamining solishtirma elektr o'tkazuvchanliga.

Elektr maydonni yarim o'tkazgichli rostlash. Uchli elektrod yonida elektr maydonning keskin nobirjinsligi kamaytirish uchun yarim o'tkazgichli qoplamadan foydalaniladi (22a-rasm).

Bunday ichki izolyatsiya 3 ning tepasida uchli elektrod 1 va tagida tekis elektrod 2 joylashgan. Sirtiga yarim o'tkazgich qaplangan izolyatorning hisobiy ekvivalent sxemasi 22b-rasmda berilgan. Uchli elektrod 1 bilan izolyatsiya 3 ni birlashtirilgan A nuqtasida elektr maydonning eng katta notekis taqsimlanishi sodir bo'lib, katta kuchlanganlik E_{A1} hosil bo'ladi (22v-rasm 1 grafik). A nuqtadagi sirt kuchlanganligini kamaytirish uchun A nuqtadan boshlab izolyatsiya sirtiga l_p uzunlikda yarim o'tkazgich 4 yotkiziladi.

Qoplamaning solishtirma elektr qarshiligi $\rho_n \ll \rho_u$ miqdori tanlab olinadi, bunda qoplamasiz izolyatsiyaning sirt solishtirma elektr qarshiligi. Shuning uchun ham kuchlanganlikning tangensial, ya'ni izolyatsiya sirti bo'lab yo'nalgan, qismi E_A kamayadi. Qoplamaning oxirgi V nuqtasida elektr maydonning yangi eng katta nobirjinsligi E_V hosil bo'ladi.



22-rasm

Yarim o'tkazgichli qoplamadan o'tadigan sig'im toklari qopla bo'ylab kuchlanish kamayishini ta'minlab beradi. Natijada, yarim o'tkazgichli qoplama izolyatsiyaning A nuqtasidagi kuchlanganlik E_A qoplama oxiridagi B nuqta kuchlanganligi E_B teng bo'ladi, ya'ni $E_A = E_B$ ta'minlanadi. 22v-rasm 2 grafikdan ko'rinib turibiki, amalda $E_A < E_{A1}$. Yarim o'tkazgichli qoplamaning ρ_p va l_p o'lchamlarini to'g'ri tanlash natijasida E_A va E_B kuchlanganliklarini ruxsat etilgan miqdorga olib kelish imkoni tug'iladi.

22b-rasmda keltirilgan sxema yordamida yarim o'tkazgichli izolyatsiya kuchlanganligini aniq hisoblash mumkin. Izolyatsiya sirtida yarim o'tkazgichli qoplama yo'q holat uchun A nuqtadagi kuchlanganlik

$$E_{AO} = U_0 \sqrt{\omega \varepsilon \rho_s / d} \quad (3.10)$$

Bunda: U_0 -izolyatsiyaga berilgan tashqi kuchlanish; ω -aylanma chastota; ε -izolyatsiyaning elektr singdruvchanligi.

Solishtirma elektr qarshiligi ρ_{pp} bo'lgan yarim o'tkazgichli qoplama izolyatsiyaning A nuqtadagi kuchlanganligi taxminan

$$E_A = U_0 \sqrt{\omega \varepsilon \rho_{pp} / d} \quad (3.11)$$

(3.9) va (3.10) formulalarini solishtirilsa, yarim o'tkazgichli qoplama borligi izolyatsiyaning A nuqtasida kuchlanganlik E_A ni $\sqrt{\rho_s / \rho_{pp}}$ marta kamayishini ta'minlab beradi.

Yarim o'tkazgich qoplamaning chetidagi V tochkada kuchlanganlik

$$E_B = 2U_0 \sqrt{\omega \varepsilon \rho_s / d} \exp\left(-\sqrt{\omega \varepsilon \rho_{pp} / l_p}\right) \quad (3.12)$$

Solishtirma elektr qarshilik ρ_p ni tanlash sharti $E_A \geq E_{Arux}$ bo'lib, undan quyidagi formula kelib chiqadi:

$$\rho_{pp} \leq \frac{E_{Arux}}{\omega \varepsilon U_{hisob}^2} \quad (3.13)$$

Bunda: U_{xisb} - ishchi kuchlanishning hisobiy qiymati; E_{Arux} -A nuqtada ruxsat etilgan kuchlanganlik. Yarim o'tkazgichli qoplamaning solishtirma elektr qarshiligi ρ_p texnologik imkonga qarab $\rho_{pp} = 10^8 \div 10^9 \text{ Om} \cdot \text{m}$ oralig'ida olinadi. Yarim o'tkazgichli qoplamaning uzunligini tanlashda quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$l_p \geq \sqrt{\frac{2d}{\omega \varepsilon \rho_{pp}}} \ln \left(\frac{2U_{hisb}}{E_{Bdop}} \sqrt{\frac{\omega \varepsilon \rho_s}{d}} \right) \quad (3.14)$$

Bunda: E_{Brux} -B nuqtada ruxsat etilgan kuchlanganlik bo'lib, u qattiq izolyatsiya qalinligi d ga bog'liq.

Yarim o'tkazgichli qoplama katta quvvatli aylanuvchi elektr mashinalarning stator pazidan chiqqan tayoqchasimon elektr o'tkazgichlarning izolyatsiyasi sirtida qo'llaniladi, natijada chekka elektr maydonni rostlab beradi. Yarim o'tkazgichli qoplama kirma izolyatorlarda ham qo'llanishi kuzatilgan.

Yarim o'tkazgichli qoplama qo'llash usulining asosiy kamchiligi shundaki, olingan rostlash natijasi chastotaga bog'liq bo'lib qoladi. Shuning uchun ham rostlash natijasi ishchi kuchlanish bilan qisqa muddatli, ya'ni yuqori chastotali, o'ta kuchlanishda turlicha bo'ladi va talabga javob bermay qolishi ham mumkin.

Nazorat uchun savollar

1. Ichki izolyatsiyaning umumiy tavsifi.
2. Ichki izolyatsiyasining asosiy xossalari.
3. Ichki izolyatsiya dielektrikiga talablar.
4. Suyuq dielektriklar elektr mustahkamligi.
5. Qattiq dielektriklar elektr mustahkamligi.
6. Moyda qattiq dielektrikning elektr mustahkamligi.
7. Transformator moyining asosiy xossalari.
8. Qisilgan gazlarning elektr mustahkamligi.
9. Vakuumning elektr mustahkamligi.
10. Vakuum izolyatsiyaning afzalligi va kamchiligi.
11. Elektr maydonni rostlashning mohiyati.
12. Ichki izolyatsiyani gradirlash.
13. Kondensator ekranlari bilan maydonni rostlash.

IV bob. ISHCHI YUQORI KUCHLANISHLI IZOLYATSIYA

4.1. Elektr tarmoq tizimlari kuchlanishi va tarkibi

Temir yo‘l transporti elektr ta‘minoti distansiyalari hamda ishlab chiqarish korxonalarining elektr ta‘minoti tizimlarining nominal va ishchi yuqori kuchlanishlari 12-jadvalda keltirilgan.

Elektr ta‘minoti tizimlarining funksional qismlari:

1. Energetika tizimidan ta‘minlanuvchi qurilmalar - bosh pasaytiruvchi nimstansiya ГПП (главная понжающая подстанция); elektr energiya korxona qudrati va quvvatiga qarab 10 kV dan 220 kV gacha kuchlanishda energiya qabul qiladi va uni o‘ziga qulay bo‘lgan kuchlanish 10 kV, ba‘zan 6 kV, tortish tizimida 27,5kV kuchlanishga transformatsiya qiladi, ya‘ni o‘giradi; agar energiya bitta kuchlanishning o‘zida qabul qilinib, taqsimlanadigan bo‘lsa, unda GPP o‘rniga bosh taqsimlagich punkt ГРП (главный распределительный пункт) quriladi. U biron nimstansiyasidan ishlashi ham mumkin.

2. Yuqori kuchlanishli taqsimlovchi tarmoq; bunday tarmoqning nominal kuchlanish 6 kV, 10 kV, 27,5 kV bo‘ladi, gohida boshqa qiymatdagi nominal kuchlanish qo‘llashlik ham uchrab turadi, bu tarmoq tarkibiga yuqori kuchlanish taqsimlovchi qurilmalari kirishi mumkin.

3. Taqsimlovchi tarmoqqa ulanuvchi sex transformatorlari va o‘zgartgich nimstansiyalari.

4. Taqsimlovchi tarmoqqa ulanuvchi maxalliy aktiv va reaktiv quvvat manba‘lari: turg‘un va harakatchang elektr stansiyalar; zahiraviy, pikaviy va boshqa generator qurilmalari; yuqori kuchlanishlili kondensator batareyalari va boshqalar;

5. Kuchlanishi 380 V bo‘lgan past kuchlanishli tarmoq, unga kuchli iste‘molchilar, avtomatika, masofadan boshqaruv va СЦБ (сигнализация, централизация, блакировка) qurilmalari ulanadi.

6. Sex tarmog‘iga ulanuvchi mahalliy aktiv va reaktiv energiya manbalari: zahira dizel-generator qurilmalari, akkumulyator batareyalari, sinxron generatorli kompensatorlar va boshqalar.

12-jadval. Qurilmalarda nominal va ishchi kuchlanishlar.

Kuchlanish sinfi, kV	Eng katta ishchi kuchlanish, kV	Nominal kuchlanishi, kV	Uzoq muddatga ruxsat etilgan kuchlanish, kV
Turg'un qurilmalar:			
3	3,6	3,00	3,5
		3,15	3,5
		3,30	3,6
6	7,2	6,0	6,9
		6,6	7,2
10	12	10,0	11,5
		11,0	12,0
		13,8	15,2
15	17,5	15,0	17,5
		15,75	17,5
		18	19,8
20	24	20,0	23,0
		22,0	24,0
24	26,5	24,0	26,5
27	30,0	27,0	30,0
35	40,5	30,0	40,5
110	126,0	110,0	126,0
220	252,0	220,0	252,0
330	363,0	330,0	363,0
500	525,0	500,0	525,0
O'zgaruvchan tokli tortuvchi tarmoqlar:			
25,0	29,0	25,0	29,0
2x25	29,0	25,0	29,0

Elektr ta'minoti va energiya tizimi oralarida xizmat ko'rsatish chegarasi mavjud bo'lib, ta'minlovchi elektr uzatish yo'llarning bosh pasaytirgich nimstansiyasi yoki korxonaning asosiy taqsimlagich qurilma ulangan joyi chegara bo'ladi. U to'raligicha korxona bilan energiya tizim orasida «Iste'molchilarning elektr qurilmalardan texnik foydalanish qoidalarini» ПТЭ (Правила технической эксплуатации

электрoустановок потребителей) va «Iste'molchilarning elektr qurilmalaridan foydalanishda texnika xavfsizligi qoidalari» ПТБ (Правил техники безопасности при эксплуатации электрoустановок потребителей) [11]ga asosan tuzilgan shartnomada qayd etilishi shart.

Aktiv quvvatlarga extiyoj markazlangan elektr manba'lari tomonidan qoplansa, elektr energiya isroflarini tarmoqlarda kamaytirish uchun ishlatiladigan reaktiv quvvatlarga extiyoj esa maxalliy manba'lar tomonidan qoplanadi.

Ratsional quvvatni tanlash va manbalarni, asosan kondensator batareyalarini, har xil yerlarda joylashtirish temir yo'l elektr ta'minotini bajarishda katta texnik-iqtisodiy ahamiyatga ega.

Temir yo'l elektr ta'minoti qurilmalarini kommutatsiya, rezonans va atmosfera o'ta kuchlanishlari ta'siridan asrash uchun yashin qaytargich tizimlari, kuch reaktorlari hamda turli razryadniklar qo'llaniladi.

4.2. Havoda toj razryadi

Havoda toj razryadining hosil bo'lishi. Elektrodning havo oralig'idagi uchli qismlarida elektr maydon kuchlanganligi E o'rtacha kuchlanganlik E_0 dan birnecha marta kattalashib ketadi. Bu holat katoddan erkin elektronlarni chiqishiga olib keldi. Yuqori kuchlanishli maydon ta'sirida katodning uchli qismidan erkin elektronlarni havoga chiqishi va atrofdagi kichik hududda ionizatsiya jarayoni borishi toj razryadiga hosil bo'lishiga olib keladi. **Toj razryadi** keskin nobirjinslikka ega elektr maydonda hosil bo'ladigan mustaqil razryaddir.

Toj razryad boshlanish kuchlanganligi E_N [kV/sm] radiusi r ga teng sim uchun

$$E_N = 24.5m\delta \left[1 + \frac{0.65}{(\delta r)^{0.38}} \right] \quad (4.1)$$

Bunda: $\delta = \delta_1 / \delta_0$ gazning nisbiy zichligi hamda δ_0 normal sharoitda va δ_1 mazkur sharoitda havoning zichligidir. Cim sirtining notekislik koeffitsiyenti m bo'lib, simlarning harxil turlari uchun qiymati $m=0.82 \div 0.94$ oralisida olinadi [4].

Agar simning radiusi $r < 1\text{sm}$ bo'lsa toj razryadining boshlanish kuchlanganligi E_N quyidagicha olinadi:

$$E_N = 30.3m\delta \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta r}}\right) \quad (4.2)$$

Yerdan H balandlikdagi kontakt tarmog'i va havo elektr uzatish yo'llari simida **toj razryadi boshlanish kuchlanishi** U_N quyidagicha:

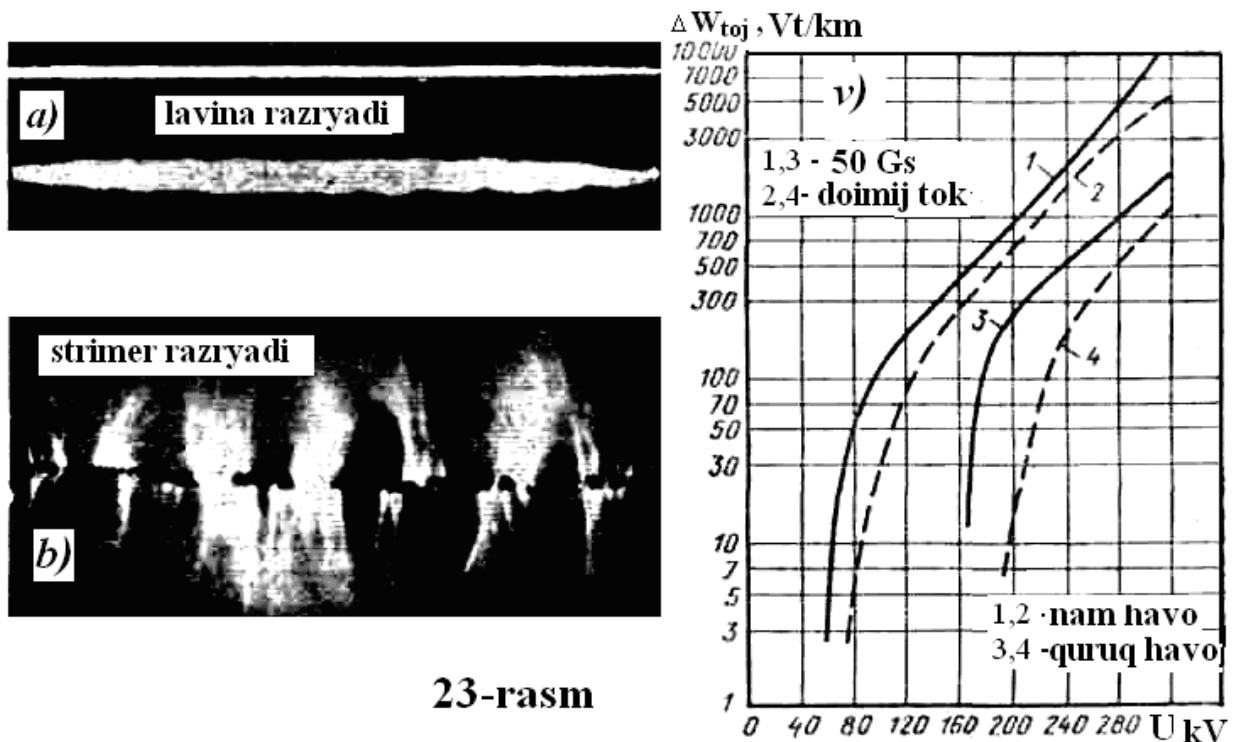
$$U_N = r E_N \ln \frac{2H}{r} \quad (4.3)$$

Toj razryadi natijasida sim atrofida ikki ishorali hajm zaryadli plazma hosil bo'lib, undan yerga zaryad tinimsiz oqib turadi. Simdan uzoqlashib borgan sari havodagi hajm zaryadi kamayaveradi. Toj razryadining yonib turish vaqti cheklanmagan. Ionlarni yerga qarab harakatlanishi natijasida elektr energiya sarfi bo'lib, simdan elektr energiya yo'qotuvishrofi ΔW_t kelib chiqishiga sabab bo'ladi. Simning diametri kattalashgan sari sim atrofidagi kuchlanishning kamayishi kichik diametrli simga nisbatan sekinlashadi. Sim atrofida ionlangan plazmadan tashkil topgan hudud paydo bo'lib, u atrofga oq nur toratuvchi sim g'ilofidek ko'rinadi. Bu lavina shakliga mansub toj razryadidir (23a-rasm). Kuchlanish oshgan sari hududining o'lchami nisbatan kattalashadi va muayyan qalinlikdan oshgach strimer razryadi shakliga, ya'ni sim atrofida taribsiz paydo bo'luvchi turli uzunlik va qalinlikdagi oppoq nurli yashin izlar to'plami ko'rinishiga o'tib ketishi kuzatilgan (23b-rasm).

Sim sirtida yoki elektrodning ignasimon uchida hosil bo'luvchi toj razryadining asosiy kursatgichlari quyidagilar: toj razryadining boshlanish kuchlanganligi E_N , kuchlanishi U_N , energiya israfi ΔW_t va elektromagnit, ya'ni radio, to'lqinli shavqining intensivligidan iborat. Bu kursatgichlarga ob - havo sharoitining o'zgarishi katta ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa havo namligi oshgan sari toj razryadining boshlanish kuchlanganligi E_N va kuchlanishi U_N tez sur'atda kamayadi, hamda energiya israfi energiya israfi ΔW_t va elektromagnit to'lqinli shavqin ko'payadi.

Toj razryadida energiya isrofi. Elektr uzatish yo'llarida toj razryadi energiya isrofi ΔW_t kuchlanish U turiga, miqdoriga va ishorasiga, faza simlarining diametriga va sim sirtining silliqqligi-tekisligiga bog'liq. Energiya isrofi ΔW_t miqdorining diametri 25 mm bo'lgan simlarga berilgan kuchlanish bilan bog'liq grafigi 23v-rasmda keltirilgan. Rasmda 50 Gs o'zgaruvchan tokli kuchlanishdagi toj razryadi isrofi 1 va 3

garafiklarda hamda doimiy tokli kuchlanishdagi toj razryadi isrofi 1 va 3 garafiklarda hamda doimiy tokli kuchlanishdagi isrofi 2 va 4 garafiklarda berilgan. Rasmdagi 1 va 2 grafik yengil yomg'ir yog'ib turgan sharoitida olingan bo'lib, 3 va 4 grafiklar ochiq va quruq havo sharoitida olingan. Bu grafiklar shuni ko'rsatadiki, havo namligini ko'paygan sari toj razryadi energiya isrofi ΔW_t ham ortib boradi. Masalan, kuchlanish $\tilde{U}=170$ kV bo'lsa, bulutsiz quruq havoda toj razryadi energiya isrofi $\Delta W_t=12$ Vt/km bo'lsa, yengil yomg'ir sharoitida toj razryad isrofi $\Delta W_t=450$ Vt/km, ya'ni 37,5 marta ko'proq bo'ladi. Kuchlanish ko'tarilgan sari toj razryadi energiya isrofi ΔW_t kuchlanishdan tezroq ortib boradi. Masalan, yengil yomg'ir vaqtida o'zgaruvchan tokli kuchlanish $\tilde{U}=35$ kV bo'lganda toj razryad isrofi $\Delta W_t=3$ Vt/km bo'lsa; $\tilde{U}=80$ kVda $\Delta W_t=60$ Vt/km; $\tilde{U}=110$ kVda $\Delta W_t=130$ Vt/km; kuchlanish $\tilde{U}=220$ kVda $\Delta W_t=1500$ Vt/km bo'ladi. Bulutsiz quruq havoda $\tilde{U}=110$ kV bo'lganda toj razryad isrofi $\Delta W_t=70$ Vt/km bo'lsa; kuchlanish $\tilde{U}=220$ kV da $\Delta W_t=700$ Vt/km bo'ladi.



23-rasm

Toj razryadi tinimsiz chiqib turgan yakka sim sirtida elektr maydonning kuchlanganligi toj razryadi tokining miqdoriga bog'liq emasligi aniqlangan. Sim atrofidagi elektr maydonni hisoblashda toj razryadli sim

sirtidagi zaryadni o'zgarma va miqdori $q = 2\pi\epsilon_0 r E_N$ teng deb qabul qilish mumkin.

Toj razryadining tovush to'liqlari. Havoda yuqori kuchlanishli simlardan toj razryadining strimer shaklida chiqishi natijasida tovush to'liqlari paydo bo'ladi. Tarqaluvchi tovush to'liqlarining chastotasi 20 Gs dan 20 kGs diapozoni oralig'ida bo'lib, ularni odatda akustik shavqin deyiladi. Tovush to'liqlari inson asabiga ta'sir sababsiz bezovtalanishga olib kelishi mumkin.

4.3. Havo elektr uzatish yo'llarining izolyatsiyasi

Havo elektr uzatish yo'llari afzalligi o'zining nihoyatda soddaligi bilan e'tibor qozongan va keng ko'lamda taqalgan. Darhaqiqat havo uzatish yo'llari simlar, ularni ko'tarib turuvchi yog'och, beton yoki metall konstruksiyali tayanchlar, hamda izolyatsiya girlyandasidan tuzilgan. Shuning uchun ham 110kV dan 500kV gacha kuchlanishli havo uzatish yo'llari aynan kuchlanish va quvvatga mo'ljallangan kabel uzatishlaridan ko'p marta arzonroq bo'lib, elektr uzatishda 95% ortig'ini havo uzatish yo'llari tashkil qiladi.

Havo elektr uzatish yo'lining izolyatorlari 24-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 181 bet). Rasmda: *a*)-farfor ПФ va *b*)-shisha ПС osma likobchasimon izolyatori bo'lib, ularda: 1-qalpoq (шапка); 2-ulagich metall dastak (пестик); 3-likobcha bilan qalpoqni mustahkam bog'lovchi qotma; 4-dastak bilan likobchani mustahkam bog'lovchi qotishma (сплав); 5-likobchasimon izolyator. 24v-rasmda osma izolyator girlyandasining birinchi ushlab turuvchi izolyatori va 24g-rasmda oxirgi izolyatorining tuzilishi ko'rsatilgan. Ularda: 1-osma zirak (сепро); 2-birinchi izolyator; 3-oxirgi izolyator; 4-ikki dastakli quloqlar (ушко); 5-simni boltli tortma biriktiruvchi egar (седло-натяжной зажим); 6-sim. 24d-rasmda osma izolyatorlar tortuvchi girlyandasi ko'rsatilgan.

Kuchlanishi 6÷10 kV havo elektr uzatish yo'llarining yuqori kuchlanishli simlarni tayanch ustunga o'rnatishda ishlatiladigan nayzaga tayangan ikki likobchali izolyatorning ko'rinishi 9d-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 180 bet). Unda: 1-birinchi va 2-ikkinchi likobcha izolyator; 3-metall qalpoq; 4-tayanchga biriktiriluvchi nayza; 5-likobcha bilan nayzani mustahkam bog'lovchi qotma. Bunday izolyatorlarning 6÷10 kV uzatish yo'llari uchun tanasi bir likobchalik va nayza;

6-likobcha bilan nayzani mustaxkam bog'lovchi qotma. Bunday izolyatorlarning 6yo10 kV uzatish yo'llari uchun tanasi bir likobchalik va 35 kV uchun tanasi bir-biriga mustahkam biriktirilgan bir necha likobcha izolyatorlik qilib bajariladi. Belgisi: masalan, ШФ-6 va ШС-6; Sh-nayza (штыревой) izolyator, Ф-farfor, С-shisha (стеклянный), nominal kuchlanishi $U_n=6$ kV.

Havo elektr uzatish yo'lining simlari uchun mis va po'lat ishlatilmay, alyuminiy qotishmalaridan tuzilgan АН va АЖ markali simlar ishlatiladi. 25-rasm simlarning tuzilishi va ulanishi keltirilgan (ilovaga qarang, 181 bet). Rasmda: a)-bir tomirli mis sim; b)-ko'p tomirli alyumin sim; v)-ko'p tomirli po'lat(qora)-alyumin(yashil) sim; g)-ichi g'ovak shina. Uzatish yo'li simini ulash usullari: d)-ikki simni birini ikkinchisiga o'rab ulash; e)-ikki simni diametri kichikroq 1,5mm yordamchi sim bilan o'rab (bandajli) ulash; j)-gilzalarni presslangan va sirtmoqda payvandlab bajarish; z)-boltlar bilan qisib ulash ko'rsatilgan.

Yashindan himoyalovchi trosslar maxsus po'latdan yasaladi. Oxirgi yillarda bu trosslardan yuqori chastotali aloqa kanallari sifatida ham foydalanilmoqda.

Bir tomirli sim bitta dumaloq kesimli bo'lib, ular ko'p tomirlidan arzon, ammo mexanik mustahkamligi va egiluvchanligi kichikroq. Ko'p tomirli bir xil metalli sim esa bir necha bir-biriga o'ralgan dumaloq kesimli sim tomirlaridan tuzilgan. Simning ko'ndalang kesimi oshirish uchun odatda tomirlar soni ko'paytiriladi. Ko'p tomirli ikki xil metalli sim eng ma'quli bo'lib, ichki po'lat o'zak simning mexanik mustahkamlikni oshirishga xizmat qilsa, tashqi alyuminiy qobiq zarur elektr o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi. Ko'p tomirli alyuminiy simi 35 kV gacha elektr uzatish yo'llarda ishlatiladi. Yuqoriroq kuchlanishli uzatishlar po'lat-alyuminiy ko'p tomirli simlar ishlatiladi. Belgilari: АС А-alyuminiy va С-po'lat (стальной), АСКС, АСКП va АСК, bunda К-korroziyaga chidamli degani. АС-120/19-bu alyuminiy-po'lat sim bo'lib, alyuminiy temirlar ko'n-dalang kesimi-120 mm² va po'lat temirlar ko'ndalang kesimi-19 mm² deganidir.

Simda toj razryadini kamaytirish tadbirlari. Toj razryadining toki va unda quvvat yo'qatilishi, asosan, simlarning diametri hamda sim sirtining egrilik radiusi va notekisligiga bog'liq. Ko'p tomirli ikki xil metalli simlarning diametri kattaroq bo'lgani uchun ham toj razryadining bashlanish kuchlanishi U_N kattaroqdir.

Toj razryadini kamaytirishning quyidagi usullari ma'lum: 1) sim diametrini kattalashtirish; 2) sim sirt notekisligini kamaytirish; 3) sim

sirtini yupqa dielektrik qobiq bilan qoplash; 4) simni ichi g'avak dumaloq kesimli shina shaklida bajarish; 5) har bir fazani ko'p tomirli bajarish (рашипленные провода), jumladan, oxirgi usulda har bir faza simining elektr toki o'tkazuvchi tomirlari uch burchak, to'rt burchak, 6, 8 va 12 burchak shakllarning qirralariga joylashtiriladi.

Ko'p tomirli faza tizimiga o'tish toj razryadini va radio to'lqinlarni kamaytirishga olib kelishi bilan birga elektr uzatish yo'lining quvvat o'tkazish imkonini kattalashtirdi. Ko'p tomirli fazaning ekvivalent radiusi r_e ko'p tomirlar joylashgan aylana radiusi r_p va tomir radiusi r_0 hamda faza tomirlari soni n quyidagicha bog'langan:

$$r_e = \sqrt[n]{nr_0r_p^{n-1}} = r_p \sqrt[n]{\frac{nr_0}{r_p}} \quad (4.4)$$

Masalan, $n=2$ bo'lganda $r_e \approx 0,35r_p$ ga hamda $n=8$ bo'lganda $r_e \approx 0,8r_p$ ga yaqin.

Ko'p tomirli faza elektr maydonini hisoblash uchun avvalo uzunligi teng tomonli uch burchak qirralariga joylashgan uchta teng R radiusli 1, 2, 3 aylana shaklidagi chiziqli zaryad olinadi, ya'ni $n=3$. Bu holda tomirlar joylashgan aylana radiusi $r_p = \Delta / \cos(\pi/6)$ ga teng. Uch burchakning ikki qirrasi pastda va bittasi yuqorida joylashgan. Aylanalarning musbat ishorali chiziqli zaryadi tomir sirt zaryadi ko'ndalang kesimidagi sirt zaryadga mosdir.

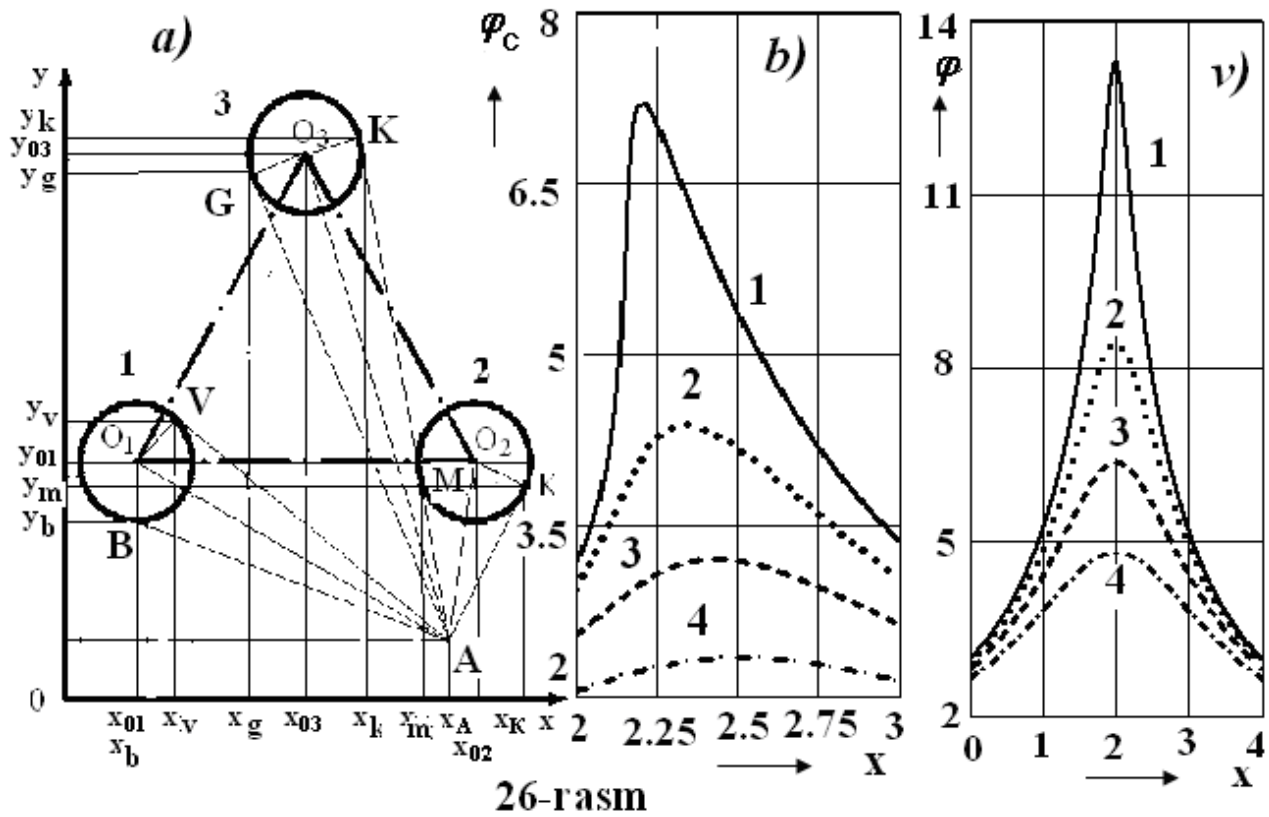
Aylana 1 markazi koordinatlari x_{01} va y_{01} (26a-rasm). Aylananing elementar yoyi dl dagi zaryad $d\tau = \tau dl = \tau R d\alpha$. Bu zaryad fazoning istalgan nuqtasi $A(x,y)$ da hosil qiladigan potensial **Puasson tenglamasining** quyidagi **umumiy yechimi** bilan aniqlanadi:

$$\varphi_1 = \int_0^{2\pi} \frac{\tau R d\alpha}{2\pi\epsilon\epsilon_0 S_B}, \quad (4.5)$$

bunda $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ elektr doimiyligi; ϵ - muhitning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi; S_{AB} - nuqta fazodagi $A(x,y)$ nuqta bilan zaryadli aylana 1 dagi $B(x_B, y_B)$ nuqta orasidagi masofa. S_{AB} vagi koeffitsiyent C quyidagicha:

$$S_{AB} = \sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2}; \quad C = \frac{\tau R}{2\pi\epsilon_0\epsilon U}. \quad (4.6)$$

Bunda $U = 35/\sqrt{3}$ kV, ya'ni 35kV chiziqi kuchlanishli elektr uzatish yo'lining faza kuchlanishidir.



1, 2, 3 zaryadli aylanalar elektr maydonining A nuqtada hosil qilgan potentsiali uchun Puasson tenglamasining yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\varphi = C \int_0^{2\pi} \sum_{i=1}^3 \left[\frac{1}{\sqrt{(x - (x_{0i} + R \cos(\alpha)))^2 + (y - (y_{0i} + R \sin(\alpha)))^2}} \right] d\alpha \quad (4.7)$$

Ma'lumki, zaryadli 1 aylananing A nuqtadan ko'rinadigan B, V nuqtalarning old tomonida joylashgan yoydagi faol zaryadgina A nuqtada potensial paydo qiladi va bu zaryadli yoy BV orqasidagi yoy nofaol zaryadiga soya tashlab-to'sib, ya'ni ekranlab qo'yadi. **Soya tashlash** hodisasini hisobga olingan o'lchovsiz parametrlil Puasson tenglamasining maydon potentsiali uchun umumiy yechimi quyidagicha:

$$\varphi_{c1} = C \int_{-b}^{+b} \left[\frac{1}{\sqrt{(x - (x_1 + R \cos \alpha))^2 + (y - (y_1 + R \sin \alpha))^2}} \right] d\alpha \quad (4.8)$$

$$b = \arg \left(\cos \left(\frac{R}{\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}} \right) \right), \quad x_1 = x_{01} + \sqrt{\left(\frac{R}{\cos \alpha} \right)^2 - y_{01}^2} \quad (4.9)$$

Uchta teng R radiusli va zaryadli 1, 2, 3 aylana markazlarining koordinatlari: $x_{01} = a$, $y_{01} = 0$, $x_{02} = a + \Delta$, $y_{02} = 0$, $x_{03} = a + \Delta/2$, $y_{03} = 0.75\Delta$. Uchchala zaryadli 1, 2, 3 aylana hosil qilgan elektr maydon potentsiallari φ_{C1} , φ_{C2} , φ_{C3} uchun soya tashlash hodisasini hisobga olingan o'lchovsiz parametrli φ_C **Puasson tenglamasining aniq analitik yechimi** quyidagicha:

$$\varphi_C = \sum_{i=1}^3 (\varphi_{C1} + \varphi_{C2} + \varphi_{C3}) \quad (4.10)$$

$$\varphi_{C2} = C \int_{-k}^{+k} \left[\frac{1}{\sqrt{(x - (x_2 + R \cos \alpha))^2 + (y - (y_2 + R \sin \alpha))^2}} \right] d\alpha \quad (4.12)$$

$$\varphi_{C3} = C \int_{-d}^{+d} \left[\frac{1}{\sqrt{(x - (x_3 + R \cos \alpha))^2 + (y - (y_3 + R \sin \alpha))^2}} \right] d\alpha \quad (4.13)$$

$$k = \arg \left(\cos \left(\frac{R}{\sqrt{(x-x_K)^2 + (y-y_K)^2}} \right) \right) \quad (4.14)$$

$$d = \arg \left(\cos \left(\frac{R}{\sqrt{(x-x_P)^2 + (y-y_P)^2}} \right) \right) \quad (4.15)$$

$$x_2 = x_{02} + \sqrt{\left(\frac{R}{\cos \alpha} \right)^2 - y_{02}^2}; \quad x_3 = x_{03} + \sqrt{\left(\frac{R}{\cos \alpha} \right)^2 - y_{03}^2} \quad (4.16)$$

Aylana 1 elektr zaryadining fazoning A nuqtasida hosil qilgan va Mathcad maydonida hisoblangan φ_1 potentsialning grafiklari 26b-rasmda va potentsialning nafaol zaryadni ekranlovchi soyaning ta'siri e'tiborga olingan grafiklari 26v-rasmda keltirilgan. Grafik 1 $y=0,99$ uchun bo'lsa, grafik 2 $y=0,9$ uchun, grafik 3 $y=0,75$ uchun hamda grafik 4 $y=0,5$ uchun hisoblangan. Natija shuni ko'rsatdiki, aylana zaryadining bir qismini ekranlovchi soya e'tiborga olinsa, potentsial miqdori ikki martadan ortiqqa kamroq chiqar ekan.

Hisoblar natijasida aylana zaryadi elektr maydonining kuchlanganligi E faza tomirlarining soni n oshgan sari kamayib borishi aniqlangan. Agar $n=1$ bo'lganda nisbiy birlikda kuchlanganlik $E=100\%$ bo'lsa, $n=2$ bo'lganda $E=65\%$, $n=3$ bo'lganda $E=63\%$ ga tushar ekan. Zaryad maydonining kuchlanganligi E toj razryadi boshlanish kuchlanganligi E_N teskari proporsiyada bo'lib, E kamaygan sari E_N ko'payib boradi. Bu esa toj razryadi toki va energiya isrofin kamaytirishga olib keladi.

4.4. Temir yo'l kontakt tarmog'i izolyatsiyasi

Temir yo'l transportini elektrlashtirish yuk va yo'lovchilarni tashish oqimini kattalashishga; elektr poyezdi tezligini hamda vagonlarining soni va poyezd massasini oshirishga; uning hisobiga mehnat unimdorligini oshirishga va harakat havfsizligini ta'minlashga imkon beradi. Ayniqsa temir yo'l profili katta ko'tarilish burchagiga ega bo'lgan hollarda elektr tortishning quvvati toplovoz tortish quvvatidan ancha yuqoriligi qo'l keladi. Teplovoz tortishidan **yuqori kuchlanishli elektr tortish** ancha arzonroq va foydalanishga qulayroqdir.

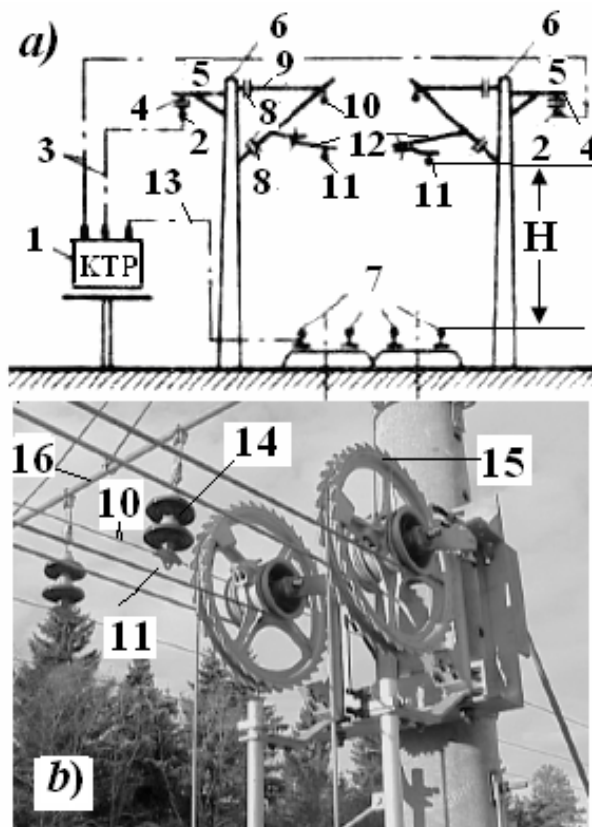
Elektrpoyezdlarning bugun va ertasi. G'ildirak juftligi bilan harakatlanuvchi yo'lovchi tashish poyezdi tezligi $90 \div 120$ km/soat bo'lsa, zamonoviy elektrpoyezdlarning tezligi undan ancha katta. jumladan: **tez yurar elektropoyezdlarda** tezlik $160 \div 250$ km/soatga yetgan. Germaniya-Fransiya-Ispaniya mamlakatlararo harakatlanuvchi juda tez yurar elektropoyezd tezligi $300 \div 350$ km/soatga yetgan bo'lib, kelajakda $400 \div 450$ km/soatga yetkazish mo'ljallanmoqda.

Xitoyning Shanxay shahri bilan uning Puding aeroporti orasida 2002 yildan beri kommersiya qatnovidagi g'ildiraksiz yuradigan magnit osmali super tezyurar poyezd Transrapid nominal tezligi 450 km/soat bo'lsada, foydali tezligi 430 km/soatga borgan.

Qit'alararo harakatlanishga mo'ljallangan va tovushdan ancha tezroq yuraoladigan elektr osmali sverx super tezyurar elektropoyezd yasash imkoni muallif tamonidan 2005 yili taklif qilingan [19,20]. Uning tezligi $5000 \div 8000$ km/soat va undan ortiq bo'lib, harakat xavfsizligi vakuumlangan, ya'ni havosi so'rib olingan, berk yo'lak ichidagina to'la ta'minlanadi. Vakuumlangan berk yo'lakda harakatlanuvchi poyezd uchun tovush tezligidan $5 \div 10$ marta kattaroq tezlikda harakatlanish muammosi ham bataraf etiladi.

G'ildirakli juda tez yurar poyezd, g'ildiraksiz magnit osmali super poyezd va elektr osmali sverx super poyezdlar juda katta quvvatli energetika tizimini talab qiladi.

Elektrovozlarda foydali ish koeffitsiyenti 95-98% bo'lgan zamonaviy elektr manbai bo'lmish **yoqilg'i elementlari** (топливные элементы) o'rnatilsa, yuqori kuchlanishli katta quvvatli elektr ta'minotiga va kontakt tarmog'iga ehtiyoj qolmaydi hamda yuqori kuchlanishli izolyatsiya muammosi o'z-o'zidan hal bo'ladi.



27-rasm

Kontakt tamoq izolyatorlari. O'zbekistonda elektrlashgan magistral temir yo'lda elektrovaz yoki elektrlashgan harakat tarkibi ЭПС (электрически подвижной состав) 27,5 kV kuchlanishga ega o'zgaruvchan tokli elektr energiyani kontakt tarmog'ining osma simidan (birinchi sim) hamda yerlangan relsdan iborat (ikkinchi simdan) oladi. Kontakt mis simlari va tutib turuvchi po'lat iborat zanjirli kontakt osma farfor izolyatorlar va armatura yordamida izolyatsiyalab, metall tayanchlarga mahkamlanadi (27a-rasm). Rasmda 1-uch fazali КТП комплект трансформатор нимстansiyasi; 2-ikki sim va rels deb atalubchi ДПП электр узатish yo'li; 3-ДППning ikki simi; 4-ДПП simlari osilagan izolyator; 5-

tutgich traversa; 6-kontakt tamog'ining tayanchlari. KTP ning uchinchi kirmasi sim 13 bilan relslar 7 ga ulangan. Yo'llar kesishgan joyda kontakt simi bilan rels orasidagi masofa $H \geq 6,5m$ bo'lsa, stansiya va peregonlarda $H \geq 5,75m$ olinadi, lekin $H < 6,5m$ bo'lishi shart.

Izolyator 8 biriktirilgan ikkinchi tayanch 9 ga tarmoq simi og'irligini ko'taradigan po'lat simli tros 10 osib qo'yilgan. Kontakt yakka simi 11 fiksator 12 yordamida rels oralig'ining kerak joyida ushlab turiladi. Yuk ko'targich tros 10 ga ko'p nuqtalarda osilgan kontakt simi 11 kontakt tarmog'ini tashkil qiladi. Kontakt tarmog'ini tarang totib turish uchun og'ir yukli baraban turidagi kompensatorlar 15 qo'llanilmoqda. Yerlangan tyanch tizim 16 ga tros 10 likobcha izolyator girlandasi 14 orqali osiladi (26b-rasm).

Kontakt tarmog'ida ko'p sonli turli izolyatorlardan foydalaniladi. Izolyatorni o'rnatish joyi va konstrksiyasiga qarab olita nimguruh izolyatorlarga ajratish mumkin:

-**osma izolyatorlar**, eng katta sonni tashkil qiladi, kuchlanishli doimiy tok uchun osma shoda-girlyadada 1 yo 2 likobcha izolyator o'rnatilsa, 27,5 kV o'zgaruvchan tok uchun osma-girlyadada 3 yo 4 likobcha izolyator o'rnatiladi;

-**tutgich (фиксатор) izolyatorlar**, turli qismlarni qo'zg'almas holda maxkam ushlab turadi;

-**chekka (консольные) izolyatorlari**, tutuvchi izolyator markasiga aynan bo'lib, izolyatsiyalangan chekka qismlarda foydalaniladi;

-**seksiya izolyatorlari** maxsus izolyator turi bo'lib, ularni izolyator deyish noo'rin, chunki ular kontakt tarmog'ini seksiyalash uchun mo'ljallangan izolyatsiyalovchi konstruksiyadir;

-**nayzabor (штыревые) izolyatorlar**, ulardan bo'ylama elektr ta'minoti simlarini kontakt tarmog'i tayanchlariga biriktirishda foydalaniladi;

-**tayanch izolyatorlar**, ayrgichlarda foydalaniladi.

Stansion izolyatorlar sifatida asosan tayoqcha tayanch izolyatorlardan, turli kirma izolyatorlardan va osma izolyatorlar girlyandasidan foydalaniladi.

Kontakt tarmog'i izolyatsiyasining yashin turg'unligini oshirish uchun amalda osma izolyatorlar soni ko'paytiriladi.

Kontakt tamog'ida qo'llanuvchi ba'zi izolyatorlarning asosiy tavsifi 13-jadvalda keltirilgan.

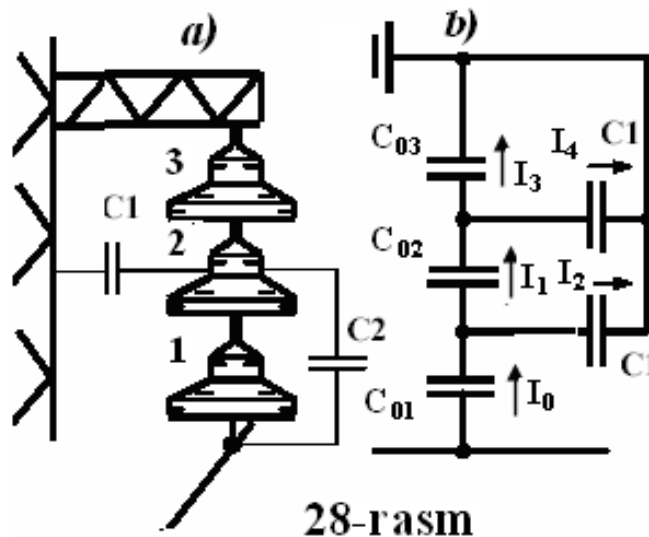
13-jadval. Turli osma kantakt tarmogʻi izolyatorlarinig tavsifi

Izolyator turi	H _C mm	D, mm	L _{razr} , mm	U _{sxr} кВ	U _{mkr} кВ	F, кN	
						tortish	bukish
Tayoqcha farfor izolyator							
БКЛ-60/7	544	120		140	100	80	2
ИКСУ-27,5	565	195		140	110	60	5,2
Nayzaga oʻtkaziluvchi farfor izolyator							
ШФ-10А	105	140	215	60	34	-	14
ШФ-10G	140	146	265	100	42	-	12,5
Nayzaga tayanuvchi shisha izolyatorr							
ШС-10А	110	150	210	60	34	-	14
Polimer izolyator, qovurgʻali, kremniy organik rezina qoplamali							
НСК-120/1.2	350	115	950	140	100	120	-
ФСК-70/0.9	540	150	950	140	100	70	4
ОСК-70/0.9	440	150	950	140	100	70	5
Shisha plastik izolyator, ftoroplast qoplamali							
ИСФТ-120/1.2	1514	14	1200	-	215	90	-
Likobcha farfor izolyator							
ПФ-70А	146	255	303	70	40	70	-
ПФГ-60В	125	270	375	70	40	60	-
Likobcha shisha izolyator							
ПС-70Д	146	255	303	-	40	70	-

Bunda: H_c -izolyator uzunligi; D-diametri; L_{razr} -razryad toki oʻtuvchi sirt boʻylab uzunlik; U_{sxr} -izolyatorning quruq razryad kuchlanishi; U_{mkr} -izolyatorning hoʻl razryad kuchlanishi; F-izolyatorga taʼsir qiluvchi tortish va bukish kuchlari.

Girlyandaga oʻrnatilgan birnecha likobcha izolyatorlar boʻylab kuchlanish taqsimoti notekas boʻlib, turli izolyatorlarga kuchlanishning turli ulushi toʻgʻri keladi. Simga yaqin izolyatorga kuchlanishning eng katta ulushi tushadi. Buning asosiy sababi izolyatorlar metall qismi bilan yerlangan metall tyanch orasidagi sigʻimlar C_{li} , izolyatorlar metall qismi

bilan yuqori kuchlanishli sim orasidagi sig'imler C_{2i} va izolyatorlarning o'z sig'imlari S_0 larning ta'siridandir (28a-rasm). Sig'imler $C_0 \approx 50n\Phi$; $C_1 \approx 5n\Phi$; $C_2 \approx 0,5n\Phi$ bo'lib, C_{2i} sig'imi kichkina bo'lgani uchun hisobga olmasak, sig'implarning ulash sxemasi 28b-rasmda berilgan. O'garuvchan kuchlanishda sig'implardan elektr toki o'tadi.



28-rasm

Sim yonidagi sig'im C_{01} dan o'tgan tok I_0 sig'im C_{02} dan o'tadigan tok I_1 va sig'im C_1 dan o'tadigan tok I_2 ga bo'linadi, hamda sig'im C_{02} dan o'tuvchi tok sig'im C_{01} dan o'tuvchi tokdan kichikroq bo'ladi, ya'ni $I_1 = I_0 - I_2$ ga tengdir. Shuning uchun C_{02} sig'imli izolyatordagi kuchlanish ulushi C_{01} sig'imli izolyatordagi kuchlanish ulushidan kichikroq bo'ladi, va C_{03} sig'imli izolyatordagi kuchlanish ulushi C_{02} sig'imli izolyatordagi kuchlanish ulushidan kichikroq bo'ladi, chunki uchinchi izolyatordan o'tuvchi tok $I_3 = I_1 - I_4$ ikkinchi izolyatordan o'tuvchi tok I_1 dan kichikroqdir. Shunday qilib, $I_0 > I_1 > I_3$ bo'lgani sababli $U_1 > U_2 > U$ tartibida girlanda izolyatorlari bo'ylab kuchlanish notekis taqsimlanadi.

Sig'im C_2 mavjudligi sababli girlyanda izolyatorlari bo'lab kuchlanish taqsimotidagi notekislik biroz to'g'rilansa ham, notekislik yo'qolmaydi. Girlyanda izolyatorlari bo'ylab kuchlanish taqsimotini tekislash uchun toroid, oval, sakkiz shaklidagi ekranlarni izolyatorlar girlandasining past qismiga birlashtiriladi va shu usul bilan C_2 sig'imni kattalashtirish hisobiga kuchlanish taqsimotini tekislanadi.

Kontakt tarmog'ida izolyatsiya nazorati foydalashish vaqtida asosan temir yo'l kontakt tarmog'ini piyoda yurib nazorat qilish va vagon-laboratoriya yurgan vaqtida ko'rikdan o'tkazish hisoblanadi. Farfor likobcha izolyatsiyaning holatining diagnostikasi masofadan nazorat

asboblari: issiqlik nurini ko‘rish asboblari-teplovizorlar, «Filan» turidagi elektron-optik defektoskoplar bilan olib boriladi.

Nazorat uchun savollar

1. Elektr tizimlarining ishchi kuchlanishlari.
2. Temir yo‘l transporti elektr ta’minoti funksional qismlari.
3. Eng katta ishchi kuchlanish nima?
4. Nominal kuchlanish nima?
5. Uzoq muddat ruxsat etilgan kuchlanish nima?
6. Yuqori kuchlanishning standart sinfi.
7. Toj razryadining fizik ma’nosi.
8. Havoda toj razryadi.
9. Lavina va strimer shaklidagi toj razryadi.
10. Toj razryadida energiya isrofi.
11. Toj razryadining tovush to‘lqinlari.
12. Toj razryadining radio to‘lqinlari.
13. Elektr uzatish havo yo‘llarida toj razryadini kamaytirish.
14. Elektr uzatish havo yo‘llari faza simini tarqoq ko‘p tomirli bajarish.
15. Kontakt tarmog‘i izolyatorini sinash.
16. Girlyanda izolyatori bo‘lab kuchlanish taqsimotini rostlash usuli.

V bob. IZOLYATSIYA UZOQ MUDDATLI ELEKTR CHIDAMLIGI

5.1. Ichki izolyatsiya eskirishi

Elektr izolyatsiyaning asosiy vazifasi elektr tokini kerak bo'lmagan yo'ldan o'tkazmaslikdir. Foydalanish davrida izolyatsiyaga ko'plab nojoiz omillar ta'sir etadi: silkitish, vibratsiya, harorat va bosim o'zgarishi, ifloslanish, namlanish, yemiruvchi gazli, tumanli, tuzli va changli havo; unlab yillar davomida tinimsiz ta'sir qiluvchi ishchi kuchlanish elektr maydoni; yashin, kommutatsiya, rezonans va uzoq muddatli o'takuchlanishlar; statik va elektrodinamik mexanik kuchlar va boshqalar. Vaqt o'tgan sari izolyatsiya dastlabki xossalarini yo'qata boradi, ya'ni izolyatsiya «qariydi» va eskiradi. Amalda ichki izolyatsiyaning eskirishi xavfliroqdir. Izolyatsiya eskirishi va paydo bo'lgan nosozliklari uning elektr chidamligini shunchalik kamayishiga olib keladika, izolyatsiya yashin va kommutatsiya o'takuchlanishlar u yoqda tursin, xatto nominal kuchlanishni ham ushlab tura olmay qolishi mumkin.

Ichki izolyatsiya eskirish turlari. Elektr qurilmalardan foydalanish davrida nominal yuqori kuchlanishning bir necha o'n yillab ta'siri bilan izolyatsiyaning dielektrik materialida qayta tiklanmas fizika - kimyoviy jarayonlar tinimsiz sodir bo'lib turadi. Vaqt o'tishi bilan izolyatsiyaning sifati borgan sari pasayib borveradi, ya'ni uning dielektik yo'qotishi ortadi, izolyatsiya qarshiligi kamayadi. Bu jarayon izolyatsiyaning tabiiy eskirishidir. Ba'zan izolyatsiyaning yomonlashishi xizmatchilarning yo'l qo'ygan xatolari sababli yoki avriya va tabiiy ofat ta'sirida sodir bo'lishi ham mumkin. Izolyatsiyaning eskirishi izolyatsiya elektr mustahkamligini pasaytiradi va undan foydalanish muddatini qisqartiradi, hamda izolyatsiyani elektr teshib ketish ehtimolini oshiradi. Izolyatsiya qurilmalarining ishlash davri odatda 20÷30 yil va undan ortiqroqdir. Izolyatsiya eskirishiga olib keluvchi asosiy omillar: undagi qismaniy razryadlar, izolyatsiyani qizib ketishi va uning namlanishidir.

Izolyatsiya eskirishining ikki guruhi: 1) elektrik, mexanik, isiqlik, optik, radiatsion va boshqa tashqi ta'sirlar energiyasi hisobiga izolyatsiyaning dielektrik materiali tarkibi va strukturasining o'zgarish jarayonlari; 2) izolyatsiyaga atrof muhit kirmalari: namlik, kislorod gazi,

chang - to'zon, ayniqsa Aralbo'yi hududlarida tuzli chang - to'zon, kabi omillar ta'siri bilan izolyatsiya eskirish jarayonining tezlashadi.

Ichki izolyatsiya eskirish turlari quyidagilardir: ichki izolyatsiya elektr eskirishi; ichki izolyatsiya qismaniy razryadlar ta'sirida eskirishi; ichki izolyatsiya issiqqlikdan eskirishi; ichki izolyatsiya kimyoviy eskirishi; ichki izolyatsiya mexanik yuklamadan eskirishi va boshqalar.

Izolyatsiya elektr eskirishi elektr qurilmaning ishchi yuqori kuchlanishi ta'sirida yoki elektr tarmog'idagi kommutatsiya va yashin o'ta kuchlanishlari ta'sirida sodir bo'ladi. Bunday kuchlanishlar izolyatsiya dielektrik materialida kuchli elektr maydoni hosil qiladi. Elektr eskirish asosiy xavfi izolyatsiya qisqa muddatli elektr mustahkamligini vaqt o'tishi bilan kamayib borishidadir. Izolyatsiya elektr teshish kuchlanishi U_v kuchlanish uzoq muddatli ko'payishi miqdorigacha yoki ishchi kuchlanish U_{rab} miqdorigacha kamaysa elektr teshib o'tish sodir bo'ladi.

Izolyatsiya uzoq muddatli elektr mustahkamligi izolyatsiyani ishchi kuchlanishdan kattaroq kuchlanish bilan sinash natijasida baholanadi. Izolyatsiya vaqti vaqti bilan profilaktik nazorat qilib turiladi. Bunday nazoratda izolyatsiya tangens yo'qotilish miqdori va qismaniy razryadlar yo'qligi aniqlab, qayd qilinadi.

Izolyatsiya isiqlikdan eskirishi. Uzoq muddatli qizish natijasida ichki izolyatsiya tavsifini yomonlashishi isiqlikdan eskirish jarayoni deb yuritiladi bunday holatda harorat ko'tarilishi sababli kimyoviy reaksiyalar tezlashadi. Isiqlikdan eskirish jarayoni natijasida materialning mexanik mustahkamligi kamayadi, bu izolyatsiyani buzilishi va teshib o'tishga olib kelishi mumkin. Suyuq dielektriklar isiqlikdan eskirishi ularning elektr o'tazuvchangligini oshirishi va dielektrik yo'qotishni kattalashuvi mumkin. Bu esa elektr yoki issiqlik teshib o'tishga olib kelishi mumkin. Ma'lumki, agar harorat 10°C ko'tarilsa, kimyoviy reaksiyani borish tezligi $2\div 4$ marta tezlashadi. Isiqlikdan eskiruvchi izolyatsiyadan foydalashish muddati undan foydalanish davridagi haroratiga bog'liq.

Izolyatsiya kimyoviy eskirishi izolyatsiyaga uzoq muddat doimiy tokli yuqori kuchlanish ta'sirida sodir bo'ladi. Izolyatsiya dielektrik materialidagi ionlar va zaryadlangan zarrachalar tashqi yuqori kuchlanishli elektr maydon ta'sirida elektrodlarga yaqin hududda yig'ilib qoladi: musbat ishorali zaryadlangan ionlar katod oldi hududida va manfiy ishorali zaryadlangan ionlar anod oldi hududida to'planadi. Bu holat dielektrik material kimyoviy eskirishiga, ya'ni uning izolyatsiyalovchi

xususiyatini yomonlashishiga, oxir oqibatda to'la teshib ketishiga olib kelishi mumkin.

Izolyatsiya mexanik eskirishi mexanik yuklamani qattiq izolyatsiyaga ta'siri tufayli sodir bo'ladi. Bu eskirishning tafsiloti shundaki, mexanik kuchlangan materialda hududiy mikrodefektlarning tartibli harakati vujudga keladi. Shuning hisobiga izolyatsiya materialida mikro-dazliklar paydo bo'ladi va o'lchami kattalashaveradi. Kuchli elektr maydon ta'sirida mikro-dazliklarda qisman razryadlar sodir bo'ladi va ular izolyatsiya parchalanishini tezlashtiradi.

Ichki izolyatsiya namlanishi elektr o'tazuvchangligini oshishi va dielektrik yo'qotishni kattalashuviga olib keladi. Namlik boshqa ifloslanish omillari bilan birga kuchsiz elektrolit hosil qilishi va dissotsiatsiya natijasida ionlarga ajralishi ham mumkin. Izolyatsiya namlanishi uni qizib ketishini va isiqlikdan eskirishini tezlatishi mumkin. Namlanish qayta tiklanuchi jarayon bo'lib, izolyatsiyani quritish natijasida namlik yo'qolishi mumkin. Katta gabaritli uskunalar izolyatsiyasini quritish uzoq muddatga uskuna ishini to'xtatishni talab qiladi. Ko'p hollarda izolyatsiyadan namlikni chiqarib olish qiyin yoki iloji yo'q, masalan, kirma izolyatorlar va kabellar qog'oz-moy izolyatsiyasidan. Namlanishni kamaytirish uchun izolyatsion konstruksiyasi germetizatsiyalanadi hamda havo quritgichlari, egiluvchan diafragmalar va boshqa usullar qo'llanadi.

5.2. Ichki izolyatsiyada qisman razryadlar

Qisman razryad. Ichki izolyatsiyada qisman razryad mavjudligi izolyatsiyaning elektr eskirishining asosiy sababidir. Qisman razryad (chastichno'y razryad) ishchi kuchlanish ta'sirida dielektrik materialning elektr maydon kuchlanganligi kattalashgan **mikrodefektlarda**, ya'ni nosoz mikrohududlarida: izolyatsiya materiali hajmidagi **gazli mikro-pufaklarda**, mikrodarzlarda paydo bo'ladi. Bu izolyatsiya hajmining hududiy nobijinsligidir. Izolyatsiya hajmidan minglab marta kichik o'lchamli gaz kirmalarda izolyatsiya materiali elektr singdruchanligini gaz elektr singdruchanligiga nisbati qancha marta katta bo'lsa, elektr maydon kuchlanganligi shuncha marta kattalashadi, ya'ni kuchlanganliklar nisbati $E_{uzmam}/E_{ca3} = \epsilon/\epsilon_{ca3} = 3 \div 8$ marta kattalashib ketadi. Bunday mikrohududdagi qisman razryad kuchlanishi U_{chr} va I_{chr} tokining juda kichik energiyasi materialga juda kichik parchalovchi ta'sir

ko'rsatadi. Bunday kichik parchalovchi ta'sirni uzoq muddat davomida tinimsiz qaytarib turilishi izolyatsiyani asta sekin parchalanishiga va oxir oqibatda to'la elektr teshilishiga olib kelishi mumkin. Izolyatsiyada qimiy razryadlar sababli parchalanish tezligi qisman razryadlarning qaytarilish chastotasi va har bir razryadda tarqaluvchi energiyaning miqdoriga bog'liq. Agar elektr qurilmaning ishchi kuchlanishi U_{chr} dan kichik bo'lgan holdagina izolyatsiyada qisman razryad sodir bo'lmaydi va izolyatsiya cheklanmagan uzoq muddat davomida benuqson ishlashi mumkin.

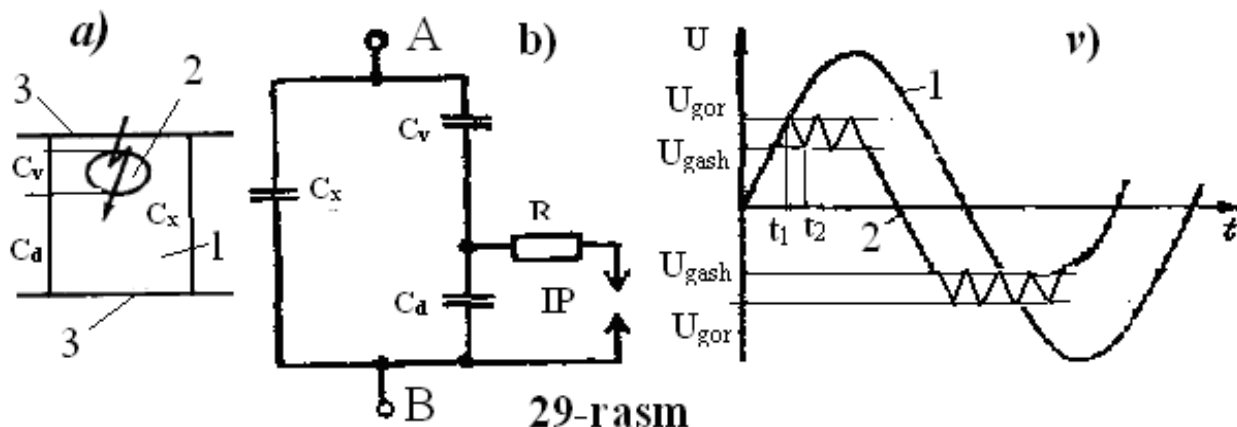
Qisman razryad tavsifi mikodefektlar o'lchami va soni bilan yaxshi muvofiqlashadi va **izolyatsiya defektlanish darajasini** haqida ma'lumot beradi. Gazli mikrohudud o'lchami o'nlab mikrometr bo'lganda va ichidagi gaz bosimi atmosfera havosi bosimiga yaqin bo'lsa, u holda mikrohudud gazining elektr teshilish kuchlanishi Pashen grafigining minimumiga, ya'ni $250 \div 300$ V ga yaqin bo'ladi. Mikrohudud qisman razryadlari ta'sirida dielektrikni parchalanishi quyidagi omillar bilan belgilanadi: gazdagi zarb to'lqini; ajrab chiqqan issiqlik; zaryadlangan zarrachalar urilish zarbi; kimyoviy faol razryad chiqindilari (ozon, azot oksidlari); nurlanish; sirtidagi treking ta'siri.

Qisman razryad hosil qiluvchi zaryad q_{chr} miqdoriga qarab qisman razryadlar ikki turga ajratiladi: 1) **boshlang'ich zaryad** $q_{qm} = 10^{-12} \div 10^{-11}$ Kl, u xali xavfsiz va ruxsat etilgan qisman razryad; 2) **chegaraviy zaryad** $q_{qrch} = 10^{-10} \div 10^{-8}$ Kl, uning paydo bo'lishi izolyatsiya ishlash muddatini keskin qisqartiradigan xavfli.

Ichki izolyatsiya hajmi 1 ning gazli mikrokirishma C_v juda kichkina mikrohududni 2 egallaydi va elektrodlar 3 orasida joylashadi. (29a-rasm). Ichki izolyatsiyaning gazli mikrokirishmasida kuchlanishning o'zgarishi qisman razryad yo'q holida 1 grafikda va qisman razryad bor holida 2 grafikda ko'rsatilgan (29v-rasm). Ichki izolyatsiyaning gazli mikroki-rishmasida kuchlanish o'zgarishini hisoblash sxemasi 29b-rasmda keltirilgan.

Bu sxemada qisman razryad yonish kuchlanishi U_{gor} hamda qisman razryad o'chish kuchlanishi U_{gash} , va gazli kirishmada qisman razryadni yonish U_{gor} kuchlanishi sodir bo'lgan vaqt t_1 va qisman razryadni o'chish U_{gash} kuchlanishi sodir bo'lgan vaqt t_2 dir (29v-rasm). 29b-rasmdagi hisob sxemada: C_x -gazli mikrokirishmasi yo'q hududning sig'imi; C_d -gazli mikrokirishmasi bor hududning gazli mikrokirishma C_v ga kema-ket ulangan qismining sig'imi; C_v -gazli mikrokirishmaning sig'imi; IP-

gazli kirishmasini teshib o'tish razryadnigi; R-razryad kanalining energiya sarflovchi qarshiligi.



29-rasm

Agar izolyatsiyaga $u=U_0\sin(\omega t)$ o'zgaruvchan kuchlanish ta'sir etsa, gaz kirmasidagi kuchlanish u_v quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$u_v = U_0 \frac{C_d}{C_d - C_v} \sin \omega t \quad (5.1)$$

Kuchlanish yarim davrda qismani razryadlar soni n quyidagicha

$$n = 2 \frac{U_{max} - U_{gor}}{U_{gor} - U_{gash}} \quad (5.2)$$

U holda vaqt birligida qismani razryadlar soni n_1 quyidagicha

$$n_1 = 2nf = 4f \frac{U_{max} - U_{gor}}{U_{gor} - U_{gash}} \quad (5.3)$$

Har **bir qismani razryad energiyasi** W_{qr} ni to'plangan va qismani razryaddan so'ng qolgan energiyaga qarab quyidagicha hisoblanadi

$$W_{qr} = 0,5C_v(U_{gor}^2 - U_{gash}^2) \quad (5.4)$$

Qismani razryad o'rtacha quvvati P_{chr} quyidagicha hisoblanadi

$$P_{qr} = n_1 W_{qr} \quad (5.5)$$

Shunday qilib, vaqt birligida sodir bo'ladigan qismaniy razryadlarning minimal soni $4f$ ga teng bo'lib, chastota $f=50$ Gs bo'lganda har 1 sekundda kutiladigan **qismaniy razryadlar chastotasi** minimal soni 200 taga tengdir. Qismaniy razryad quvvati 10^{-6} Vt.

Qismaniy razryadlarga qarshi kurashning samarali usuli bu izolyatsiyaga moy shimdirishning sifatini oshirishdir. Bunda qismaniy razryad paydo bo'lishi kutiladigan mikohududning dielektrik singdruvchanli ko'payadi, kuchlanganlik kamayadi va elektr chidamligi ortadi.

5.3. Izolyatsiyani profilaktik sinash va nazorat qilish

Yuqori kuchlanishli izolyatsiyaning uzoq muddatli foydalanishga chidamligini ta'minlash uchun uni vaqti-vaqti bilan profilaktik sinov qilib turish kerak. **Profilaktik sinash** bu reja bo'yicha bajariluvchi tadbirlar kompleksi blib, foydalanishda paydo bo'lgan nasozlik-defektlar aniqlanadi. Buzilishi yaqinlashgan izolyatsiyani o'z vaqtida olmashtirish yoki yengilroq foydalanish tartibiga o'tkazib qo'yish avariyaning oldini olish imkonini beradi.

Elektr uskunalari izolyatsiyasini tiklash ta'mirining davriyligi foydalanishdagi tajribaga qarab belgilanadi. Izolyatsiya ta'mirining hajmi va texnologiyasi izolyatsiyada paydo bo'lgan nasozlikka bog'liq.

Profilaktik sinashning maqsadi rivojlanib borayotgan izolyatsiya nasozligini o'z vaqtida aniqlash va foydalanish jarayonida izolyatsiyani buzulishiga yo'l qo'ymaslikdir. Profilaktik sinashning vazifasi: izolyatsiya ishlashiga normal sharoit berish; izolyatsiyadagi nasozlik-defektni o'z vaqtida aniqlash va bartaraf qilish; izolyatsiyada nasozlik-defekt paydo bo'lishining fizik xosligi va sababini aniqlash; profilaktikaning samarali usullarini ishlab chiqishdir. Profilaktik sinash izolyatsiyaning dielektrik xossasini tavsiflovchi parametrlarini nazorat o'lchashlar bilan birga olib boriladi.

Profilaktik sinovlar ikki turga bo'linadi: izolyatsiyani buzmay sinash va izolyatsiyani nominaldan kattaros kuchlanish bilan sinash. Ba'zi elektr qurilmalar va foydalanish sharoitlari uchun maxsus sinov usullari qo'llaniladi: kontakt tarmog'i izolyatsiyasini kuchlanish impulslari bilan sinash; elektr kabellarni sinash; girlyanda izolyatorlarida kuchlanish taqsimotini nazorat qilish.

Izolyatsiyani buzmay sinash usullariga quyidagilar kiradi:

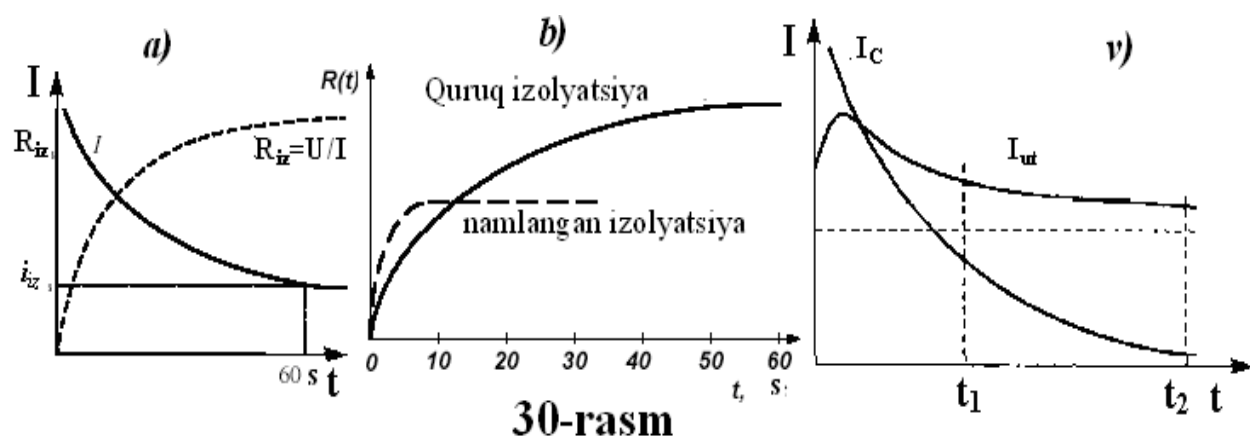
- izolyatsiya qarshiligi nazorati;
- izolyatsiya namligi nazorati;

- sizish toki nazorati (ток утечки);
- sizish toki (ток утечки) grafigi shaklini buzilishiga asoslangan nazorat;
- dielektrik yo'qotish tangens burchagining nazorati;
- qismaniy razryadlar nazorati;
- zaryad tokining tushish tezligi o'lchash nazorati;

Izolyatsiya qarshiligi nazorati izolyatsiyada elektr o'tkazuvchi yo'l borligini va teshilish qoldiqlarini aniqlash uchun bajariladi. Ta'mir zavodlari va lokomotiv depolarida tortuvchi dvigatel izolyatsiyasi holatini izolyatsiya qarshiligi R_{iz} bilan baholanadi. Bu sodda va keng tarqalgan elektr uskuna va kabelni nazorat silish usulidir. Har qanday izolyatsiya juda katta bo'lsa ham chegarali miqdordagi qarshilikka ega. Izolyatsiyaga kuchlanish berilsa, undan sig'im va absorbsiya toki bilan uning elektr o'tkazuvchanligi hosil qilgan sizish toki o'tadi. Izolyatsiyaning nosozligi-defekti ko'paysa, sizish toki kattalashadi. Mazkur nazorat shunga asoslangan.

Izolyatsiya qarshiligi elektromexanik, elektron va sifrlı megometrlar bilan o'lchanadi. Amalda qo'l yuritgichli va ichki generatorli avtonom 500 V kuchlanishli M-110; 1000 V kuchlanishli MOM-5; 2,5 kV kuchlanishli MC-6 va elektron ЭСА210 megaommetri ishlatiladi. Ф4101 megaommetri 50000 MOm gacha qarshilikni o'lchay oladi.

Izolyatsiya qarshiligi $R_{iz}=U/I$. Izolyatsiyadan o'tuvchi tokning vaqtga bog'liq grafiglari 30a-rasmda keltirilgan.



30-rasm

Tajriba shuni ko'rsatdiki, doimiy kuchlanishda 60s dan, ya'ni bir daqiqadan, kichikroq vaqtdan so'ng izolyatsiyadan o'tuvchi tokning turg'un qiymati shakllanadi, ya'ni izolyatsiya qarshiligi R_{iz} turg'un qiymatiga keladi. Odatda R_{iz} ni baholash oldingi o'lchovlar yoki zavod malumoti bilan solishtirish usulida olib boriladi. R_{iz} ning keskin kamayishi izolyatsiya nosozligini ko'rsatadi.

Osma va tayanch izolyatorlarni sinashda 2,5 kV megommetrlar ishlatiladi. Elektr qurilma izolyatsiyasi qarshiligi foydalanishdan oldin va foydalanish vaqtida davriy nazort qilinadi.

ПУЭ [11] hamda ПТЭ va ПТБ [10] ga muvofiq qurilma izolyatsiyasi ishchi kuchlanishda sinaladi. Izolyatsiya qarshiligining miqdori quyidagicha aniqlanadi:

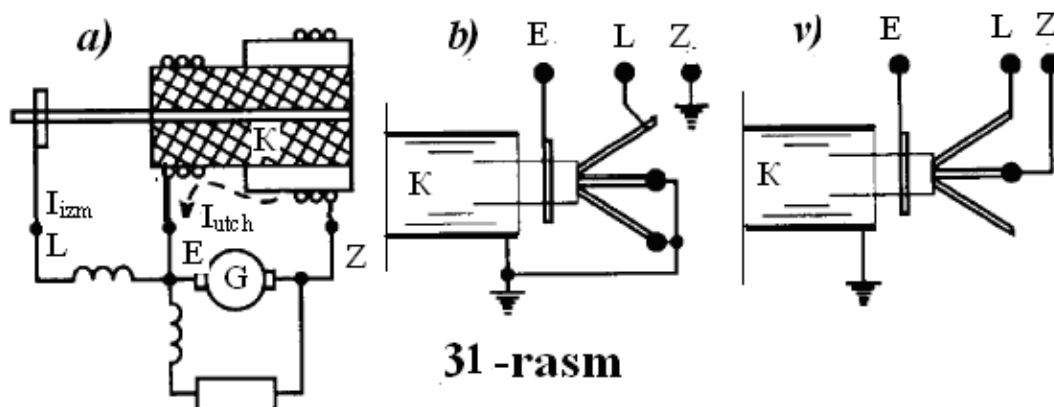
$$R_{iz} = \frac{U}{1000 + P/100} \quad \text{MOm,} \quad (5.6)$$

Bunda: U-nominal kuchlanish, V; P-nominal quvvat, kVt. ПТЭ talabi bilan elektr dvigatellar chulgʻamlaring qarshiligi har 1 kV ga 1 MOm dan kam boʻlmasin.

Izolyatsiya qarshiligini vaqtga bogʻliq grafigi izolyatsiyaning namlanganligini koʻrsatadi (30b-rasm).

Koʻpincha izolyatsiya qarshiligi izolyatsiya holatini aniq aytolmaydi, chunki koʻp parametrlar hisobga olinmagan. Bu faqat nazorat sinovidir.

Kabel qarshiligi nazorati. Kabel K izolyatsiyasining qarshiligini megommetr bilan oʻlchash sxemasi 31-rasmda keltirilgan. Rasmda: a)-izolyatsiya boʻylab hajmiy va sirt toki yoʻlining izolyatsiya nazorati; b)-tokli tomir bilan yer oʻrtasidagi izolyatsiya nazorati; v)-fazalar orasidagi izolyatsiya nazorati. Oʻlchashdan avval megommetr tekshiriladi: L va Z klemmalari tutashtirilganda asbob 0 va ajratilganda cheksiz kʻyrsatishi kerak. L klemmaga ulangan yuqori kuchlanishli sim koʻrinib turishi shart.



Izolyatsiya namligi nazorati quyidagi usullarda olib boriladi [1, 2, 3]:

- Absorbsiya koefitsiyenti usulida;
- «Sigʻim-harorat» usulida;
- “Sigʻim-chastota” usulida;

- “Sig‘im-vaqt” usulida;
- Izolyatsiya sig‘imi nazorati;
- Dielektrik yo‘qotish burchagi tangensi nazorati.

Qismaniy razryadni aniqlash usullari. Bu profilaktik sinash usulidan izolyatsiya sifatini baholash va boshqa usullar bilan topib bo‘lmaydigan buzilgan-defektlilik mikrohududlarni aniqlashda foydalaniladi.

Defektlilik mikrohudud C_V (28a-rasm) qog‘oz-mayli izolyatsiyada qog‘oz varaqlari orasida moy bilan to‘lmay qolgan yoki yangi paydo bo‘lgan gazli puffakcha bo‘lib, uning elektr maydon kuchlanganligining yo‘nalishiga tik balandligi birnecha mikron yo kattaroq, ko‘ndalang eni birnecha mm yo undan ortiq va kam bo‘lishi mumkin. Gazli mikrohudud

nisbiy dielektrik singdiruvanligi ϵ_{mx} asosiy qog‘oz-moy izolyatsiya singdiruvanligidan ϵ_{iz} 2÷3 marta kamroq bo‘lgani sababli mikro-hudud-dagi elektr kuchlanganlik E_{max} izolyatsiyadagi o‘rtacha kuchlanganlik E_0 dan shuncha marta kattaroq bo‘ladi, ya’ni $E_{mx} / E_u = \epsilon_u / \epsilon_{mx} = 2 \div 3$. Izolyatsiyaga ishchi kuchlanish berilganda mikrohududning katod tomondagi sirtida musbat va anod tomondagi sirtida manfiy ishorali zaryad to‘planaveradi hamda sig‘im C_V da kuchlanish ko‘payaveradi.. Zaryad zichligi ma’lum chegarviy miqdordan oshgach mikrohududda qisqa vaqtli ($t \approx 10^{-8}$ c) ichki elektr razryadlanish, ya’ni sig‘im C_V da elektr razryadi, sodir bo‘ladi. Bu izolyatsiyadagi qismaniy razryaddir. Sig‘im C_V dagi kuchlanish razryad yonish U_{gor} miqdoridan razryad o‘chish U_{gash} miqdoriga tushgach, mikrohududdagi razryad o‘chadi (28v-rasm).

Radio to‘lqin usuli. Qismaniy razryad atrofga elektromagnit radio to‘lqini tarqatadi va qismaniy razryadni topishda radio to‘lqin indikatori, ya’ni radio to‘lqinli defektoskopidan foydalaniladi. Bu usul ko‘pincha havo elektr uzatish yo‘llaridagi defektlilik izolyatorni qidirib topishda qo‘llaniladi. Bu usulning asosiy kamchiligi: simlardan toj razryadi chiqargan radio to‘lqini intensivligi izolyatordan chiqqan qismaniy razryad to‘lqini intensivligidan kattaroq bo‘lgani sababli qismaniy razryad to‘lqinini umumiy radio shavqindan ajratib ololmaslikdadir.

Tovush to‘lqini usuli. Qismaniy razryad atrofga tovush to‘lqini ham tarqatadi va qismaniy razryadni topishda tovush to‘lqin indikatori, ya’ni tovush to‘lqinli defektoskopidan foydalanish mumkin. Tovush to‘lqin indikatori havo elektr uzatish yo‘llaridagi izolyatorga yo‘naltirilgan to‘lqin yig‘uvchi karnaklarning ingichka tomoniga o‘ratiladi.

Zarb to‘lqini usuli. Qismaniy razryad izolyatsiya bo‘ylab zarb to‘lqini imrullarini tarqatadi. Zarb to‘qini qattiq dielektrik va suyuq moylar ichida yaxshi tarqaladi. Kuch transformatorining yuqori kuchlanishli izolyatsiyasidagi qismaniy razryad chiqargan zarb to‘lqini impulslari transformator moyidan bemalol o‘tadi va transformator baki ichidagi yer potensialiga yaqin past potensialdagi tenzodatchiklar yoki pyezodat-chiklar yordamida registratsiya qilinadi. Bunday usul bilan qismaniy razryad intensivligini, qismaniy razryadda ajragan elektr quvvatni, qismaniy razryad marohududlar sonini va marohududlarning izolyatsiya hajmida tarqoqligini aniqlash mumkin.

Dielektrik yo‘qotish burchagi usuli. Bu usul dielektrik yo‘qotish burchagi tangensining dielektrikka berilgan kuchlanishga bog‘lik funk-siyasi grafigida absissaga (U o‘qiga) parallel chiziqning keskin yuqoriga ko‘tarilib ketish nuqtasini aniqlashga asoslangan. Bu nuqta izolyator hajmida qismaniy razryad paydo bo‘lishini ko‘rsatadi.

5.4. Izolyatsiyani nominaldan kattaroq kuchlanishda sinash

Bunday sinash usuliga quyidagilar kiradi:

- izolyatsiyani nominaldan kattaroq o‘zgaruvchan kuchlanishda sinash;
- izolyatsiyani nominaldan kattaroq doimiy kuchlanishda sinash;
- izolyatsiyani nominaldan kattaroq impulsli kuchlanishda sinash.

Izolyatsiyadan foydalanish sharoitida buzmay profilaktik sinash usul-larini qo‘llash yaxshiroq. Ular ishchi kuchlanish amplitudasidan kichik-roq kuchlanishda o‘tkaziladi. Bunda «eskirgan» izolyatsiyani elektr urib ketishining oldi olinadi.

Izolyatsiyani nazorati ikki guruhga bo‘linadi: elektr usullari hamda noelektr usullari: transformator moyi gazlarini xromatografik taxlili; ultratovush, issiqlik, optikoelektron, rentgenografiya usullari.

Izolyatsiyani nominaldan kattaroq kuchlanishda sinash boshqa usulda topib bo‘lmaydigan nosazlik-defektlarini topish imkonini beradi. Bu usul izolyatsiya o‘takuchlanishni ushlay olishi imkonini ko‘rsatadigan bevosita usul bo‘lib, izolyatsiya sifatiga ishonch beradi. Izolyatsiyaga nominaldan kattaroq kuchlanish berilsa, sifatli izolyatsiya bu kuchlanishga chidaydi, defektli izolyatsiyada elektr teshilish sodir bo‘ladi.

Profilaktik yoki ta‘mirdan so‘ngi sinovda izolyatsiyani keyingi sinovgacha buzilmay ishlay olish imkoni tekshiriladi. Izolyatsiyani kattaroq kuchlanishda nazorat qilish izolyatsiyaning uzoq muddatli

elektr mustahkamligini bevosita baholay olmasada, uning asosiy vazifasi izolyatsiyada jamlangan qo'pol nosozlik-defektlar yo'qligini tekshirishdir.

Yangi yuqori kuchlanishli uskuna uchun zavodda sinov kuchlanishi standartda ko'rsatilgan, lekin profilaktik sinov kuchlanishi undan $10\div 15\%$ kichikroqdir. Kattaroq kuchlanish bilan sinashda sanoat chastotali kuchlanish, doimiy yoki to'g'rilangan kuchlanish va impulsli sinov kuchlanishi, ya'ni standart yashin kuchlanish impulslari, ishlatiladi.

Sinov kuchlanishining asosiy turi sanoat chastotali yuqori kuchlanishdir. Bunday kuchlanishda izolyatsiyani ushlab turish vaqti bir daqiqadir. Shu vaqtda elektr teshilish yoki izolyatsiyani qisman ishdan chiqishi sodir bo'lmasa, izolyatsiya sinovdan o'tgan hisoblanadi. Ba'zi hollarda izolyatsiya yuqoriroq chastotali (100 Gs yoki 250 Gs) kuchlanishda sinaladi.

Doimiy kuchlanishda sinov o'tkazilsa, izolyatsiyadan o'tuvchi tok nazorat qilib turiladi. Doimiy kuchlanish izolyatsiyani ushlash vaqti 5 daqiqadan 15 daqiqagacha. Izolyatsiya elektr teshilmasa va sizish toki o'zgarmasa, izolyatsiya sinovdan o'tgan hisoblanadi.

Standart yashin impulsi fronti 1,2 mks va uzunligi 50 mks bo'lib, kuchlanishning o'zgarish tezligi 50 Gs ga nisbatan $100\div 1000$ marta katta. Shuning uchun ham yashin o'takuchlanishining izolyatsiyaga ta'siri 50Gs kuchlanish ta'siridan keskin farq qiladi.

Elektr uskunalarini nominaldan kattaroq kuchlanishda sinash. 35 kV sinfigacha bajarilgan normal va yengillashtirilgan izolyatsiyali elektruskunalarining 50 Gs chastotali o'zgaruvchan tok bilan sinash kuchlanishi 14-jadvalda berilgan.

Transformatorni kattaroq kuchlanishda sinash. Moyli yangi transformatorni hamda chulg'amlari va izolyatsiyasini almashtirilmay qilingan kapital ta'mirdan chiqqan transformatorni foydalanishga topshirishdan oldin kattaroq kuchlanish bilan profilaktik sinash shart emas. Agar kapital ta'mirda transformator chulg'amlari va izolyatsiyasi to'la almashtirilgan bo'lsa, transformatorni foydalanishga topshirishdan oldin kattaroq kuchlanish bilan profilaktik sinash shart. Agar kapital ta'mirda transformator izolyatsiyasi qisman almashtirilgan yoki transformator rekonstruksiya qilingan bo'lsa, foydalanishga topshirishdan oldin o'tkaziladigan sinov kuchlanishi zavod sinov kuchlanishining 0,9 ulishi bo'lishi kerak. Moyli kuch transformatorlarni kattaroq kuchlanish bilan profilaktik sinash kuchlanishlari 14-jadvalda keltirilgan.

14-jadval. 35 kV sinfigacha elektruskunalarining 50 Gs sinash kuchlanishi

Elektr usku-na kuchlanish sinfi kV	Sinov kuchlanishi, kV					
	Kuch transformatori, shuntlovchi va yoy o‘chiruvchi reaktor			Apparat, tok va kuchlanish transformatori, tok chegaralovch reaktor, izolyator, kirma, aloqa kondensatorlari, ekranli tok o‘tkazgich, yig‘ma shina, KPY, KTII		
	Ishlab chiqqan zavodda	Foydalanishga topshirishda	Foydalanishda	Ishlab chiqqan zavodda	Foydalanishga topshirishda, foydalanishda	
					Farfor izolyats.	Boshqa izolyatsiya
<0,69	5,0/3,0	4,5/2,7	4,3/2,6	2,0	1	1
3	18,0/10,0	16,2/9,0	15,3/8,5	24,0	24,0	21,6
6	25,0/16,0	22,5/14,4	21,3/13,	32,0(37,0)	32,0(37,0)	28,8(33,3)
10	35,0/24,0	31,5/21,6	29,8/20,	42,0(48,0)	42,0(48,0)	37,8(43,2)
15	45,0/37,0	40,5/33,3	38,3/31,5	55,0(63,0)	55,0(63,0)	49,5(56,7)
20	55,0/50,0	49,5/45,0	46,8/42,5	65,0(75,0)	65,0(75,0)	58,5(67,5)
35	85,0	76,5	73,2	95,0(120,0)	95,0(120,0)	85,5(108,0)

Eslatmalar: 1. Sinov kuchlanishi kasr sonli bo‘lsa, surat-normal izolyatsiyali va maxraj-engillashtirilgan izolyatsiyali uskuna uchun. 2. Sinov kuchlanishi apparat va KPY ning yer bilan polyuslar orasi hamda kontakt oralig‘i uchun, agar kontakt ikki oralig‘lik bo‘lsa, qavs ichidagi kuchlanish olinadi. 3. Agar uskuna zavodda boshqa kuchlanishda sinalgan bo‘lsa, foydalanishga topshirish va foydalanish sinovida kuchlanish jadvalga mos o‘zgartiriladi.

Tok va kuchlanish transformatorining; moyli, havoli, vakuumli o‘chirgichning; ajratgich, ayrgich, qisqa tutashrgichning ososiy izolyatsiyasi hamda kirma izolyator sinov kuchlanishi 14-jadvalga mos olinadi.

Germetik zich holda ishlab chiqarilgan kuch transformatorlarining 50Gs chastotali o‘zgaruvchan tok bilan sinov kuchlanishi 15-jadvalda keltirilgan.

15-jadval

Transformator kuchlanish sinf	Sinov kuchlanishi, kV		
	Ishlab chiqqan zavodda	Foydalanishga topshirishda	Foydalanishda
3	20	9,0	8,5
6	20	18,0	17,0
10	28	25,2	23,8
15	38	34,2	32,3
20	50	45,0	42,5

Kabelni kattaroq kuchlanishda sinash. Yuqori kuchlanishli kuch kabellar doimiy yoki to'g'rilangan kuchlanish bilan sinovlar o'tkaziladi. Turli kuch kabellar uchun sinov kuchlanishlar 16-jadvalda va 17-jadvalda keltirilgan.

16-jadval. Turli kuch kabellar uchun sinov kuchlanishlar

Sinov turi	Qog'oz-moy izolyatsiyali kabellar kuchlanishi, kV								
	>1	3	6	10	35	110	220	330	500
P	6	18-15	36	60	175	285	510	670	865
K	2,5	25	36	60	175	285	510	670	865
M	-	15-25	36	60	175	285	510	670	865
Sinov turi	Plastmassa izolyatsiyali kabellar kuchlanishi, kV						Rezinka izolyatsiyali kabellar kuchlanishi, kV		
	1 гача	3	6	10	110	220	3	6	10
P	3,5	15	36	60	285	510	6	12	20
K	-	7,5	36	60	285	510	6	12	20
M	-	7,5	36	60	285	510	6	12	20

Sinov belgilari: P-yangi kabelni foydalanishga topshirishda; K-kapital ta'mirdan so'ng; M-ta'mirlar orasida.

Sinov kuchlanishiga va ruxsat etilgan asimmetriya koeffitsiyenti $k_{isp}=I_{max}/I_{min}$ ga bog'liq ruxsat etilgan sizish toklari 17-jadvalda berilgan.

Energiya korxona raxbari 6÷10 kV kuchlanishli kabel uzatish yo‘llarining sinov kuchlanishini $4U_{nom}$ ga tushirishi mumkin.

Topshirish-qabul sinovda 35 kV gacha kuchlanishli qog‘oz-moy va plastmassa izolyatsiyali kabeli uchun topshirish-qabulda to‘la sinov kuchlanishida ushlab turish vaqti 10 daqiqa belgilangan, foydalanish jarayonida - 5 daqiqa. 110÷500 kV uchun topshirish-qabulda to‘la sinov kuchlanishida ushlab turish vaqi 15 daqiqa belgilangan.

Sizish tokining absalyut qiymati kabelni nosoz topish ko‘ratgichi emas. Kabelli elektr uzatish yo‘llaring izolyatsiyasi qoniqarli bo‘lganda, turg‘un qiymatli sizish tokiga ega bo‘lishi kerak. Sinov davomida sizish toki kamayishi kerak. Agar sizish toka kamaymasa, yoki ko‘paysa, yoki qiymati turg‘un bo‘lmasa, sinov kuchlanishida ushlab turish vaqti to nosazlik-defekt aniqlanguncha cho‘ziladi, lekin 15 daqiqadan oshirilmaydi.

17-jadval

Kabel nominal kuchlanishi, kV	Sinov kuchlanishi, kV	Ruxsat etilgan sizish toki, mA	Ruxsat etilgan asimmetriya koeffitsiyenti k_{isp}
6	45	0,3	8
10	50	0,5	8
	60	0,5	8
35	140	1,8	10
	150	2,0	10
	175	2,5	10
110	285	normalanmagan	normalanmagan
220	510	normalanmagan	normalanmagan
330	670	normalanmagan	normalanmagan
500	865	normalanmagan	normalanmagan

Nazorat uchun savollar

1. Ichki izolyatsiyani eskirish turlari.
2. Ichki izolyatsiyani elektr eskirishi.
3. Ichki izolyatsiyani issiqlikdan eskirishi.
4. Ichki izolyatsiyani mexanik eskirishi.
5. Ichki izolyatsiyani kimyoviy eskirishi.
6. Qog‘oz moyli izolyatsiya.

7. Moy to'siqli izolyatsiya.
8. Ichki izolyatsiyaga ruxsat etilgan yuklama.
9. Izolyatsiyani profilaktik nazorat qilish.
10. Absorbsiya usuli bilan nazorat.
11. Dielektrik yo'qotish burchagining tangensi bilan nazorat.
12. Qismaniy razryadlar ko'lami bilan nazorat.
13. Izolyaiyani kattaroq kuchlanish bilan sinash.
14. Tranformatorni kattaroq kuchlanish bilan sinash.
15. Kabelni kattaroq kuchlanish bilan sinash.

VI-bob. YUQORI KUCHLANISHNI O'LCHASH USULLARI

Yuqori kuchlanishni o'lchashning ikki prinsipi ma'lum:

1) Yuqori kuchlanishni buzmay o'lchash usuli: o'lchash jarayonida kuchlanishi o'lchanuvchi izolyatsiya buzilmay, ya'ni elektr teshilmay, qoluvchi prinsip.

2) Yuqori kuchlanishni buzib o'lchash usuli: o'lchash jarayonida o'lchanuvchi izolyatsiya buzilib, ya'ni elektr teshilib, qoluvchi prinsip.

O'lchash jarayonida o'lchash izolyatsiya buzilmas, ya'ni elektr teshilmas, prinsipida ishlovchi o'lchov tizimlariga ega elektr o'lchagichlarga quyidagi asboblardan kiradi: elektrostatik kilovoltmetrlar; kuchlanish va tok o'lchov transformatorlari; rezistorli aktiv-faol kuchlanish bo'lgichlari; kondensatorli passiv-nofaol kuchlanish bo'lgichlari, kuchlanishni aniq o'lchovchi elektrofizik asboblardan va boshqalar.

O'lchash jarayonida o'lchanuvchi izolyatsiya buziluvchi, ya'ni elektr teshiluvchi, prinsipida ishlovchi o'lchov tizimlariga ega elektr o'lchagichlarga quyidagi asboblardan kiradi: sharli razryadniklar; suyuq dielektrik elektr mustahkamligini o'lchagichlar va boshqalar.

6.1. Sharli razryadniklar

Yuqori kuchlanishni o'lchashda sharli razryadniklardan keng ko'lamda foydalaniladi. Bu universal o'lchov vositasi bo'lib, uning yordamida doimiy kuchlanishni hamda o'zgaruvchan va impuls kuchlanishlarning amplituda qiymatlarini o'lchash mumkin. Sharlar orasidagi havoni elektr teshish kuchlanishi sharlar diametriga, sharlar orasidagi masofaga, sharlarni ulash sxemasiga hamda havoning zichligiga va namligiga bog'liq.

Doimiy tok kuchlanishini va o'zgaruvchan tok kuchlanishining amplitudasini havo uchqun oralig'ini teshib o'tuchi razryad kuchlanishi bilan o'lchash mumkin. O'lchashda qaytariluvchi natija olish uchun birjinsli elektr maydon hosil qilish zarur. Bunday bir jinsli maydon yetarli katta radiusli ikki shar orasida mavjud bo'ladi. Sharli razryadniklar bilan yuqori kuchlanishni o'lchash Pashen qonuniga asoslangan. Pashen qonuni havoni elektr teshish kuchlanishini sharlar orasidagi masofa bilan bog'laydi. Normal atmosfera havo sharoitida razryad

kuchlanishini sharlar orasidagi masofa bilan bog‘langan jadvali va grafigi Halqoro elektrotexnik komissiya MƏK tomonidan tasdiq etilgan va qullanishi barcha hududlar uchun majburiydir. Odatda sharlar orasidagi razryad sharlar sirtidagi eng yaqin nuqtalar oralig‘ida kuzatiladi. O‘lchov vaqtida elektr maydonning bir jinsliligini ta‘minlash uchun sharlar orasidagi masofa S shar diametri D ning yarmidan kamroq

$$S < 0,5 D \quad (6.1)$$

bo‘lishi shart. MƏK ning barcha talablari bajarilganda o‘lchov aniqligi 3 % ni tashkil etishi mumkin.

Sharli razlyadlagichning afzalligi: tuzilishi va o‘lchashning soddaligi; asbobning universalligi va aniqlikni qoniqarli olinishidadir. Sharli razryadnikning kamchiligi: har bir o‘lchash jarayonida havo oralig‘ini elektr razryadi teshilishida, ya‘ni sharlar orasidagi havo elektr izolyatsiyasining buzilishidadir. Havo o‘zi tiklanuvchi izolyatsiya turiga kirgani sababli razryaddan so‘ng havo elektr mustahkamligi tezda qaytadan to‘la tiklanib qoladi.

Sharli razlyadlagich ikkita bir hil diametrli sharlardan tashkil topgan bo‘lib, odatda ikki turli sxema bo‘yicha ulaniladi: a) ikkala sharga yuqori kuchlanish potentsiali berilgan simmetrik holatda; b) bitta sharga yuqori kuchlanish potentsiali berilgan va ikkinchi shar esa yerga ulangan nosimmetrik holatda (32-rasm). Rasmda C-ikkita shar oralig‘ining sig‘imi va C_1 -yuqori kuchlanishga ulangan sharning yerga nisbatan sig‘imi shartli ko‘rsatilgan. Birinchi tur simmetrik ulashda (32a-rasm), ya‘ni har ikkala sharga potensial berishda, har bir shar sirtidagi zaryad miqdori Q_1

$$Q_1 = CU + C_1 U / 2 = (C + C_1 / 2) U \quad (6.2)$$

Ikkinchi tur nosimmetrik ulashda (32b-rasm), ya‘ni bitta shar yerlansa, yuqori kuchlanish berilgan shar sirtidagi zaryad miqdori Q_2

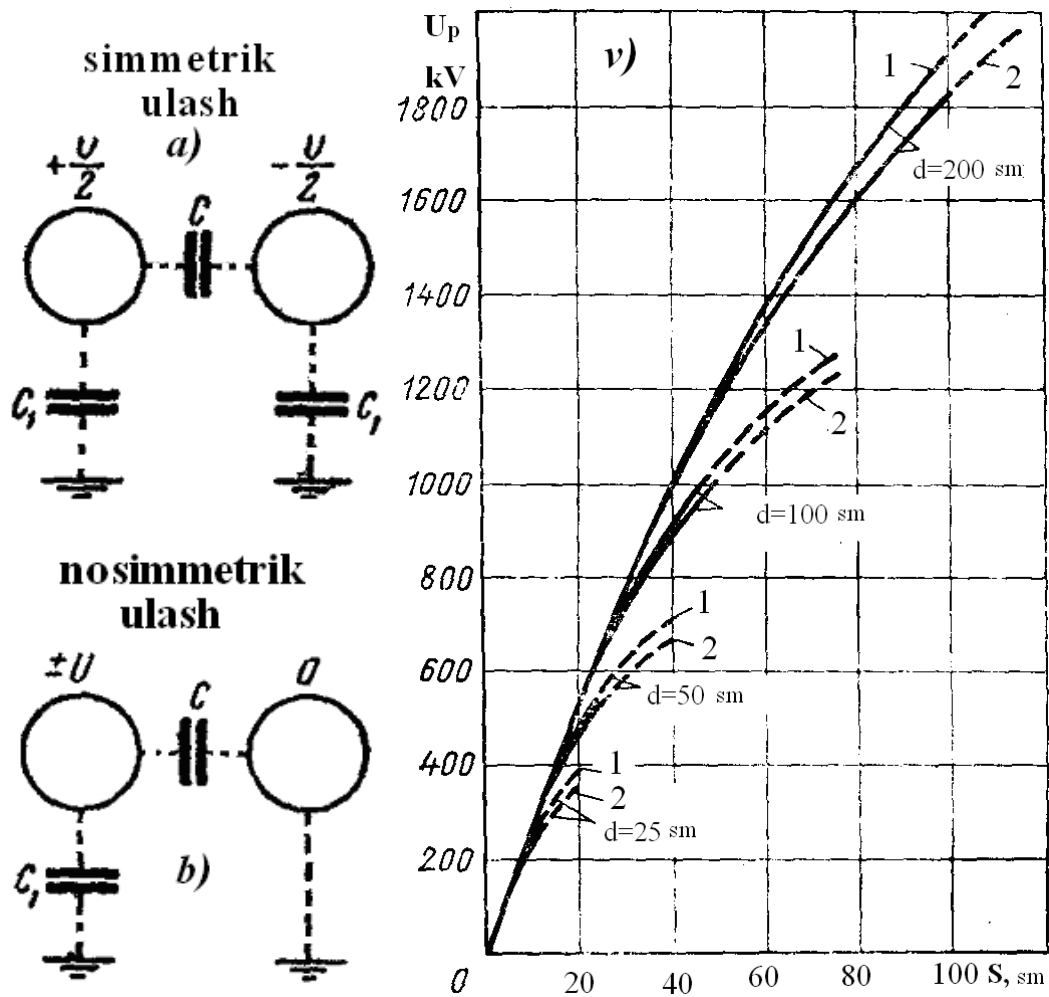
$$Q_2 = (C + C_1) U \quad (6.3)$$

Yerlangan shar sirtidagi zaryad miqdori Q_3

$$Q_3 = CU \quad (6.4)$$

Havo oralig‘ini teshib o‘tuvchi razryad kuchlanishi U_p bilan turli diametrli sharlar orasidagi havo masofasi S ning o‘zaro bog‘lanish grafiklari 32v-rasmda ko‘rsatilgan. Bunda 1 grafiklar sharlarga simmetrik

kuchlanish berilgan holatga tegishli bo'lsa, 2 grafiklar bir shar yerlangan nosimmetrik holatga tegishlidir.



32-pacm

Ikkala sharga yuqori kuchlanish potentsiali berilsa, oraliqdagi elektr maydoni simmetrik holatdadir. Bir sharga yuqori kuchlanish potentsiali berilib, ikkinchi shar yerga ulangan holatda elektr maydon simmetriyasi buziladi.

6.2. Elektrostatik kilovoltmetrlar

Elektrostatik kilovoltmetrlarning ishlash prinsipi. Yassi metall elektrodning sirti S , va elektrodlar orasidagi kuchlanganlik E va masofa x bo'lganda jamlangan energiya

$$W = ESE^2x/2 \quad (6.5)$$

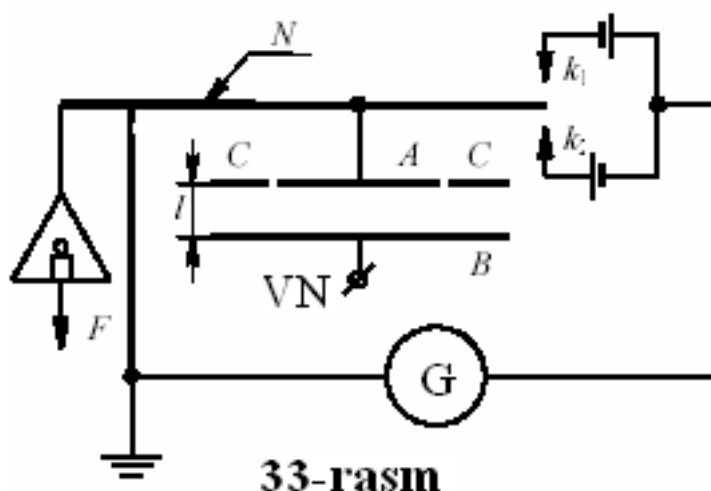
bo'lsa, elektrodlar o'zaro F kuchi bilan tortiladi:

$$F(x) = -dW/dx = 0.5 \varepsilon SE^2 \quad (6.6)$$

Tortish kuchlanishi F/S kuchlanishning kvadratiga proporsional va oraliq masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir, ya'ni

$$F(x)/S = 0.5 \varepsilon U^2/x^2. \quad (6.7)$$

A.A. Chernishovning torozuli elektrostatik kilovoltmetri 33-rasmda keltirilgan. Rasmda: A-erlangan harakatchan disk; B-turg'in yuqori kuchlanishli disk; C-muhofazalovchi yerlangan halqa; N-metall obkashkoromislo; k_1 k_2 -galvanometr kontaktlari; G-galvanometr; Yuk-yuqori kuchlanish.

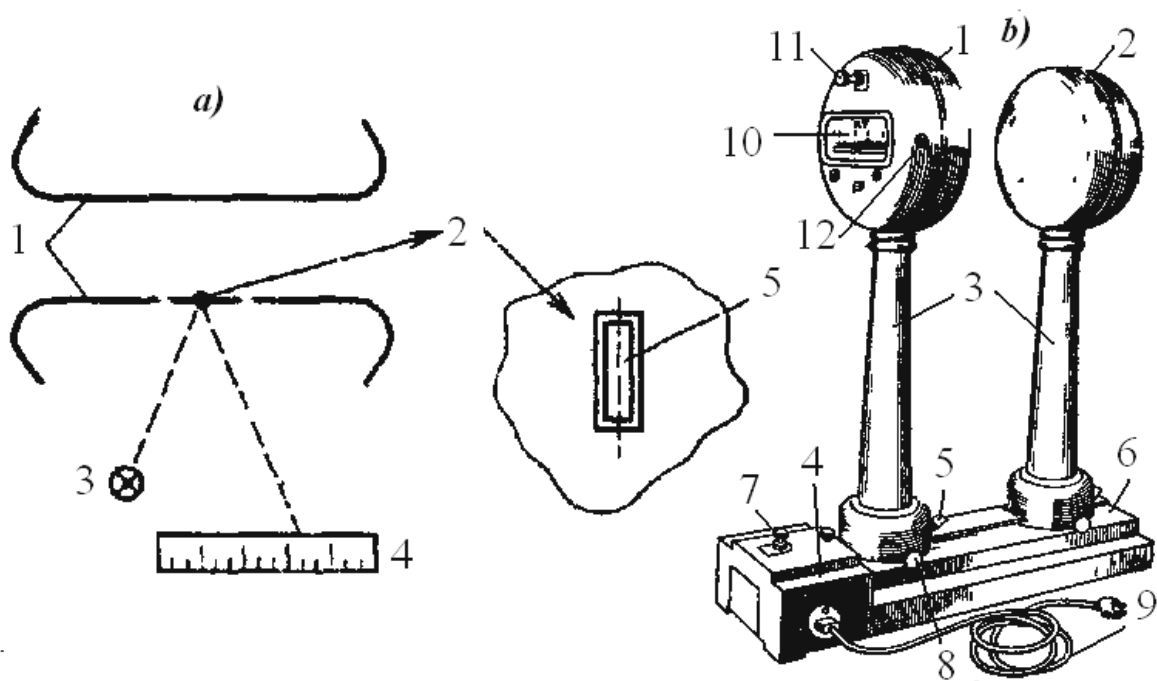


C-30 va C-100 kilovoltmetrlar yuqori kuchlanishli laboratoriyalarida keng tarqalgan. Ko'tarib yuriluvchi C-30 kilovoltmetri uch o'lchash diapozonli: 7,5 kV; 15 kV va 30 kV. Turg'un C-100 kilovoltmetri uch o'lchash diapozonli: 25 kV, 50 kV, 75 kV kuchlanish o'lchashga mo'ljallangan bo'lib, kirish sig'imi $5 \div 50 \text{ pF}$ va qarshiligi 10^{15} Ohm . C-100 kilovoltmetri bilan chastotasi 10MGs shzgaruvchan kuchlanishni o'lchash mumkin, chastota parazit induktivlik bilan cheklanadi. C-101 kilovoltmetri 300kV gacha kuchlanishni o'lchashi mumkin. Ularning ishlash prinsipi bir hil bo'lib, faqat tuzilishi bilan farqlanadi.

Elektr statik kilovoltmetrlarning ishlash sxemasi 34_a-rasmda keltirilgan. Rasmda: 1-yuqori kuchlanishli tepadagi elektrod va yerlangan pasdagi elektrodlar, 2-yorug'lik nurining yo'nalishi, 3-

yorug'lik nurining manbai, 4-kuchlanishni ko'rsatuvchi shkala hamda 5-past kuchlanishli elektroddaga tirqish va uning orqasida elastik osmaga biriktirilgan buriluvchan o'lchovchi elektroddir. Yorug'liq manбайдan chiqqan nur dumoloq shaklda bo'lib, uning markazidan ingichka vertikal qora chiziq shaklida belgi, ya'ni metka, o'tgan.

Yuqoridagi elektroddga kuchlanish berilganda o'lchovchi elektrod o'z o'qi atrofida burilib, elektrodlar oralig'i masofasini uzaytiradi. Elektrostatik kuch F_{es} elastik osmani burilishga qarshilik qiluvchi kuch F_m bilan muvozanatga kelguncha o'lchovchi elektrod buriladi. O'lchovchi elektrodning orqasiga yorug'lik nurni qaytaruvchi ko'zgu biriktirilgan. O'lchovchi elektrod burilgach, ko'zgu ham burilib, ko'zguga yo'naltirilgan nurli belgi ham shkala bo'ylab harakat qiladi va kuchlanish miqdorini bevosita ko'rsatib turadi. O'lchashni boshlamasdan oldin nurli belgini shkaladagi nulga maxsus muruvatni burash hisobiga keltirib qo'yiladi.



34-rasm: a) elektr statik kilovoltmetrning ishlash sxemasi; b) C-100 kilovoltmetrning tashqi ko'rinishi.

C-100 kilovoltmetrning umumiy tashqi ko'rinishi 34b-rasmda keltirilgan. Asos 4 ning prizmasimon 4 yo'naltiruvchi relsga ikkita tayanch farfor izolatorlari 3 o'rnatilgan. Ularning tepa qismida turg'un elektrod 1 va harakatlanuvchi elektrod 2 o'rnatilgan. Yuqori kuchlanish ikki xil turda kilovoltmetrga ulanishi mumkin: 1) simmetrik ulashda elektrodlar

1 va 2 ga potentsiallar ulanadi. Doimiy tok kuchlanishi o'lhansa, u holda elektrod 1 ga kuchlanishning manfiy qutbi va elektrod 2 ga musbat qutbi ulanadi. O'zgaruvan tok kuchlanishi o'lhansa, u holda elektrodlar 1 va 2 ga yarim potentsiallar beriladi. 2) nosimmetrik ulashda elektrod 1 yerlanadi va elektrod 2 ga yuqori kuchlanish potentsiali ulanadi.

Elektrodlar hajmiy ekran shaklida yasalgan bo'lib, yuqori kuchlanishli elektrod 2 faqat o'lchash diapozoni o'zgartirish zarur bo'lgandagina rels bo'lab harakatlantirilib, belgilangan joyga fiksator (rasmda ko'rsatilmagan) yordamida o'rnatilib, vint 8 yordamida qo'zg'almas qilib mustahkam biriktirib qo'yiladi. Elektrodlar purjinali fiksatorida, richag 5 bosilsa bo'shatiladi.

Elektrod 1 ga yuqori kuchlanish miqdorini ko'ratuvchi optik shkala 10 o'rnatilgan. Shkalalar 25 kV, 50 kV, 75 kV kuchlanishga mo'ljallangan bo'lib, muruvvat 12 yordamida kerakli kuchlanish oralig'ining shikalasi o'rnatiladi va muruvvat 11 yordamida shkalaning harakatchang optik ko'rsatgichi nulga keltirib qo'yiladi. Shkalaning harakatchang optik ko'rsatgichi ulab-uzgich 7 orqali nur beruvchi elektr lampachasi yoqiladi va ishga tushiriladi. Vilkali sim 9 bilan asbob elektr tarmog'iga ulanadi.

6.3. O'lchov transformatorlari

Tok o'lchov transformatori havo elektr uzatuvchi yo'llar, kontakt tarmog'i va elektr podstantsiyalarning yuqori kuchlanishli simlarida hamda shinalaridan o'tayotgan elektr tokini pultda o'tirib, past kuchlanishli ikkilamchi ampermetrlar yordamida o'lchash va nazorat qilish uchun qo'llaniladi.

Tok o'lchov transformatorlari birlamchi chulg'amlari bilan tarmoqqa ketma-ket ulanadi. Ikkilamchi chulg'amlarida zanjirning uzunligiga qarab 1A yoki 5 A elektr toki bo'ladi. Tok o'lchov transformatorlari qisqa tutashuv holatiga yaqin holatda ishlaydi.

Tok o'lchov transformatorlarining prinsipial sxemalari 35a-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 182 bet). Unda: a)-tok o'lchov transformatorining bir o'ramli bajarilishi, ko'p o'ramli bajarilishi va ko'p o'ramli hamda ikki o'zakli holda bajarilishi; 1-birlamchi chulg'am; 2-ikkilamchi chulg'am; 3-magnit o'zak; 4-izolyatsiya; 5-o'lchov asbobining chulg'ami ko'rsatilgan.

Tok transformatorining tuzilishi. yuqori kuchlash tizimlarining shinalarida oqadigan elektr tokini yuqori kuchlanishni uzmasdan past kuchla-

nishli nazorot tizimda o'lchashga mo'ljallangan. Tok transformatorlari tuzilishi bo'yicha: alohida turuvchi; joylashtirilgan; o'tuvchi transformatorlarga bo'linadi va ichkariga hamda tashqariga o'rnatiladigan holda bajariladi. Ichkariga o'rnatiladigan transformatorning turlari: TKJ, TPIJ, TPIOJ, TIIIPI, TPIOΦ, TPIΦ. Belgilarda: T-tok transformatori; Π-o'tuvchi; K-katushkali; Л-quyma izolyatsiyali; Φ-forfor izolyatsiyali; O-bir katushkali. Tashqariga o'rnatiladigan tok transformatorlari: TΦH, TΦKH. Belgilarda: H-tashqariga o'rnatiladigan.

TΦH markali tok transformatorlari 110 kV kuchlanishli shinalarda o'tayotgan bir faza tokini 0,4 kV kuchlanishli ulchov asboblari bilan yerlangan pultlarda o'lchashga mo'ljallangan.

Tok transformatorlari yuqori kuchlash tizimlarining shinalarida oqadigan elektr tokini yuqori kuchlanishni uzmasdan o'lchashga mo'ljallangan. TΦH -110 markali tok transformatorlari 110 kV yuqori kuchlanishli shinalarda o'tayotgan bir faza tokini 0,4 kV past kuchlanishli o'lchov asboblari bilan yerlangan pultlarda o'lchashga mo'ljallangan. Transformatorning ichki tuzulishi 35b-rasmda keltirilgan, unda 1-yuqjri kuchlanish kirmasi, 2-birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar, 3-magnit o'zak.

Transformatorning birlamchi chulg'ami 1 toroid shaklida yasalgan. Ikkilamchi chulg'ami esa toroid shakladagi magnito'tkazgich o'zakka 13 o'ralgan (35v-rasm). Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar toroidlarining tekisligi o'zaro perpendikulyar tekisliklarda joylashgan. Transformator bir yaxlit farfordan yasalgan ichi g'ovak idish-pokrishkaga 2 joylangan. Idish 2 ning tepasi qopqoq 8 bilan yopilgan va pasti bilan taglik 4 ga germetik o'rnatilgan. Idish 2 ning ichi transformator moyi 3 bilan to'ldirilgan. Birlamchi chulg'ami 1 idish 4 ning yuqori qismiga o'rnatilgan ikkita shina 11 va 12 ga ulab qo'yilgan. Yuqori kuchlanishli tok birlamchi chulg'am 1 dan o'tib, ikkilamchi chulg'aming toroid shakladagi magnit o'tkazgich o'zagi 13 da magnit maydoni hosil qiladi. Bu magnit maydon esa past kuchlanishli ikkilamchi chulg'amda o'lchov kuchlanishini hosil qiladi.

Izolyatsiyalovchi kompaund quyilgan tok transformatorlari ikki turining tashqi ko'rinishi 35g,j-rasmda ko'rsatilgan. 10 kV kuchlanishga mo'ljallangan TPIJ-10 tok transformatori: 1-o'zak bolti; 2-sinfi 0,5 bo'lgan o'zak; 3-quyma tana-korpus; 4-birlamchi (10 kV li) chulg'am kirma izolyatori; 5-ikkilamchi past kuchlanishli chulg'am kirma izolyatori; 6-burchakli metall biriktiruvchi; 7-erlangan bolt; 8-pasport malumotli taxtachasi; 9-ogohlantish tahtachasi.

ТНП-10 ток трансформатори 35j-rasmda tasvirlangan. Unda: 1 va 2-magnit o'zaklar; 3-biriktiruvchi halqa; 4-biramchi chulg'am tayloqchasi (sterjen); 5-quyma tana-korpus; 6-tayanch flans; 7-ikkilamchi chulg'amlar klemmalari.

Yuqori kuchlanishli ichiga moy to'ldirilgan kirma izolyatorlar 1 ga o'rnatiluvchi tok o'lchov transformatori 2 tortuvchi nimstansiyada foydalaniladigan barcha kuch transformatorlarida mavjud bo'lib (35d-rasm), bu tok transformatorlari yordami bilan har bir fazada birlamchi va ikkilamchi chulg'am toklari o'lchab, nazorat qilib turiladi. Kirma izolyatorga o'rnatiluvchi tok o'lchov transformatorining tashqi ko'rinishi 35e-rasmda keltirilgan.

Kuchlanish o'lchov transformatorlari bajarilishi bo'yicha quruq, moyli va quyma izolyatsiyali elektr qurilmalarga bo'linadi. Moy transformatorining faol qismi, ya'ni chulg'amlar o'ralgan magnit o'zagi, moyga kirgazib qo'yiladi. Quruq transformatorlarning faol qismi maxsus idishga o'rnatiladi va havoda joylashtiriladi.

Quyma izolyatsiyali transformatorlarning faol qismi epoksid kompaundi bilan yaxlit blok shaklida quyib qo'yiladi. Quruq transformatorlar 6 kV gacha kuchlanishni o'lash uchun yasaladi. Quyma izolyatsiyali transformatorlar 35 kV dan 6 kV gacha kuchlanishni o'lash uchun yasaladi. Moyli kuchlanish transformatorlari 110 kV dan 500 kV gacha kuchlanishni o'lash uchun mo'ljallanadi.

Kuchlanish transformatorlarning turlari 36-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 183 bet). Rasmda: b) bir fazali 10 kV kuchlanishga mo'ljallangan HOM-10 kuchlanish transformatori; g) bir fazali va ikki kirma izolyatorli 35 kV kuchlanishga mo'ljallangan tashqi muhitga mo'ljallangan kuchlanish transformatori HOM -35 va d) bir kirma izolyatorli 3HOM-35 ko'rsatilgan; e) 110 kV kuchlanishga mo'ljallangan kuchlanish transformatori HOM-110 ning tashqi ko'rinishi keltirilgan.

HOM -10 transformatorining tuzilishi: 1, 2-kirma izolyatorlar; 3- moy chiqarish probkasi; 4-bak; 5-erlash bolti; 6-chulg'am; 7-magnit o'zak; 8-vintli probka; 9-yuqorikuchlanishni ulash nuqtasi. HOM-35 transformatorining tuzilishi: 1-yuqori kuchlanishli birlamchi chulg'am kirma izolyatori; 2-ikkilamchi chulg'am kirmalari bor sandiqcha; 3-bak.

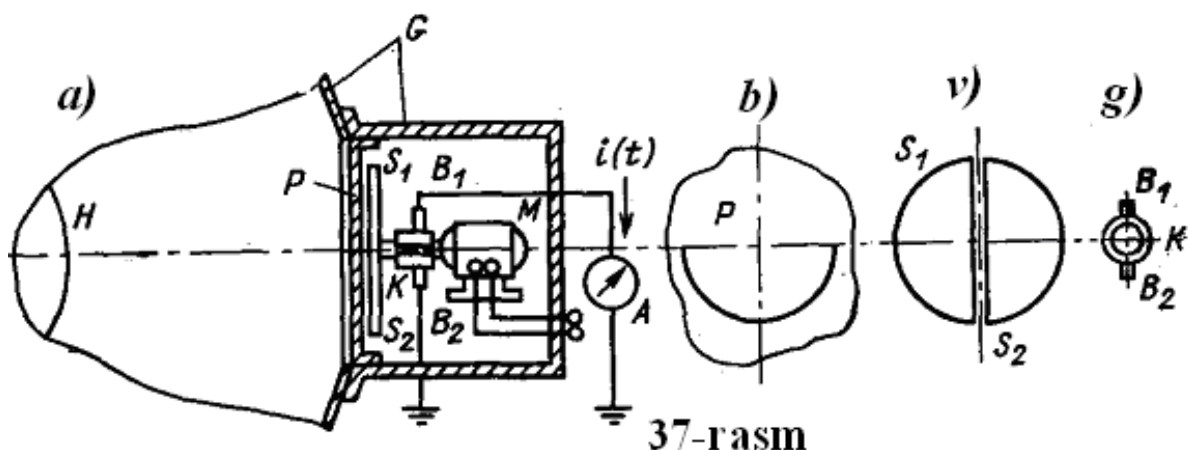
110 kV kuchlanishga mo'ljallangan kuchlanish transformatorining tashqi ko'rinishi 36e-rasmda keltirilgan. Rasmda: 1-aravacha g'ildiraklari; 2-yuqori kuchlanish ulanuvchi yuqoridagi qopqoq; 3-nafas olish

klapani; 4-farfor idish-pokrishka; 5- aravacha; 6-past kuchlanishli klemmlar.

6.4. Yuqori kuchlanishni o'lchashning boshqa usullari

Elektr induksiyali o'lchash usuli bilan quyidagi yuqori kuchlanishni o'lchash asboblari ishlaydi: rotorli voltmetrlar, flyuksmetrlar, elektros-tatikoviy induksion voltmetrlar, generatorli yuqori kuchlanishni o'lchash asboblari, tebranma harakatli, ya'ni vibratsion, voltmetrlar hamda sig'imli zondlar va boshqalar. Bu asboblar elektr maydon kuchlanganligini izolyator chegarasidagi gazda, yoki havoda o'lchaydi. Ko'pchilik o'lchov asboblari uchun kuchlanish bilan kuchlanganlik o'rtasida aniq bog'lanish borligini ma'lum bo'lgani uchun ham yuqori kuchlanish qiymatini o'lchash elektr maydoni kuchlanganligini o'lchashga keltiriladi.

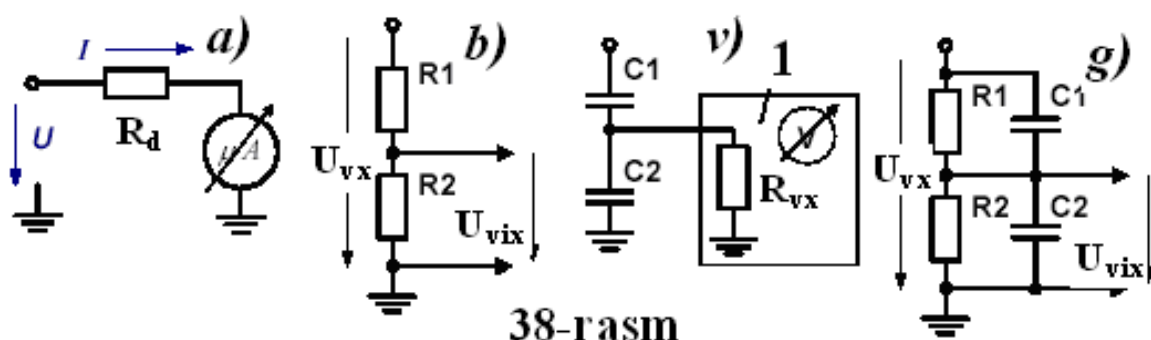
Rotorli megovoltmetr. Doimiy 2 MV kuchlanishni o'lchashda 37-rasmda ko'rsatilgan rotorli induksion megovoltmetr qo'llangan.



Elektr dvigateli M o'zgarmas tezlik bilan aylantruvchi o'zaro izolyat-sialangan ikkita yarim doira shaklidagi metall shaybalar S1 va S2 ni galma galdan H elektrodiga berilgan doimiy U kuchlanishi hosil qilgan elektr maydonga kiritadi. H elektrodi bilan S1 va S2 shaybalari orasidagi sig'imning tinimsiz o'zgarishi asbobning korpusiga ulangan va yarim doiroviy teshikka ega metall plastina R yordamida ta'minlanadi. O'lchov elektrodi sifatida ishlovchi S1 va S2 shaybalar kollektor ikkita yarim haqasi K va valdan izolyatsiyalangan shetkalar V1 va V2 birgalikda o'lchov tizimini tashkil qiladi. Ikkilamchi asbob A sektorlar orasidagi $i(t)$ tokni o'lchab beradi. Asbob A tarmog'idan quyidagi doimiy tok I o'tadi.

$$I = U \frac{\Delta C}{T_c/2} = 2f_c \Delta C U. \quad (6.8)$$

Kuchlanishni qo'shimcha rezistor bilan o'lchash tizimida doimiy yuqori kuchlanishni o'lchash uchun magnitoelektrik o'lchov asbobiga ketma-ket katta qarshilikka ega qo'shimcha rezistor ulanadi (38a-rasm). Qo'shimcha rezistor R_d o'lchanuvchi kuchlanishning to'la qiymatiga hisoblaradi va zanjir kabi ketma-ket ulangan kuplab rezistorlardan tuziladi. Rezistor qarshiligi 1M Ω /kV, toki 1mA olinadi, bu kichik issiqlik chiqishini ta'minlaydi. Rezistor bo'ylab sizish tokining oldini olish uchun rezistor tepadan 10M Ω /kV (tok 0,1mA)ga cheklanadi.



Kuchlanish 100kV dan oshsa, qo'shimcha rezistor zanjiri izolyatsiyali quvurga joylanib, ichiga transformator moyi quyib qo'yiladi. O'lchanuvchi kuchlanish $U=IR_d$ ga tengdir.

Kuchlanishni majburiy taqsimlash usuli. Izolyatsiya qurilmasining kuchlanishi 1 ÷ 3 MV va undan ortiq bo'lsa, roslovchi elektrodlar uncha katta naf bermaydi. Konstruksiya o'qi bo'ylab kuchlanishni majburiy ravishda taqsimlash yaxshi samara beradi. Sinov transformatorlar kaskadini tuzishda birnecha yuqori kuchlanishli transformatorlarni ketma-ket ulash usuli ham kuchlanishni majburiy taqsimlashning bir turi bo'lib, bu usul 50Gs chastotali 1 ÷ 3 MV sinov kuchlanishini olishda keng qullaniladi. Jumladan, O'zR FA Energetika va avtomatika institutining. Yuqori kuchlanish laboratoriyasida 333 kV kuchlanishli 1A tokli bir fazali 3 ta transformatorlar kaskad sxemasida ketma ket ulanib, 1 MV sinov kuchlanish olinadi. 1MV kuchlanishli 1A tokli sinov transformatorlari kaskadi TDTU energetika fakultetida hamda «O'zbek-energo» DAK sinov laboratoriyasida ham mavjud.

Kuchlanishni majburiy taqsimlash natijasida qurilmaning elektr maydonini rostlash usuli vakuum izolyatsiyasida yanada kengroq qo'llanadi, chunki vakuumning elektr chidamliligi havo chidamliligidan

$10 \div 20$ marta kattaroqdir. Jumladan, 1 mm havo uchun razryad kuchlanishi $U_p=3$ kV bo'lsa, 1 mm transformator moyini uchun razryad kuchlanishi $U_p=10 \div 20$ kV bo'ladi va 1 mm vakuum uchun razryad kuchlanishi $U_p=60 \div 100$ kV ga tengdir. Kuchlanishi 0,5 MV dan 5 MV gacha bo'lgan va ichki hajmi vakuumlangan elektron va ion tezlatgichlarning ko'p sonli doirasimon elektrodleri bo'lab, ularda kuchlanishning majburiy taqsimoti faqat aktiv qarshiliklar R_i yordami bilan bajariladi.

Rezistorli kuchlanish bo'lgich doimiy va 50Gs chastotali o'zgaruvchan tok yuqori kuchlanishini o'lchashda ishlatiladi. Uzun izolyator o'qi bo'ylab o'rnatilgan ko'plab faol, ya'ni aktiv, qarshiliklar R_i yordami bilan bajariladi (38b-rasm). Kuchlanish taqsimlagich aktiv qarshiliklarining R_i

soni i elektrodler sonidan bitta kam olinadi yoki $R_1 = \sum_1^n R_i$ sharti bajariladi. O'lchov qarshiligi R_2 o'lchanuvchi kuchlanish U_{vx} va o'lchov asbobining kuchlanishi U_{izm} e'tiborga olib hisoblanadi: $R_2=R_1 U_{izm}/U_{vx}$.

Aktiv qarshiliklikli kuchlanish taqsimlagichning bir uchi yuqori kuchlanishli elektrodga ulanadi va ikkinchi uchi yerlanadi. Kuchlanish taqsimlagichning yerlangan oxirgi qarshiligidan o'lchov qarshiligi R_2 sifatida foydalanililib, juda katta yuqori kuchlanish miqdorini past kuchlanishli elektr asbobi bilan o'lchash imkonidan amalda foydalaniladi. R_2 kuchlanishni o'lchash asbobining shkalasi kuchlanish U_{vx} ga moslanadi. Ba'zan bunday kuchlanish taqsimlagichidan o'tuvchi tokni o'lchash uchun magnitoelektrik o'lchov asbobi R_2 qarshiligiga ketma-ket ulanadi va bu tok yordamida kuchlanish U_{vx} miqdori aniqlanadi (38a-rasm).

$$V_{vx}=U_{vix}(R_1+R_2)/R_2$$

Sig'imli kuchlanish bo'lgichi 50Gs va katta chastotali o'zgaruvchan kuchlanishini yoki impulsli yuqori kuchlanishini o'lchashda ishlatiladi. Sig'imli kuchlanish bo'lgichi asosiy sig'im $C1$ va o'lchov sig'imi $C2$ larni ketma-ket ulab bajariladi (38v-rasm). O'lchov sig'imi $C2$ ga o'lchov asbobi 1 parallel ulanadi. O'lchov asbobi 1 sifatida elektron ossillograf yoki kirish qarshiligi R_{vx} katta elektron voltmetridan foydalaniladi. Asosiy sig'im $C1$ sifatida birnecha yuqori kuchlanishli havo yoki DMP-70 kabi moyli kondansatorlari ketma-ket ulangan tizimidan foydalaniladi. Sig'im $C1$ dagi kondansatorlar soni n o'lchanuvchi kuchlanish U_{vx} va sig'im bo'ligichini tashkil qilgan kondansator nominal kuchlanishi U_c yordamida aniqlanadi: $n=U_{vx}/U_c$. Bunday

bo'lgichning kirish va chiqish kuchlanishlari bo'lish koeffitsiyenti $K_d = U_{vx}/U_{vix} = C_2/(C_1 + C_2)$ bilan bog'langan.

Sig'imli bo'lgich quyidagi talablarni qondiradi: 1) bo'lgichda qisman va toj razryadi bo'lmasligi va o'lchanuvchi kuchlanishning shakli o'zgartmasligi kerak; 2) kirish va chiqish kuchlanishlari shakli aynanligini ta'minlasin; 3) o'lchov zanjirida kam yuklama iste'mol qilsin. Birinchi talab shunga olib keladiki, rezistorli va sig'imli bo'lgichlar balandligi o'zgaras va yashin impulsi kuchlanishlari uchun 2m/MV kattaroq bo'lishi va o'zgaruvchan kuchlanish uchun 5m/MV (effektiv miqdor) bo'lishi kerak. Ikkinchi shartni bajarish uchun bo'lgichning kirish qarshiligi $R_{vx} \gg 1/(\omega C_2)$ olinadi. Uchinchi shartni bajarish uchun C_1 kichikroq bo'lishi kerak, amalda $30 \div 50$ pf/m olinadi.

Sig'im-rezistorli kuchlanish bo'lgichi katta chastotali o'zgaruvchan kuchlanishini yoki impulsli yuqori kuchlanishini o'lchashda ishlatiladi (38g-rasm). Bunday bo'lgich zanjirini past kuchlanishli ekranlangan kabelning zararli kirish sig'imidan saqlash uchun qo'llaniladi. Bo'lgichning bo'lish koeffitsiyentining chastotaga bog'lanishini yo'qotish uchun $R_1 C_1 = R_2 C_2$ olinadi.

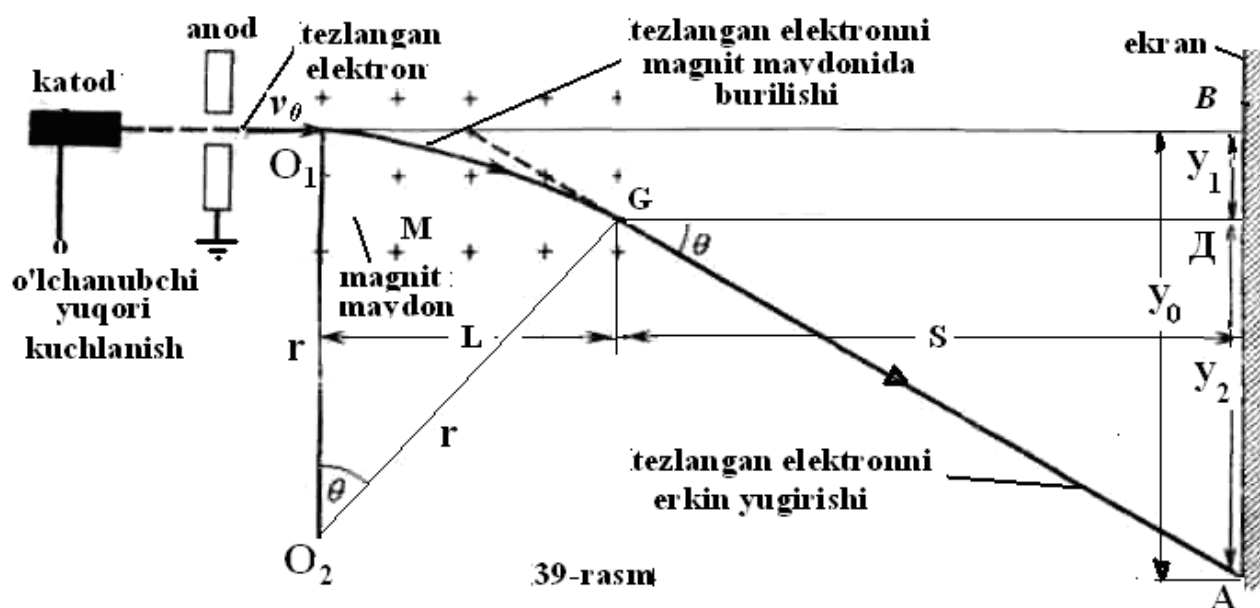
6.5. Yuqori kuchlanishni aniq o'lchash elektrofizik usullari

Yuqori kuchlanishni avvalgi paragraflarda keltirilgan usullar bilan o'lchash aniqligi $1 \div 5\%$ bo'lib, amalda bu aniqlik texnik va texnologiya muammolarini yechish uchun yetarli bo'lsa ham, ba'zi hollarda uni aniqroq o'lchash talab qilinadi. Elektrofizik uskunalar yordamida yuqori kuchlanishni o'lchash aniqligini $0,1 \div 0,01\%$ yetkazish va undan ham aniqroq talab qilingan aniqlikda o'lchash imkoni mavjud. Yuqori kuchlanishni aniq o'lchash usullari yuqori kuchlanishli elektron va ion tezlatgichlaridan, magnit va elektrostatik saparatorlardan, tezlatilgan zarrachalarni registratsiya qilishning yadro fizika va fizik elektronikada keng qo'llanadigan zamonoviy turlaridan foydalanishga asoslangan. Bular: ssinsilyatsion va lyuminissent ekranlardan; magnit maydoniga o'rnatilgan fotoshishalar qalin fotoemulsiyada qolgan atom izlarining mikroskop analizidan; magnit maydonli va tumanli Vilson kamerasidan, Cherenkov nuridan, modda atom elektronini kerakli kvant sathiga ko'chirish so'ng qaytishda chiqadigan fotonlardan foydalanishdir. Quyida kuchlanish o'lchashning ba'zi elektrofizik usullar haqida qisqacha ma'lumot keltirilgan.

Kuchlanishni stabillangan magnit maydon bilan o'lchash. Magnit separatoridan foydalanib yuqori kuchlanishni o'lchash sxemasi 39-rasmda keltirilgan. Unda turmoemissiya sababli katoddan chiqqan erkin elektron anod tomon harakatlanib, berilgan va o'lchanishi talab qilingan kuchlanish U kV ta'sirida elektron tezlashadi, ya'ni $W=eU$ (keV) energiya oladi.

Elektron nurining magnit maydonda burilishi ekrandagi tasviri ikki qismdan tashkil topadi: y_1 -magnit maydonda burilishda siljishi va y_2 -to'g'ri chiziq bo'ylab erkin yugurishda siljishi. Elektronaga magnit maydoni faqat L uzunlik hududda ta'sir ko'rsatadi. Elektronni magnit maydonda burilishi natijasida ekranda siljishi:

$$y_1 = \frac{BL^2}{\sqrt{2mU/e}}; \quad y_2 = \text{Ctg}\theta = \frac{BLS}{\sqrt{2mU/e}}; \quad (6.9)$$



Formulalarda: $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl - elektron zaryadi; $v_0 = \sqrt{2eU/m}$ - elektronni anoddan chiqish tezligi; B -magnit maydoni induksiyasi, Vb/m^2 (teslo); $m=9,11 \cdot 10^{-31}$ kg electron massasi; $y_0=y_1+y_2$. Yuqoridagi formulalardan o'lchanuvchi kuchlanish U quyidagicha hisoblab topiladi:

$$U = \frac{e}{2m} \left(\frac{BL^2 + BLS}{y_0} \right)^2 \quad (6.10)$$

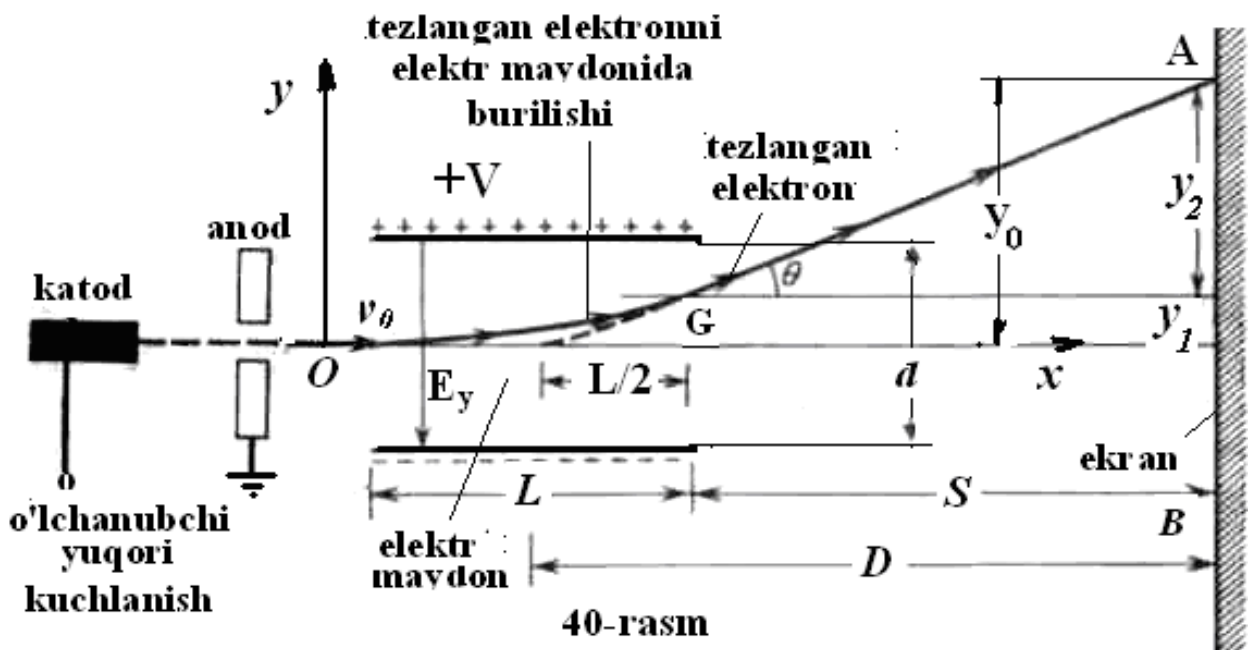
O'lganuvchi kuchlanish U hisoblash aniqligi magnit maydoni induksiya V va chiziqli o'lchamlar: y_0 , L , S aniqligiga bog'liq. Magnit induksiya V ni aniqligi elektromagnit tokining aniqligiga bog'liq bo'lib, zamonaviy tok stabilizatorlari 0,1% dan 0,01% aniqlik bilan tok ishlab chiqarishlari mumkin. Chiziqli o'lchamlar y_0 , L , S aniqligiga esa sifrlı informatsiya-texnologiyasi yutuqlari hisobiga 0,01% aniqlikni ta'minlashi mumkin.

Shunday qilib, yuqori kuchlanishni stabillangan magnit maydoni bilan o'lchash usuli, talab bo'lsa, yuqori kuchlanishni 0,1% dan 0,01% aniqlik bilan o'lchashi mumkin.

Kuchlanishni stabillangan elektrostatik maydon bilan o'lchash. Elektrostatik maydon bilan yuqori kuchlanishni aniq o'lchash sxemasi 40-rasmda berilgan.

O'lganuvchi kuchlanish U ta'sirida elektron katod bilan anod orali-g'ida tezlashadi, ya'ni $W=eU$ keV energiya oladi va E_y kuchlanganlikka ega elektrostatik maydonda o'z terayektoriyasidan yuqoriga buriladi, so'ngra elektron GA to'g'ri chizig'i bo'ylab ekrangacha erkin yuguradi. Elektronni elektrostatik maydonda burilishi natijasida ekranda $y_0=y_1+y_2$ siljishi va o'lganuvchi kuchlanish U :

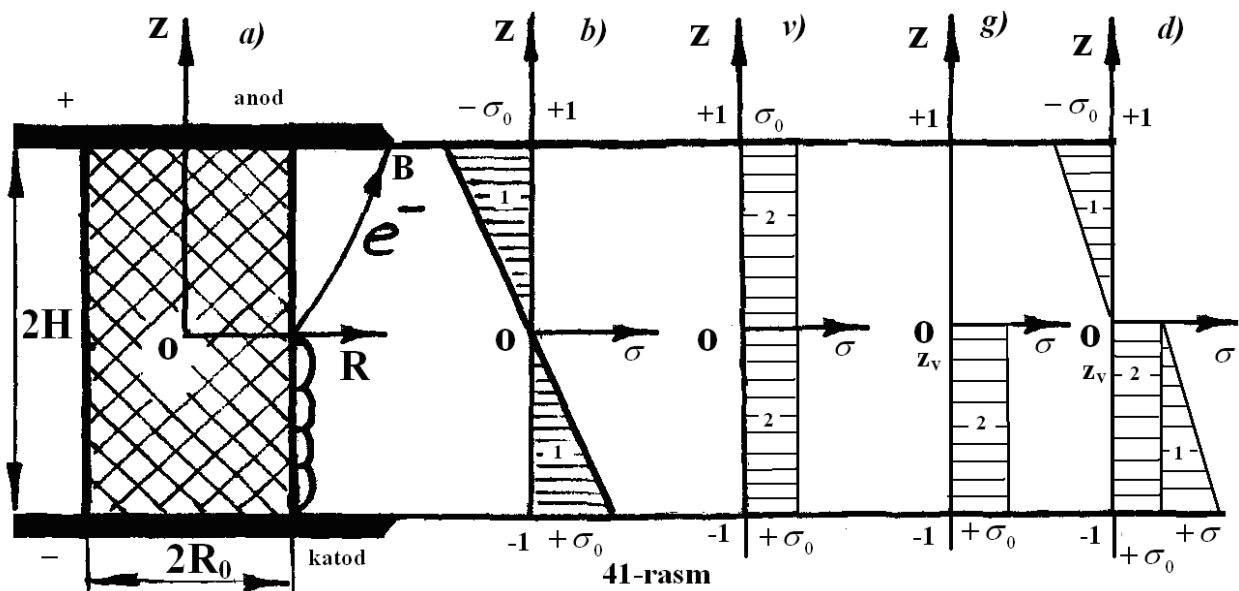
$$y_1 = \frac{eE_y L^2}{2mv_0^2} \quad y_2 = \frac{eE_y LS}{mv_0^2} \quad U = \frac{VL(L+S)}{2d(y_1+y_2)} \quad (6.11)$$



Stabillangan elektr maydon bilan o'lchash usuli natijasida hisoblangan yuqori kuchlanishning o'lchash aniqligi elektronni buruvchi maydon hosil qiluvchi kuchlanishning aniqligiga bog'liq ekan. Zamonoviy stabillangan kuchlanish manbalaridan foydalanib, yuqori kuchlanishni 0,1% dan 0,01% aniqlik bilan o'lchash mumkin.

6.6. Izolyator sirt elektr zaryadi va uni o'lchash

Izolyator sirt zaryadining paydo bo'lishi. Har qanday qattiq dielektrikdan yasalgan silindr shaklidagi izolyatorning tekis elektrodiga yuqori kuchlanish berilsa, izolyatorning sirtida, albatta, elektr zaryadi paydo bo'ladi (41a-rasm). Izolyator sirt zaryadi ikki turli bo'lishi mumkin: zichligi chiziqli o'zgaruvchan **bog'langan zaryad** (41b-rasm); teng taqsimlangan **erkin zaryad** (41v-rasm). Bog'langan zaryad paydo bo'lishi dielektrlarning asosiy hususiyati bo'lmish qutblanishning ta'siri natijasidir. Tashqi elektr maydoni ta'sirida izolyator dielektrigining qutblanishi sababli izolyatorning katod tamonidagi sirtida musbat ishorali bog'langan zaryad va anod tamonidagi sirtida manfiy ishorali bog'langan zaryad hosil bo'ladi. Bunday sirt zaryadi **qutblanish zaryadi**, deyiladi (41b-rasm).



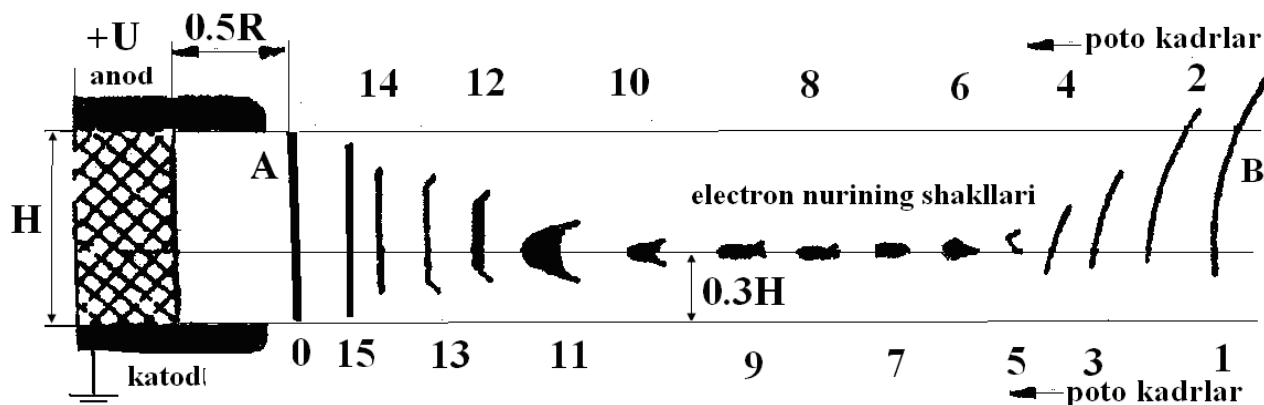
Elektrodlar orasiga joylangan to'g'ri silindr shaklidagi izolyator sirt zaryadining izolyator o'qi bo'ylab taqsimoti: a) izolyator sirtida elektron harakati; b) zichligi chiziqli o'zgaruvchan bog'langan zaryad; v) teng taqsimlangan erkin zaryad; g) izolyator sirti katod qismidagi erkin zaryad; d) bog'langan zaryad va erkin zaryadning qo'shma taqsimoti.

Ma'lumki, izolyator elektrodiga tashqi elektr potentsiali berilganda, dielektrik qublanish jarayoni natijasida, izolyator sirti bo'ylab avvalo bog'langan zaryad hosil bo'ladi. Bog'langan zaryad katod tomonida musbat va anod tomonida manfiy ishoraga ega bo'ladi (41b-rasm). Tashqi elektr maydon ta'sirida katoddan chiqqan birlamchi elektron shu maydonda tezlashib, anod tomonga uchada, ammo qutblanish zaryadi maydoni ta'sirida sirtga burilib, izolyator sirtiga zarb bilan uriladi (41a-rasm). Natijada birlamchi elektron sirtidan qaytadi hamda sirtidan bitta ikkilamchi elektron urib chiqaradi, sirtida esa musbat zaryad qoladi. Yuqori kuchlanishli elektr maydondagi bu jarayon tufayli izolyator sirti bo'ylab teng taqsimlangan musbat ishorali erkin zaryad paydo bo'ladi (41v-rasm).

Hisoblashni soddalashtirish uchun bunday zaryad sirt zichligini izolyator o'qi bo'ylab chiziqli o'zgaruvchan sirt zichligi, deb qabul qilamiz (41b-rasm). So'ngra katod sirtidan tasodifan chiqqan erkin elektron izolyator sirti bo'ylab 41a-rasmda ko'rsatilgan troyektoriya shaklida harakat qiladi, ya'ni izolyator sirtining katod qismidagi musbat zaryad elektronni o'ziga tortishi sababli, elektron sirt tamon buriladi va kelib izolyator sirtiga zarb bilan uriladi. Natijada, shu elektronning o'zi sirtidan elastik qaytariladi va yana kamida bitta yangi erkin elektronni urib chiqaradi. Izolyator sirtidan chiqqan elektronning o'rni musbat zaryadlangan bo'lib qoladi. Katoddan chiqqan yangi erkin elektronni ham izolyator sirtiga musbat zaryad maydoni elektronni o'ziga tortishi sababli kelib izolyator sirtiga zarb bilan urilib, yana yangi elektronlar urib chiqaradi. Shu jarayon birnecha bor takrorlanib, so'ng elektron izolyator markaziga yetib keladi (41a-rasm). Izolyator markazida zaryad bo'lmagani uchun harakatdagi elektron uning ustidan burilmay uchib o'tadi. Izolyatorning anod qismi sirtida manfiy ishorali zaryad bo'lgani sababli harakatdagi elektronga sirtidan qochirma kuch bilan ta'sir ko'rsatadi va harakatdagi elektron sirt bo'lab anod tomonga uchgan sari izolyator sirtidan uzoqlashib boraveradi. Nihoyat, elektron izolyator sirtidan ancha uzoqdagi V nuqtada anod sirti bilan to'qnashadi. Izolyator markazidan to anodga yetib kegunicha harakatdagi elektron tashqi elektr maydonda tezlashadi, ya'ni kinetik energiyasi $W=eU/2$ miqdori kattalashadi. Katta energiya bilan anodga urilgan elektron anoddan rentgan nuri chiqaradi. Anodning ortiga rentgan fotoplenkali kasseta o'rnatib qo'yilsa, rentgan fotoplenkasida izolyator atrofida halqasimon rentgan nuri generatsiya qilinishi tajribada ko'rilgan. Rentgan plenkasida izolyatorning aylana sirti bilan rentgan nuri halqasi orasida, albatta,

muayyyan o'lchamli halqasimon bo'shlik ko'rinib turadi. Bu izolyatorning anod tamonidagi sirtida manfiy ishorali elektr zaryad mavjudligining dalilidir.

Izolyator sirt zaryadini tajribada kuzatish. Izolyator anodiga yuqori kuchlanish U berib, katod yerlangan holatda izolyator sirtida hosil bo'lgan zaryad dinamikasini o'rganish uchun vakuum sharoitida ko'ndalang kesimi to'g'ri chiziq shaklidagi **elektron nurdan** foydalanilgan (42-rasm). Izolyator dielektrigi silindr shaklida uzunligi $2h=20$ mm va radiusi $R=10$ mm qilib olingan. Izolyator anodiga berilgan kuchlanish $U=0$ bo'lganda, elektron nuri ekranda (kadr 0) o'z to'g'ri chiziq shaklini o'zgartmay izolyator sirtidan $0.5R$ masofada turaveradi, ya'ni izolyator sirtida zaryad ham yo'q va elektron nuriga ta'sir ko'rsatuvchi sirt zaryadining elektr maydoni ham yo'q. Muallif boshchiligida o'tkazilgan tajribadan quyidagi natija olindi.



42-rasm. Elektron nuri shaklining izolyator sirt zaryadi elektr maydonida vaqt bo'ylab turlanishi.

Izolyator anodiga yuqori kuchlanish berila boshlanishi bilan A hududidagi elektron nuri yuqori, ya'ni anod, tamonga qochib ketadi. Yuqori kuchlanishni $U=50$ kV yetkazib, so'ngra bu kuchlanish U o'chirilgach, anod yerga ulanadi. Izolyator bilan elektron nuri zarbidan lyuminissensiya beruvchi shaffof ekran orasidagi masofa 20 sm bo'lib, izolyator sirtidagi musbat ishorali zaryad elektron nurini o'ziga tortadi.

Bu holda elektron nuri ekranning B hududiga qaytadi (kadr 1). Qutblanish zaryadining miqdori relaksatsiya natijasida kamayib borgan sari elektron nurining shakli o'zgarib, sirtga yaqinlashib kelaveradi (kadrlar 1÷4). Kadrlar bir biridan taxminan bir daqiqaga faq qiladi. 5÷6 kadrlarga kelganda elektron nuri boshlong'ich holati (kadr 0)dan ham izolyator sirtiga yaqinroq masofaga kelib qoladi. Elektron nurining

shakli esa musbat ishorali sirt zaryadi ta'sirida fokuslanib, gorizanal chiziqchaga o'xshab qoladi (5÷10 kadrlar). Mazkur kadrlarning o'zni kadr 0 o'rniga nisbatan izolyator sirtiga yaqinroq bo'lib, shartli ravshda ketma-ket tasvirlangan. Keyingi kadrlarda musbat ishorali sirt zaryadi neytrallashgan sari elektron nurining shakli ham vertikal holatda cho'zilib boradi (11÷15 kadrlar). 15-kadr musbat ishorali zaryad to'la neytrallangan holatiga mansub bo'lib, kadr o'zni shartli ko'rsatilgan, chunki uning asl o'zni kadr 0 ning o'rnidadir.

Nihoyatda kichik, ya'ni 10^{-7} mm simob ustini, bosimli moysiz vakuum sharoitida o'tkazilgan elektron nurli tajriba shuni ko'rsatdiki, yuqori kuchlanishli tashqi elektr maydonida izolyator sirtida anod yonida manfiy va katod yonida musbat ishorali qutblanish zaryadi mavjuddir. Birlamchi elektronlarning sirt bo'ylab zarb bilan urilib sakrovchi harakati ta'sirida ikkilamchi elektronlar vakuumga uchib chiqib ketib, izolyator sirtida ikkilamchi elektronlar o'rnida musbat ishorali qoldiq zaryad ham hosil bo'lar ekan. Izolyator sirtidagi qutblanish zaryadi hamda qoldiq zaryad elektr maydonlari tashqi elektr maydon bilan qo'shilib, izolyator razryad kuchlanishini kamayishiga olib kelishi amalda kuzatilgan.

Izolyator sirtida teng taqsimlangan erkin zaryad maydoni chegara shartlarini qondiruvchi Puasson tenglamasining chegara shartlariga mos hususiy analitik yechimi quyidagi integrallar yig'indisi shaklida olinadi (41v-rasm):

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi_{01} + \frac{A(z-1)}{2} \varphi_{11} - \frac{A(z+1)}{2} \varphi_{12} \quad \text{Ba} \quad C_1 = \frac{Ar_0\sigma}{4\pi\epsilon\epsilon_0 U} = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon\epsilon_0 E_0}, \\ \varphi_{01} &= \frac{C_1}{A} \int_0^{2\pi} \left(\ln \left| \frac{A(z+1) + \sqrt{1+r^2 - 2r\cos(\alpha-\beta) + A^2(z+1)^2}}{A(z-1) + \sqrt{1+r^2 - 2r\cos(\alpha-\beta) + A^2(z-1)^2}} \right| \right) d\alpha, \\ \varphi_{11} &= \frac{C_1}{A} \int_0^{2\pi} \left(\ln \left| \frac{A(z_h+1) + \sqrt{1+r^2 - 2r\cos(\alpha-\beta) + A^2(z_h+1)^2}}{A(z_h-1) + \sqrt{1+r^2 - 2r\cos(\alpha-\beta) + A^2(z_h-1)^2}} \right| \right) d\alpha, \\ \varphi_{12} &= \frac{C_1}{A} \int_0^{2\pi} \left(\ln \left| \frac{A(z_v+1) + \sqrt{1+r^2 - 2r\cos(\alpha-\beta) + A^2(z_v+1)^2}}{A(z_v-1) + \sqrt{1+r^2 - 2r\cos(\alpha-\beta) + A^2(z_v-1)^2}} \right| \right) d\alpha. \end{aligned} \quad (6.12)$$

$Z_h=-1$; $f_y=+1$; $\beta = 0$ uchun olingan hisob natijasida potensial $U(z)$ taqsimoti 43a-rasmda, tangensial kuchlanganlik $E_z(z)$ 43b-rasmda keltirilgan.

Izolyator sirtida chiziqli taqsimlangan bog‘langan zaryad potentsiali uchun maydoni Puasson tenglamasining chegara shartlarini bajaruvchi hususiy analitik yechimi φ_2 quyidagi integrallar yig‘indisi shaklida olinadi (41b-rasm):

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \varphi_{21} + \varphi_{22}, & C_4 &= \frac{A^2 r_0^2 \sigma_0}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon U} = \frac{A r_0 \sigma_0}{4\pi \varepsilon_0 E_0} \\ \varphi_{21} &= C_2 \int_0^{2\pi} \frac{z}{A} (L_{21} - L_{21h} - L_{21v}) d\alpha \\ L_{21} &= \ln \left| \frac{A(z+1) + \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z+1))^2}}{A(z-1) + \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z-1))^2}} \right| \end{aligned} \quad (6.13)$$

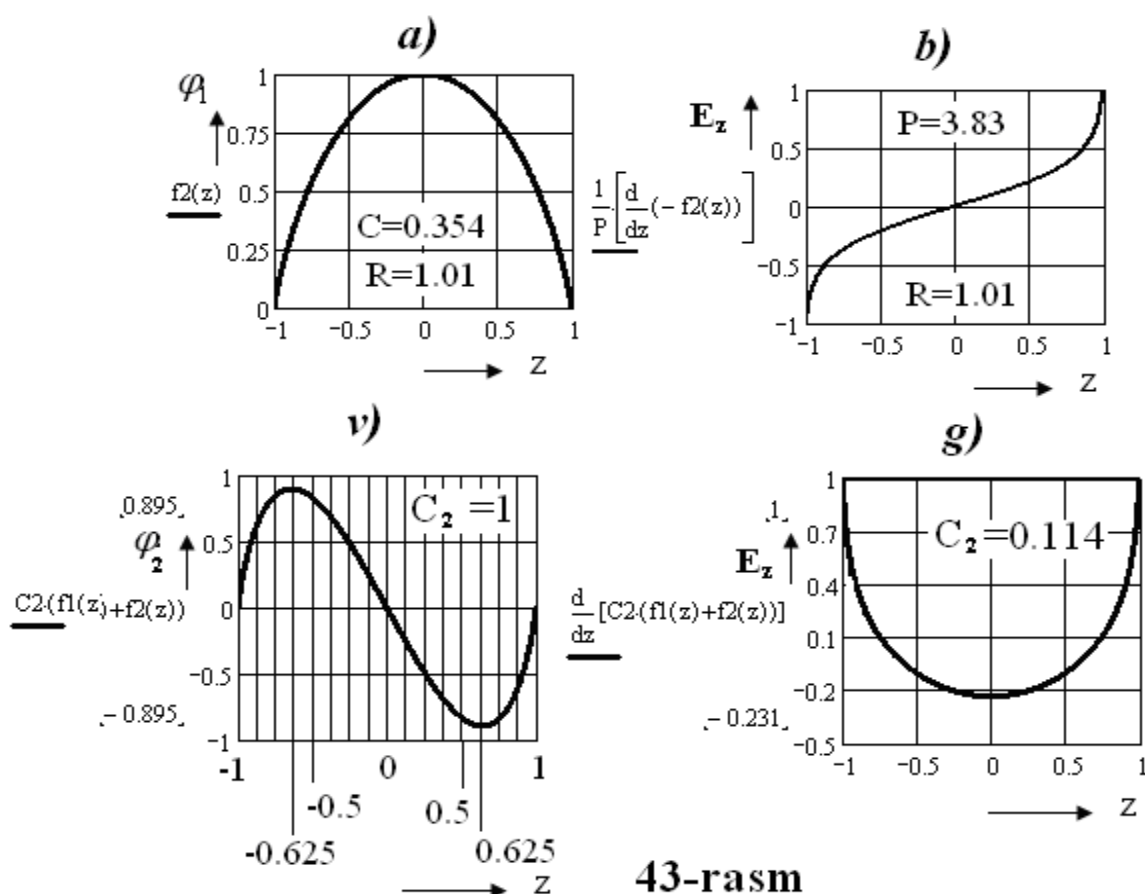
$$\begin{aligned} L_{21h} &= P_h \ln \left| \frac{A(z_1+1) + \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z_1+1))^2}}{A(z_1-1) + \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z_1-1))^2}} \right| \\ L_{21v} &= P_v \ln \left| \frac{A(z_2+1) + \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z_2+1))^2}}{A(z_2-1) + \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z_2-1))^2}} \right| \end{aligned}$$

$$\varphi_{22} = \frac{C_2}{A^2} \int_0^{2\pi} (K_{22} - K_{22h} - K_{22v}) d\alpha$$

$$\begin{aligned} K_{22} &= \left(\sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z+1))^2} - \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z-1))^2} \right) \\ K_{22h} &= P_h \left(\sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z_1+1))^2} - \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z_1-1))^2} \right) \\ K_{22v} &= P_v \left(\sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z_2+1))^2} - \sqrt{1+r^2 - 2r \cos(\alpha - \beta) + (A(z_2-1))^2} \right) \end{aligned}$$

$$P_h = \frac{-A(z-1)}{2}, \quad P_v = \frac{A(z+1)}{2}, \quad E_z = -\frac{\partial \varphi_2}{\partial z}$$

Hisob natijasida olingan potensial $U(z)$ taqsimoti 43v-rasmda tangensial kuchlanganlik $E_z(z)$ taqsimoti 43g-rasmda keltirilgan.



43-rasm

Nazorat uchun savollar

1. Yuqori kuchlanish o'lovini bajarish sharoitlari.
2. Yuqori kuchlanishni o'lchashning ikki prinsipi.
3. Yuqori kuchlanishni sharli razryadniklar bilan o'lchash.
4. Sharli razlyadlagichning afzalligi va kamchiligi.
5. Shar diametrini kuchlanishga qarab tanlash.
6. Elektrostatik kilovoltmetrning ishlash prinsipi.
7. Yuqori kuchlanishli simlardagi tokni o'lchash.
6. Yuqori kuchlanishli tok trasformatorlalarining tuzilishi.
9. Yuqori kuchlanishli o'lchov trasformatorlalarining tuzilishi.
10. Elektr induksiyasi usuli bilan yuqori kuchlanishni o'lchash prinsipi.
11. Rotorli voltmetr bilan megovoltli kuchlanishni o'lchash.
12. Yuqori kuchlanishni majburiy taqsimlash.
13. Faol yuqori kuchlanish taqsimlagichlar.
14. Sig'imli yuqori kuchlanish taqsimlagichlar.
15. Sirt zaryadi maydonini hisoblash.
16. Kulanishni stabillangan magnit moydonni qo'llab aniq o'lchash.
17. Kulanishni stabillangan elektr moydonni qo'llab aniq o'lchash.

VII-bob. KOMMUTATSIYA O'TAKUCHLANISHI

7.1. O'takuchlanish tavsifi

O'takuchlanish deb elektr zanjiri izolyatsiyasining eng katta ishchi kuchlanishdan amplitudasi katta bo'lgan har qaday kuchlanishga aytiladi. O'takuchlanish davomi birnecha mikrosoniyadan birnecha soatga cho'zilishi mumkin. Izolyatsiyaga o'takuchlanishning ta'siri elektr teshilishiga olib kelishi mumkinligidadir.

O'takuchlanishning asosiy tavsifiga quyidagilar kiritiladi:

- kuchlanishning maksimal qiymati;
- o'takuchlanish darajasi, ya'ni o'takuchlanishning maksimal qiymatini eng katta ruxsat etilgan ishchi kuchlanish amplitudasiga nisbati;
- o'takuchlanishni ko'tarilish vaqti;
- o'takuchlanish dovomat vaqti;
- o'takuchlanishdagi impulslar soni;
- tarmoqni egallash kengligi;
- o'takuchlanishni qaytarilishi.

Eng katta chiziqli ishchi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi: $U_{rab}/k_p U_{nom}$, bundagi k_p 18-jadvaldan olinadi.

18-jadval

Kuchlanish sinfi U_{nom} , kV	3 ÷ 20	35 ÷ 220	330	500 ÷ 1150
k_p	1,2	1,15	1,1	1,05

Davlat standarti o'takuchlanish impulsi shakliga qo'shimcha aniqlashlar kiritadi:

- kuchlanish impulsi bu elektr tarmog'i nuqtasida kuchlanishni keskin o'zgarishi, birnecha millisoniya vaqtdan so'ng kuchlanish dastlabki holiga tiklanadi;
- vaqtincha o'takuchlanish bu elektr tarmog'i nuqtasida kuchlanishni $1,1U_{nom}$ miqdorga 10ms ortiqroq vaqtga ko'tarilishi, elektr ta'minoti tizimda kommutatsiya va qisqa tutashuv sababli yuzaga keladi;

-vaqtincha o'takuchlanish koeffitsiyenti bu vaqtincha o'takuchlanish amplitudalarini o'zgarish egri chizig'ining maksimal qiymatini tarmoq nominal kuchlanishi amplitudasiga nisbatidir.

Davlat standarti elektr energiyani qabul qilish kirmalarida kuchlanishning normal ruxsat etilgan turg'un og'ishi elektr tarmog'i nominal kuchlanishidan $\pm 5\%$ va chegaraviy ruxsat etilgan turg'un og'ishi $\pm 10\%$ miqdorida aniqlagan.

O'takuchlanishlar hosil bo'lishi joyi bo'yicha farqlanadi: faza o'takuchlanishi; fazalararo o'takuchlanish; faza ichidagi o'takuchlanish, masalan, transformator chulg'am o'ramlari orasidaga, neytral va yer orasidagi; kommutatsiya apparatining kontaktlari orasidagi o'takuchlanish.

O'takuchlanish hosil bo'lish sabablari bo'yicha farqlanali:

-tashqi o'takuchlanish-atmosfera o'takuchlanishi yashin razryadlaridan hamda boshqa tashqi manba ta'siridan hosil bo'ladi;

-ichki o'takuchlanish-bu rezonans holatidan, avariya dan, qisqa tutashuvdan, elektr tarmog'i elementlarining kommutatsiyasidan hosil bo'ladi.

Yuqori kuchlanish zanjirlarida tashqi o'takuchlanishning bosh manbai yashin razryadlaridir. Eng xavligi qurilmalarga yashinni bevosita urishi bo'lib, bu holda xatto yerlangan qurilmalarda ham katta potentsiallar paydo bo'ladi.

Induksiyaviy o'takuchlanish yashin kanali bilan elektr tarmog'ining tok o'tkazuvchi va yerlangan qismlari orasidagi induktiv va sig'im bog'lanishi sababli paydo bo'ladi. Induksiyalangan o'takuchlanish miqdori yashin bevosita urish o'takuchlanishidan kichikroq bo'lib, ular yashin urgan elektr uzatish yo'liga yaqin 35 kV kuchlanishli tarmoq uchungina xavflidir.

Impuls o'takuchlanishi hosil bo'lgan o'rndan ancha uzoq masofagacha tarqaladi. Bosib keluvchi o'takuchlanish to'liqini nimstansiya elektr uskunalariga xavf tug'diradi, agar uskuna elektr mustahkamligi elektr uzatish yo'li izolyatsiyasi mustahkamligidan kichikroq bo'lsa.

Ichki o'takuchlanish vaqt davomi va hosil bo'lish sababi bo'yicha kvazistatsionar o'takuchlanish va kommutatsiya o'takuchlanishga bo'linadi.

Kvazistatsionar o'takuchlanish birnecha soniyadan o'nlab minutgacha davom etadi va quyidagi turlarga bo'linadi: rejimdan, rezonansdan, ferrozonansdan va set parametrlari o'zgarishidan hosil bo'luvchi o'takuchlanish.

Tartib-rejim o'takuchlanishi yerga nosimmetrik qisqa tutashuvdan hamda yuklama keskin kamaygach sinxran generatorni tezlashuvi (razgon) dan hosil bo'ladi.

Rezonans o'takuchlanishi bir tomonlama elektr ta'minotida elektr uzatish yo'llaridagi rezonans holatlardan va reaktorli elektr zanjirlaridan hosil bo'ladi.

Ferrorezonans o'takuchlanishi g'altakli magnito'tkazgichlar bilan to'yingan zanjirlardan 50Gs chastotada, yuqori garmonikalarda va subgarmonikalarda hosil bo'ladi. Ferrorezonans o'takuchlanishi xususiyati shundaki, ular rezonansga sakrab kiradi.

Kommutatsiya o'takuchlanishi tamoqdagi o'tish jarayonidan va tarmoq ish tartibi keskin o'zgarishidan, ya'ni kommutatsiya apparatlari ishlab ketishidan, qisqa tutashuvlardan va boshqa keskin rejim o'zgarishlardan, induktivlik va sig'implarda to'plangan energiya ishtirokida hosil bo'ladi. Bunday o'takuchlanish elektr uzatish yo'llari, induktivlik elementlari, kodensator batareyalarining kommutatsiyasida kuzatiladi.

O'takuchlanishdan himoyalash tadbirlari. Barcha o'takuchlanishdan himolash tadbirlari ikki guruhga bo'linadi: o'takuchlanishni kamaytirish va kommutatsiyali himoya vositalari bilan elektr uskunalarni himoyalash.

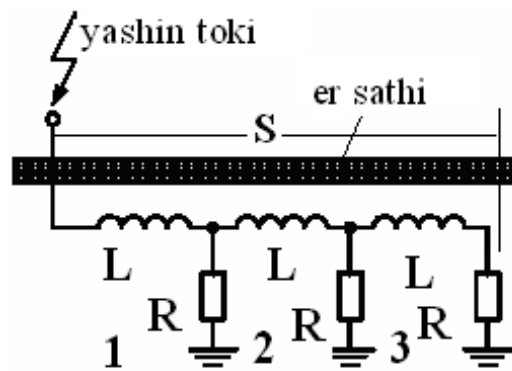
O'takuchlanishni kamaytirish tadbirlari-bu o'takuchlanish hosil bo'lish xavfining oldini olish va paydo bo'lgan joyida o'takuchlanish qiymatini chegaralashga qaratilgan tadbirlardir. Bunday tadbirlarga quyidagilar kiradi:

- shuntlovchi rezistorli o'chirgichlardan foydalanish;
- kontaktlarni ajratilgandan so'ng elektr yoyi qayta yonmaydigan o'chirgichlardan foydalanish;
- yashindan himoyalovchi trosslar va yashin qaytargichlardan foydalanish;
- havo elektr uzatish yo'llari tayanchini yerlash;
- transformator va reaktor chulg'amlari izolyatsiyasini sig'imli himoyalash.

Himoyalovchi zanjirning o'takuchlanishdan kommutatsiyali himoya vositalari o'rnatilgan nuqtada o'takuchlanish chegara qiymatidan kattalashsa, mazkur himoya vositasi ishga tushib, zanjirni manbadan uzadi va yerlaydi. Bunday himoya vositalarga quyidagilar kiradi: razryadniklar, uchqun oraliqli shuntlovchi reaktorlar va nochiziq o'takuchlanish chegaragichlari.

Himoyaning ishonchliligi havo elektr uzatish yo'li tayanchining va nimstansiya uskunalari korpusining yerlash sifatiga bog'liq.

Yerlash tizimining asosiy tavsifi uning qarshiligi bo'lib, u yerlagichni ulash nuqtasidagi potensialni yerlagichdan o'tuvchi tokka nisbati bilan aniqlanadi. Bu potensial yerlagichning eng chekkasiga nisbatan olinadi. Yerlagichning qarshiliga uning tuzilishiga, o'lchamlariga, yerning nisbiy qarshiligiga hamda undan o'tuvchi elektr tokining qiymati va shakliga bog'liq. 50Gs chastotali tokka yer qarshiligi R_{er} va yashin impulsiga yer qarshiligi R_i miqdori turlicha, ular yerlagich impuls koeffitsiyentiga a_i ga bog'liq, ya'ni $R_i = a_i R_{er}$.



44-rasm

Yerlagichdan katta tok o'tganda unga yaqin masofada joylashgan metall qismlardagi induksiyaalangan tok zichligi δ ham katta va elektr maydonning kuchlanganligi $E = \delta \rho_{er_3}$ ham katta bo'ladi, bunda: ρ_{er} - urning nisbiy qarshiligidir. Yerlagichning uzunligi katta bo'lganda uning induktivligi L kattalashadi va $a_i > 1$ bo'ladi. Yerlagichning ekvivalent sxemasi 44-rasmida keltirilgan. $\rho_{er_3} < 1000 \text{ Om} \cdot \text{m}$ holatda tok impulsi ko'tarilishi birnecha mikrosoniya bo'lsa, sig'im toklari o'tkazuvchanlik tokidan ancha kichik bo'ladi, shuning uchun sxemada sig'im ko'rsatilmagan. Agar tok impulsining ko'tarilishi $3 \div 5$ mikrosoniya va yerlagich uzunligi $S > 10 \text{ m}$ bo'lsa, yerlagich uzun hisoblanadi va tok impulsining ko'tarilishida yerlagichning faqat 1 old qismigina ishliyd, tok tushishida 2, 3 va boshqa qismlari ham ishga tushadi.

7.2. Kommutatsiya o'takuchlanishi

Kommutatsiya o'takuchlanishi bu kuch zanjiri elektr tokning tez uzish yoki ulash hamda qisqa tutashuv jarayonlarida magnit maydon energiyasini elektr maydon energiyasiga yoki elektr maydon energiyasini

magnit maydon energiyasiga aylanishi sababli sodir bo'ladi. Zanjir tokining kamayish tezligi qanchalik katta bo'lsa ham o'takuchlanish zanjir sig'imi va induktivligiga bog'liq: $U < I\sqrt{L/C}$. Kommutatsiya o'takuchlanish miqdori ko'p omillarga bog'liq: zanjir parametrlariga; tok kuchiga; tokning kamayish tezligiga; kommutatsiya apparati tuzilishiga va uni kuch zanjiriga ulash nuqtasiga bog'liq.

Zanjir tokining tez o'zgarishi magnito'tkazgich po'latining to'yinishi sababli induktivlikni o'zgarishiga va uyurtma toklar hosil bo'lishiga olib keladi. Uyurtma toklar chulg'amda magnit oqimini kamaytiradi va o'zinduksiya elektr yurituvchi kuchini pasayishiga olib keladi. Tok o'zgarish tezligini oshishi kommutatsiya o'takuchlanishini usishiga sabab bo'ladi. Uzishda tok o'zgarish tezligi zanjir induktivligiga, yoy o'chirish kamerasining tuzilishiga bog'liq.

Kommutatsiya o'takuchlanishi hosil qiladigan jarayonlarning qisqacha tahlili quyidagicha.

Yuklanmasiz havo elektr uzatish yo'lini ulash jarayonida kommutatsiya o'takuchlanishi hosil bo'ladi. Bu jarayonda sig'im effekti sababli hosil bo'lgan kvazistatsionar o'takuchlanish uzatish yo'lining tarqoq induktivligi va tarqoq sig'imida tinchlanuvchi kuchlanish tebranishi to'liqlini bilan qo'shiladi. Mazkur tebranish to'liqlining chastotasi uzatish yo'lining uzunligiga bog'liqdir. Agar sinusoidal kuchlanishni ulash burchagi 90° yoki 270° ga to'g'ri kelsa, tebranish to'liqlini amplitudasi maksimal bo'ladi va tinchigan holat amplitudasidan ikki marta kattalashadi. Agar uzatish yo'lining o'z chastotasi tarmoq kuchlanishi chastotasi bilan teng kelsa, tebranuvchi qism amplitudasi o'n martagacha kattalashib ketishi mumkin. Bunday o'takuchlanish turini pasaytirish uchun quyidagi tadbirlar qo'llaniladi:

-shunlovchi rezistrlarni ikki bosqichli ulash: avval $600 \div 1200 \Omega$ qarshilikli rezistor bilan ulash, keyin $10 \div 20$ millisonidan so'ng bu rezistorni shuntlash;

-eng qulay ulash vaqtini tanlovchi ulagichdan foydalanish;

-o'takuchlanishni cheklash uchun vetil razryadnik va o'takuchlanish cheklagichi OPN dan foydalanish;

-uzatish yo'lini uzunligi $250 \div 300 \text{ km}$ qismlarga bo'laklash.

Avtomatlashgan qayta ulash АПВ (автоматическое повторное включение) jarayoni bir fazali yoki ikki fazali qisqa tutashuvdan keyin bajarilib, unda kommutatsiya o'takuchlanishi hosil bo'ladi. Bu jarayonni yuklanmasiz uzatish yo'lini ulashdan farqi qisqa - tutashuvsiz faza

simida qoldiq elektr zaryadi saqlanib turishidadir. Reaktorsiz uzatish yo'li faza simidagi zaryad izolyator shoda (girlyanda) larining faol qarshiligi orqali yerga oqib o'tadi. Quruq havo sharoitida 0,4 soniyadan so'ng AIB ulansa, qoldiq zaryad sababli faza simidagi kuchlanish dastlabki kuchlanishning 60÷70% tashkil qiladi. Shuning uchun ham AIB ulashdagi o'takuchlanish miqdori yuklamasiz uzatish yo'lini ulash o'takuchlanishidan kattaroqdir.

Yuklamasiz elektr uzatish yo'lini va kondensator batareyasini o'chirish jarayonida kommutatsiya o'takuchlanishi hosil bo'ladi. Sig'imli zanjirlarni o'chirishda o'chirgichning kontaktlari orasidagi muhitning qayta elektr teshilishi sababli ancha katta o'takuchlanishlar hosil bo'ladi. Moyli o'chirgichlarga qaraganda havoli o'chirgichlarda kontaktlarning tez harakati va havo purkash natijasida kontakt oralig'ining teshilish kuchlanishi tezroq kattalashadi. Sinusoidal kuchlanish nulidan o'tishida kontaktlar orasidagi elektr yoyi o'chadi. Yarim davr o'tgach sig'imda saqlangan kuchlanish ta'sirida kontaktlar orasidagi kuchlanish tarmoq kuchlanishidan ikki marta katta bo'lib qoladi va u kontaktlar orasidagi muhitning elektr teshilish kuchlanishidan kattaroq bo'lsa, u holda zanjir qayta ulanib qoladi hamda o'takuchlanish hosil bo'ladi. Zanjir tokining keyingi uzilishi tarmoq kuchlanishi yana nulidan o'tishida sodir bo'ladi va oldingidek tok yana qayta ulanishi mumkin. Bu holda zanjir tokining kommutatsiyasi birnecha ketma-ket zanjir uzilishi va qayta ulanishidan tashkil topishi mumkin.

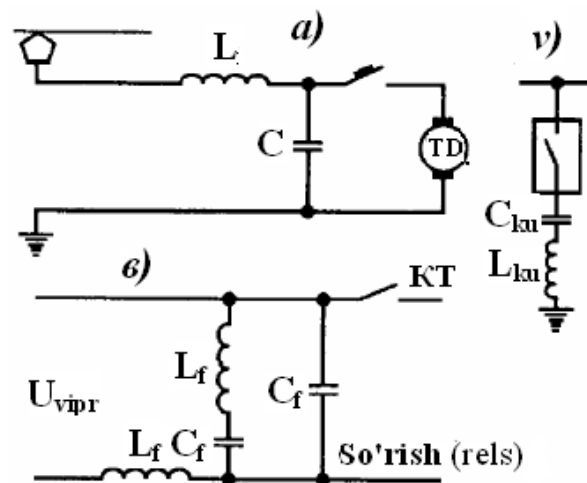
Bunday kommutatsiya turida hosil bo'ladigan o'takuchlanishlar katta qiymati tufayli, qayta ulanish bermaydigan uzgichlarni qo'llash ma'qul.

Qisqa tutashuv tokini uzish jarayonida kommutatsiya o'takuchlanishi ham hosil bo'ladi. Himoyaning selektivligi sababli uzatish yo'lining bir qismi o'chiriladi. Qisqa tutashuvga yaqin uzgich o'chirilgach, uzatish yo'lining qolgan qismida kuchlanish qayta tiklanadi. Uzatish yo'lidagi bo'ylama kompensatsiya qurilmalari o'takuchlanishni uch martadan ortiq manba amplitudasidan kattalashishiga olib keladi.

Yuklamasiz kuch transformatorini o'chirish yoki har qanday induktivlikni o'chirish jarayonida kommutatsiya o'takuchlanishi hosil bo'ladi. Uzgich bilan elektr toki uzilsa, transformator induktivligi bilan zanjir sig'imidan tashkil topgan konturda katta amplitudali tinuvchi tebranish hosil bo'ladi. Uzgichda elektr yoyining qayta yonishi hosil bo'lgan o'takuchlanishni chegaralaydi. Ammo yoyning ko'p miqdorda qayta yonishi ta'sirida o'takuchlanish ham kattalashadi va ishchi kuchlanish amplitudasidan turt va undan ortiqroq kattalashadi. Elektr yoyini

o'chirish tarmoqda tok kamayish tezligiga proporsional o'takuchlanish hosil qiladi. Transformatorni ulash nuqtasiga razryadnik o'rnatilsa, o'takuchlanish chegaralanadi.

Rezonans jarayoni. Elektr tortuv qurilmalarida to'plangan induktivlik (reaktorlar va transformator chulg'amlarida) va elektr sig'implari tebranish konturini tashkil qiladi (45-rasm). Bunday konturni ta'minot tarmog'iga ulasa yoki kammutatsiya va yashin o'takuchlanishi ta'sir qilsa, kontur elementlarida rezonans kuchlanishi hosil bo'lishi mumkin. Bunda induktivlikdagi magnit energiya sig'imdagi elektrostatik energiyaga o'tishi mumkin.



45-rasm

Kommutatsiya o'takuchlanishi kattalashish darajasi K_k , ya'ni o'tish jarayoni kuchlanishi U_{max} maksimal amplitudasini ishchi kuchlanishning maksimal amplitudasiga nisbati $U_{ish\ max}$ bilan tavsiflanadi: $K_k = U_{max} / U_{ish\ max}$.

Havo elektr uzatish yo'llarida o'takuchlanish. Ma'lumki, havo elektr uzatish yo'llarida yashin ta'sirida juda xavfli o'takuchlanishlar paydo bo'ladi. Elektr uzatish yo'llarida kommutatsiyaviy o'takuchlanishlar yo'llarni manba'ga uzib-ulash sababli hosil bo'lsa, rezonans natijasida ham yuzaga keladi. Kommutatsiya o'takuchlanishlari ichida eng havflisi avariyaaviy uzishdan keyingi avtomatik qayta ulash АПВ rejimida paydo bo'ladi. Odatda elektr uzatish yo'llari manba'ga bir tomonlama ulanadi. Bunday holatda 10 km yoki 100 km uzunlikka ega elektr uzatish yo'llari uchun o'takuchlanish miqdorining kattarog'i manba'ga ulangan tomonda emas, aksincha qarama-qarshi tomondan paydo bo'ladi. Agar 6 ÷ 220 kV elektr uzatish yo'llarida kommutatsiya o'takuchlanishi $K_k = 2 \div 3$ karralikka yetsa, 500 kV uzatish yo'llarida $K_k = 1,95$ ga boradi.

Kommutatsiya o‘takuchlanishini cheklash jihozlari: reaktorlar, razryadniklar va boshqalardir.

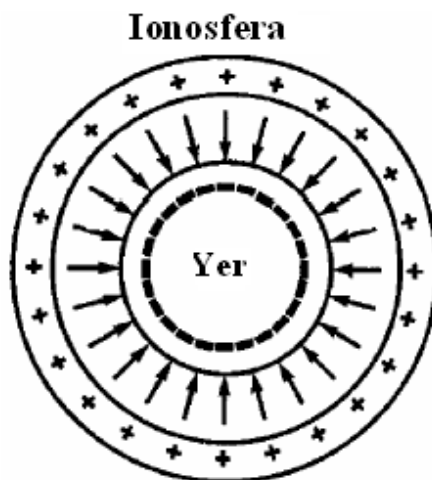
Nazorat uchun savollar

1. O‘takuchlanish turlari.
2. O‘takuchlanish tavsifi.
3. Tashqi o‘takuchlanish nima?
4. Ichki o‘takuchlanish nima?
5. Induksiyaviy o‘takuchlanish nima?
6. Tartib-rejim o‘takuchlanishi nima?
7. Rezonans o‘takuchlanishi nima?
8. Ferrorezonans o‘takuchlanishi nima?
9. Kommutatsiya o‘takuchlanishi nima?
10. O‘takuchlanishdan himoyalash tadbirlari.
11. O‘takuchlanishni kamaytirish tadbirlari.
12. Ishchi yerlash, himoyalovchi yerlash, yashindan himoyalovchi yerlash nima?
13. Yuklamasiz havo elektr uzatish yo‘lini ulash o‘takuchlanishi.
14. Avtomatik qayta ulash AΠB o‘takuchlanishi.
15. Yuklamasiz uzatish yo‘lini va kondensator batareyasini o‘chirish o‘takuchlanishi.

VIII-bob.YASHINDAN HIMOYALASH

8.1. Yashin qaytargichlar

Yashin. Musbat zaryadli ionosfera bilan manfiy zaryadli yer orasi havoli ulkan kondensator bo‘lib, unda doim elektr maydoni mavjud. (46-rasm). Ochiq quyoshli havoda maydon kuchlanganligi 120 V/m, nisbiy solishtirma qarshiligi $\rho_{havo}=2,9 \cdot 10^{13} \text{ Om}\cdot\text{m}$ va elektr tok zichligi $4\cdot 10^{12} \text{ A/m}^2$. Yerdan balandga ko‘tarilgan sari havo bosimi, zichligi va qarshiligi kamayadi. 100 km balandlikda havo kuchli ionlangan bo‘lib, $1000 < \rho_{havo} < 10 \text{ Om}\cdot\text{m}$. Yer elektr maydoni inson va elektr qurilmalarga xavf tug‘dirmasada, yashinli bulutlarda zaryad to‘plashda faol qatnashadi.



46-rasm

Atmosfera havosidagi bulutlarda elektr zaryadining to‘planishi natijasida yashin razryadi sodir bo‘ladi. Yashin razryadi bulutlar hajmidagi tarqoq zaryad bilan yer orasida yerga uriluvchi chaqmoq shaklida atmosfera havosida sodir bo‘ladi. Ba’zi hollarda zaryadlangan bulutlar ichida chaqmoq razryadi yoki zaryadlangan bulutlar orasida chaqmoq razryadi hosil bo‘ladi. Yashin sodir bo‘lishi uchun avvalo bulutlarda elektr zaryadni ishora bo‘yicha bo‘linish hamda malum muddatda bulutlar hududida to‘planish jarayoni o‘tishi kerak. Bu jarayonlarda yerdan uzluksiz ko‘tariluvchi qudratli havo oqimi hamda unda suv

parining jadal kondensatsiyasi faol qatnashadi. Ko'tariluvchi havo oqimi paydo bo'lishiga yerga yaqin havo qatlamining isishi hamda isigan havoni yuqoridagi sovuq havo qatlamdan yengilligi sabab bo'lib, bu asosiy energiya manbai bo'lib xizmat qiladi. Ko'tariluvchi havo oqimi balandlik ortgan sari sovub boraveradi va ma'lum balandlikda to'yingan suv bo'g'ini hosil qiladi. Suv bug'ining kondensatsiyalanish jarayoni issiqlik ajrab chiqib, havo oqimini tkzlashtiradi. $5 \div 8$ km balandlikda harakatchang qutirgan bulutlarni hosil qiladi. Zaryadlanish jarayonini boshlanishiga ionosfera bilan yer orasida kuchlanganligi 100 V/m cha bo'lgan elektr maydoni ta'sir ko'rsatadi. Suv bo'g'ining kondensatsiyasi tufayli juda mayda miroo'lchamli suv tomchilari paydo bo'lib, ular elektr maydonda qutblashgan holatda ikkiga bo'linib, muzlab qoladi. Muzlash jarayoni -18°C juda katta tezlikda borganli sababli mayda bo'laklarga parchalanib ketadi. Muzlagan mikotomchining bir bo'lagida musbat ishorali zaryad to'planib, yer-ionosfera elektr maydonida u pastga yo'nalib harakat qilsa, ikkinchi bo'lagida manfiy ishorali zaryad to'planib, yuqoriga qarab harakatlanadi. Shunday qilib, zaryadlar bo'linib, bulutda manfiy zaryadli bo'lagi va musbat zaryali bo'lagtni hosil qilib, bulut qutblanadi. Yashin razryad kanali havoda tovushdan tez harakatlanganligi sababli kanal hosil bo'lish vaqtida momoqaldir oq paydo qiladi. Zaryadlangan bulutlarda o'rtacha 25 Kl zaryad yig'ilsa ham bulut bilan yer orasida elektr maydon kuchlanganligining o'rtacha V/m qiymati $100 \div 200 \text{ V/sm}$ bo'ladi. Bulutlardagi zaryad markazi atrofida kuchlanganlik $20 \div 25 \text{ kV/sm}$ gacha boradi. Bu havoni tezkor ionlashga olib keladi.

Yashin razryadi kanali lidiri-uchining o'rtacha harakat tezligi $150 \div 300 \text{ km/s}$ ga yaqin. Yashin razryadi yerga yaqinlashganda yerdan ham taxminan 10 m balandlikka razryad kanali lideri ko'tariladi. Ikki liderlar uchrashganda tok keskin o'nlab, yuzlab kA ga ko'tariladi. Katta tokli ionlangan kanal yorug'lik nurini $0,05 \div 0,5$ tezligi bilan bulut tomonga harakatlanadi. Bu jaryon asosiy-bosh razryad yoki qaytish zarbi deb ataladi. Asosiy razryad $20 \div 200 \text{ mk}$ soniya mobaynida lider kanalidan zaryadni yerga keltiradi. Asosiy razryad kanalida tokning kattalashish vaqti $5 \div 10 \text{ mks}$ tashkil qiladi. Bir yashin razryadida $2 \div 4$ asosiy razryad bo'lishi ham mumkin. Yashin razryadining davomi o'rtacha $0,3$ soniyaga teng. Keyingi asosiy razryadlarning tok ko'tarilish vaqti 1 mks ga boradi. Asosiy razryadlar orasida yuzlab amper tok oqib turadi va zaryadni asosiy tashuvchisi hisoblanadi.

Yashin razryadining xavfi maksimal tok qiymati bilan aniqlanadi. Yashin razryadi insonlar va xalq xo'jaligi korxonalariga katta xavf tug'diradi, chunki yong'in va portlashlar sodir qilishi mumkin. Yashin razryadining elektr toki 20 ming amper, ya'ni 20 kA, ga borsa, bulutlar orasidagi va yer bilan bulutlar orasidagi kuchlanish 50÷100 milion voltga, hamda yashin razryadining kanali ichidagi harorat 6000 °C dan yuqorilab, to 30.000 °C gacha borishi mumkin.

Yashinning asosiy xavfi shundaki yashindan himoyalanmagan imorat va inshootga tushib, uning ichidagi elektr qurilmalarga va insonlar hayotini xavf ostida qoldirib, sog'lig'iga putr yetkazadi. Bunday ta'sir **birlamchi bevosita yashin urishi** deb yuritiladi.

Elektrostatik va elektr magnit induksiyasi, hamda yer usti va yer osti metall qismlari orqali atmosferadagi yashinning o'ta yuqori potentsiali kirib kelib, ikkilamchi ta'sir ko'rsatishi ham mumkin. Yashin razryadining kanali juda katta haroratga, ya'ni 20.000 °S dan yuqori haroratga ega bo'lib, katta issiqlik energiya zahirasiga ham egadir. Bu yonuvchi muhitni alangalatishga yetarlidir. Yashin har qanday holatda ham o'ta yuqori potentsiali bilan bevosita tok urish xavfini tug'dirsa, qadam kuchlanishi bilan ikkilamchi ta'sir etadi. Korxona xududida joylashgan imorat, inshoot va qurilmalar yashin qaytargichlar yordamida himoyalanadi.

Inshootlarning eng yuqori qismlari yashin zarbini o'ziga tortadi.

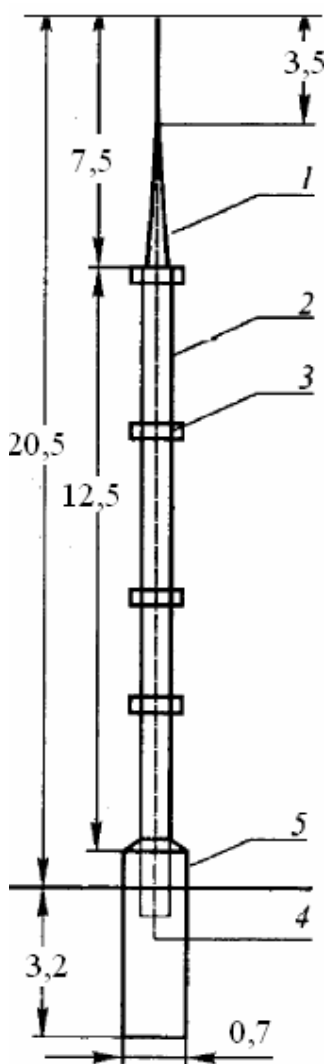
Yashin qaytargichlar bu himoyalagich qurilmalar kompleksi bo'lib, insonlar xavfsizligini ta'minlash, hamda imorat va qurilmalar, elektr uskunalar va materiallarni yashin ta'sirida hosil bo'luvchi portlash, yonib ketish va vayron bo'lish ehtimolidan asrash uchun xizmat qiladi. Imorat va qurilmalar bevosita yashin urishidan turli tizimdagi yashin qaytargichlar yordamida himoyalanadi (47-rasm).

Yashin qaytargichlar uch qismdan iborat:

-yashin tutgich, ya'ni yashin urishini bevosita o'ziga qabul qilib oluvchi qism;

-tok o'tkazgich, ya'ni yashin tokini tutgichdan yerga ulagichga o'tkazib beruvchi qism;

-erga ulagich bu yashin tokini yer bo'ylab xavfsiz



47-rasm

tarqatuvchidir.

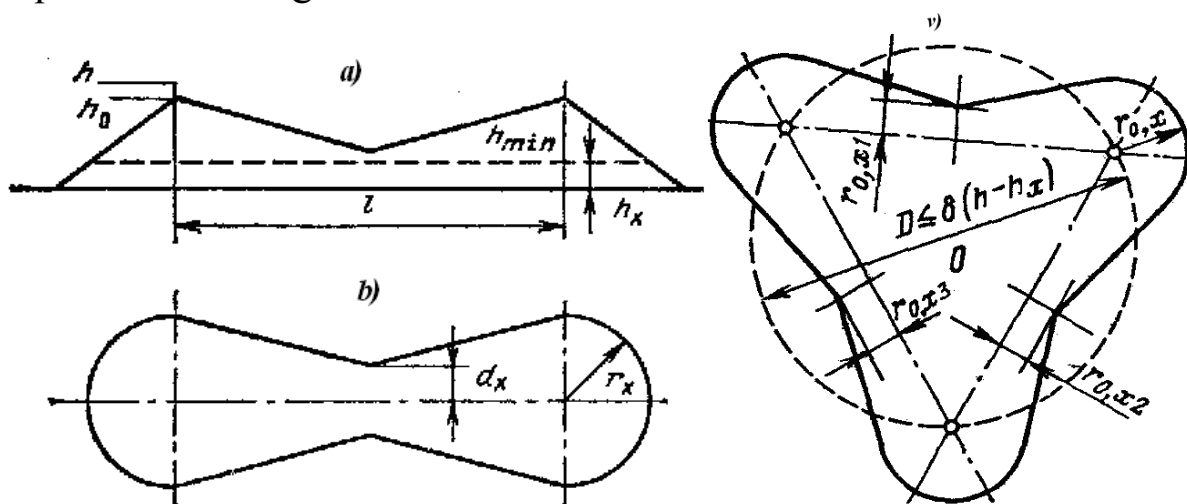
Yashin qaytargichning ishlash prinsipi yashinning eng baland qurilmaga urilish hossasiga asoslangan. Yashin qaytargichning himoya hududi - imorat atrofining shunday bo'lagiki, u bevosita yashin urishidan 99 % darajada ishonchli himoyalangan bo'ladi. Ya'ni himoya hududi maxsus tajriba bilan aniqlanadi.

Yashin qaytargichlar, yashin tutgichlarning tuzilishiga qarab uch asosiy turga bo'linadi:

1). **Tayoqchali** yashin tutgich, 2) **tros va sim antenali** yashin tutgich, 3) **to'rsimon** yashin tutgich. Ba'zi hollarda shularning kombinatsiyasi ham qo'llanadi.

Balandligi 20m gacha yashin tutgich temir betondan ijro etiladi (47-rasm). Rasmda: 1-metall yashin tutgich; 2- temir beton tayanch; tayanch beton ustunlarni bog'lagich; 4-erlash simi; 5- temir beton taglik.

Yashin qaytargichlarning himoya hududi laborotoriya sinovlari asosida olingan bo'lib, ularning ishonchliligi ko'p yillik tajribada tekshirilgan. Yakka tayoqcha shaklidagi yashin qaytargichning himoya hududi uning atrofidagi konussimon sirt bilan chegaralangan. Bunday yashin qaytargichning balandligi h 30m dan katta bo'lsa, uning samaradarligi kichrayadi, shuning uchun samaradarlik koeffitsiyenti p kiritilgan: $p=1$, agar h 30 m teng yoki kaltaroq bo'lsa, $p=5,5/h^{0,5}$ (48a-rasm). Balandlik h_x himoyalalanuvchi qurilmaning eng yuqori nuqtasi va r_x qurilma asosidagi o'lchamdir.



48-rasm. Tayoqchali yashin qaytargichlarning himoya hududi

48a-rasmda ikki tayoqcha yashin qaytargichining himoya hududining vertikal kesimi va 48b-rasmda uning yerdagi gorizantal himoyalalanuvchi

hududi keltirilgan. 48v-rasmda uch tayoqcha yashin qaytargichining yerdagi gorizantal himoya hududi o'ldhami berilgan.

Tayoqsimon yoki trosli yashin tutgichlar ko'pincha mustahkam ustunsimon taglikka o'rnatiladi, yoki imorat konstruksiyasi bilan bog'langan taglikka o'rnatiladi. To'rsimon yashin tutgichlar himoyalovchi imoratning tomiga o'rnatiladi va kamida ikki joyidan tok o'tkazgichlarga ulanadi. Yashin qaytargichning qaysi turini tanlash avvalo qurilmani zarur darajada himoyalash va mablag'ni iqtisodlash shartlariga bog'liq bo'lsa, so'ngra loyiha va arxitektura xususiyatlariga bog'liq.

Yashindan himoyalalanuvchi korxona hududi o'ldhamiga qarab bir yoki bir necha tayoqchasion yashin tutgichlaridan tashkil topadiki, ularning umumiy himoya maydoni koxona hududining goizontal hamda vertikal qismlarini to'la qoplashi kerak.

8.2. Havo elektr uzatish yo'llarini yashindan himoyalash

Havo elektr uzatish yo'llari uchun to'g'ri yashin urishning nisbiy ko'rsatgichi N_{nyau}^* tushunchasi ishlatiladi. Bu 100 yashin*soat davomida uzunligi 100 km elektr uzatish yo'liga to'g'ri yashin urish sonini ko'rsatadi. Hisoblanadiki, havo elektr uzatish yo'li yo'lining ikki tomonidan $3h_{o'r}$ masofadan razryadni o'ziga tortib oladi, bunda $h_{o'r}$ - simni o'rtacha osish balandligi [m]. Shunda

$$N_{nyau}^* = \frac{6,7}{KM^2} * 100KM * 6h_{o'r} * 10^{-3} \approx 4h_{o'r} \quad (8.1)$$

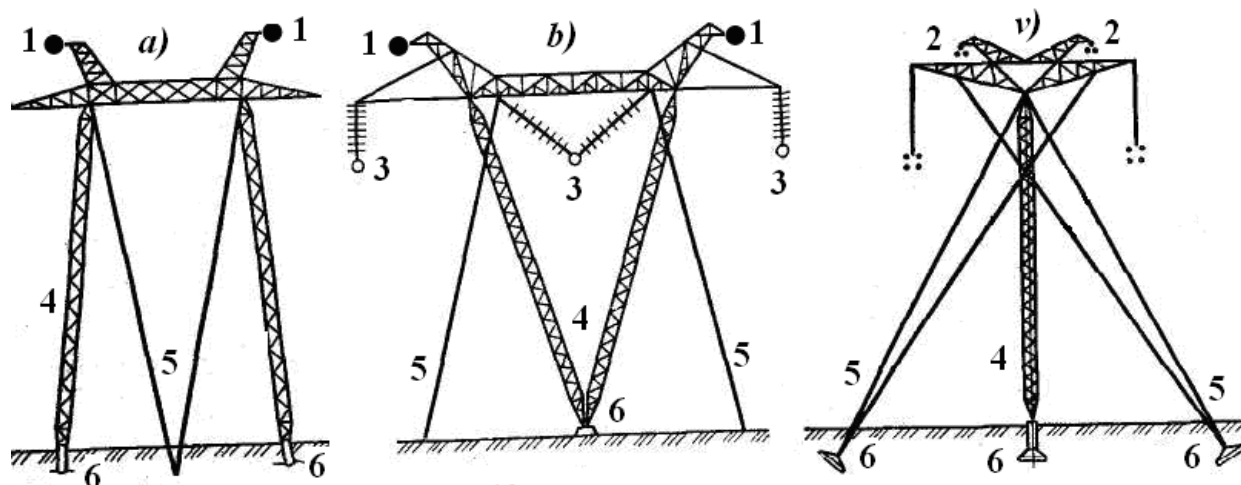
Simni o'rtacha osish balandligi $h_{o'r}$ trosni yoki eng tepadagi simni osish balandligi $h_{o'r}$ va simni osilib turish uzunligi f orqali quyidagicha topiladi

$$h_{sr} = h_{tr} - \frac{2}{3}f \quad (8.2)$$

Agar havo elektr uzatish yo'lining uzunligi 1 km va joylashgan hududidagi bir yildagi yashin*soatlar soni T_{ya} bo'lsa, elektr uzatish yo'liga bir yilda to'g'ri yashin urish soni N_{yau} quyidagicha aniqlanadi

$$N_{nyau} = N_{nyau}^* \frac{1}{100} \frac{T_{ya}}{100} \quad (8.3)$$

Metall tayanchlar 35 kV dan yuqoriroq kuchlanishli elektr uzatish yo'llarda ishlatiladi. Ularga katta metall sarf qilinadi va foydalanishda korroziyaga qarshi kurash talab qiladi (49-rasm).

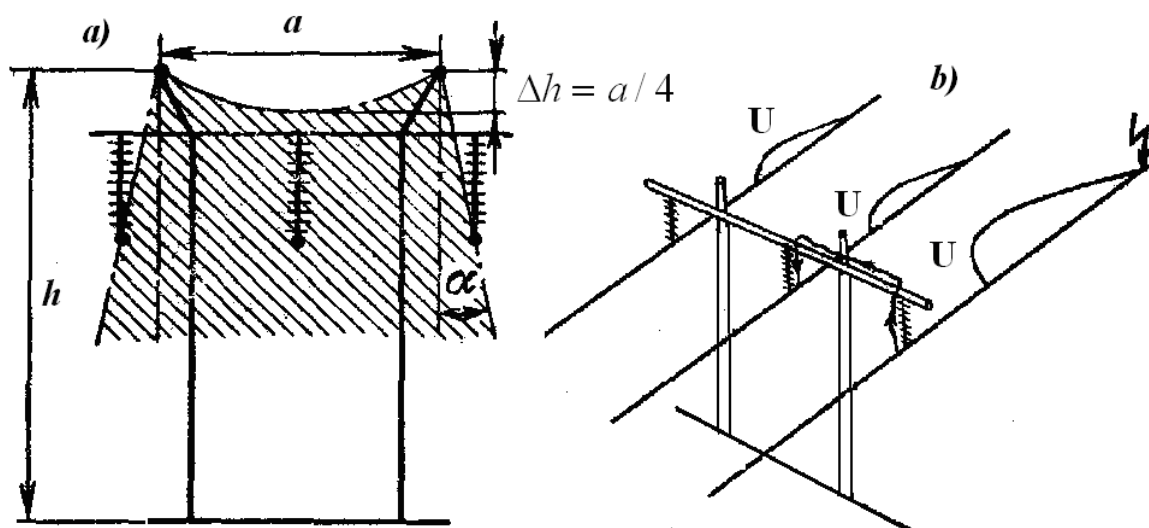


49-rasm

Metall tayanchlar 4 temir-beton fundamentlar 6 ga o'rnatiladi va trosslar 5 bilan tortib qo'yiladi. Metall tayanchlar bajarilish sxemasiga qarab quyidagi shaklga ega: bir ustunli va to'sinli tayanch hamda fundamentga biriktirish usuli bo'yicha; fundamentga erkin turuvchi hamda fundamentga trosslar bilan tortib qo'yilgan tayanch ma'lum. Bunday farqidan qat'iy nazar metall tayanchlar fazoviy panjara shaklida bajariladi.

Havo elektr uzatish yo'llari yashindan himoyalash metall tayanchlarining eng yuqori nuqtasiga o'rnatilgan yerlangan po'lat trosslar 1, 2 yordamida bajariladi.

Havo elektr uzatish yo'llari tross bilan yashindan himoyalash sxemasi tasvirlangan holat 50a-rasmda keltirilga. Rasmda h yerdan tayanchga o'rnatilgan yashindan himoyalovchi trosgacha bo'lgan masofa, a ikki tross orasidagi masofa va burchak α himoyalash burchagidir. Himoyalash burchagining miqdori shunday tanlanadiki, elektr tokini o'tkazuvchi faza simlari albatta uning ichida qolishi ta'mini nlanishi kerak. Himoyalash zonasining troslar orasidagi botiq yoyning uzunligi Δh albatta markazdagi izolyator girlyandasidan balandroqda bo'lishi ko'zda tutiladi.



50-rasm. Havo elektr uzatish yo‘llarini yashindan himoyalash

Yog‘och tayanchli havo elektr uzatish yo‘li simiga to‘ridan-to‘g‘ri yashin urishi natijasida hosil bo‘lgan impuls kuchlanish to‘lqinining tarqalish sxemasi 50b-rasmda keltirilgan. Unda I_m yashin tokining qiymati, z uzatish yo‘li simining to‘lqin qarshiligidir. Odatda simning to‘lqin qarshiligi $z=300$ Om olish qabul qilingan. Simlarda toj razryadi bo‘lsa, u holda simning sig‘imi ko‘payib, uning to‘lqin qarshiligi kamayadi. Izolyator girlyandalari orqali yuqori kuchlanishli to‘lqin bir simdan ikkinchi simga o‘tib ketishi ham mumkinligi ko‘rsatilgan. Simlardagi kuchlanish

$$U = 0,5I_m z \quad (8.4)$$

8.3. Temir yo‘l kontakt tarmog‘ini yashindan himoyalash

Temir yo‘l kontakt tarmog‘i izolyatsiyasini tanlashda asosiy diqqat shunga qaratiladiki, qisqa muddatli o‘takuchlanish elektr impulsi ta’siri natijasida izolyator girlyandasida sirt elektr razryadi paydo bo‘lsa, bu juda qisqa $1 \div 10$ mks muddatli razryad katta xavf tug‘dirmaydi. Kattaroq xavf shundaki, bu impuls razryadi kanali bo‘lab kontakt tarmog‘i yuqori kuchlanishidan oziqlanuvchi uzoq muddatli elektr yoyi yonib turishidir, ya’ni kontakt tarmog‘i simi bilan yer orasida qisqa tutashuv hosil bo‘lishi va bu holatning katta tokli va uzoq muddatli yonib turuvchi elektr yoyidadir. Kontakt tarmog‘i ishonchligini-puxtaligini oshirish uchun eng zarur masala tasodifan paydo bo‘luvchi izolyator sirt razryadining yonish vaqtini chegaralashdadir. Shuning uchun ham

kontakt tarmog'i bo'ylab har 1÷2 km masofada ikki havo oraliqqa ega shohli razryadnik o'rnatiladi. Shohli razryadniklar kontakt tarmog'i bo'ylab atmosfera o'takuchlanishining tarqalishini chegaralaydi hamda kontakt tarmog'i izolyatorlar girlandasida sirt razryadi yonishining oldini oladi.

Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish yo'llaridan farqli o'laroq kontakt tarmog'ining izolyatsiyalash darajasi kichikroqdir. Shuning uchun kontakt tarmog'iga yashin bevosita ursa yoki unga yaqin hududda yerga yashin razryad toki o'tishi sodir bo'lsa, u holda kontakt tarmog'ining, avtoblokirovka va bo'ylama elektr ta'minotiga tegishli elektr uzatish yo'llarining izolyatorlarda sirt razryadi bo'lishi kutiladi. Yilning yashinli davrda izolyator sirt razryadi sababli qisqa tutashuvlar soni sezilarli ko'payib ketadi. Yashin o'takuchlanishi sababli sodir bo'ladigan izolyator sirt elektr urishi elektr ta'minoti qurilmalarining izolyatorni ko'pincha ishdan chiqarmaydi. Bu holda izolyatorlarni ishdan chiqish ehtimoli izolyator sirt razryadi sababli hosil bo'lgan qisqa tutashuv elektr yoyining yonib turish vaqtiga bog'liq. Qisqa tutashuv toki tez o'chirilsa, izolyatorlar ko'plab sirt elektr urishiga chiday oladi. Shuning uchun ham yilning yashinli davrida izolyatorlarning ishdan chiqish soni katta emas. Qish vaqtida kontakt tarmog'iga past harorat va muzlanish ta'sirida izolyatorlar tezroq ishdan chiqadi.

Elektr harakat tarkibi uskunalari izolyatsiyasi elektr mustahkamligi elektr ta'minoti qurilmalarining izolyatsiyasi elektr mustahkamligi qaraganda kichikroq bo'lsada, ular ko'proq ifloslanish, silkinish, titrash-vibratsiya, jadalroq namlanish va tor ish hududi ta'sirida ishlaydi.

Kontakt tarmog'ida yashin urish o'takuchlanishi. Barcha o'takuchlanishni hisoblash usullari havo elektr uzatish yo'llari uchun mo'ljallangan bo'lib, ular ko'plab tajriba tadqiqotlarida tekshirilgan. Mazkur hisoblash usullaridan kontakt tarmog'iga yashin urish o'takuchlanishini hisoblashda foydalanish uchun quyidagi farqni inobatga olish kerak: havo elektr uzatish yo'llari fazasi yakka simlik bajarilsa, kontakt tarmog'i esa ko'p simlik bajariladi: kontakt simi, ko'tarib turuvchi tros va kuchaytiruvchi simlardan tuziladi.

O'zgaruvchan tokda ishlaydigan kontakt tarmog'ida shohli razryadniklar quyidagicha o'rnatiladi:

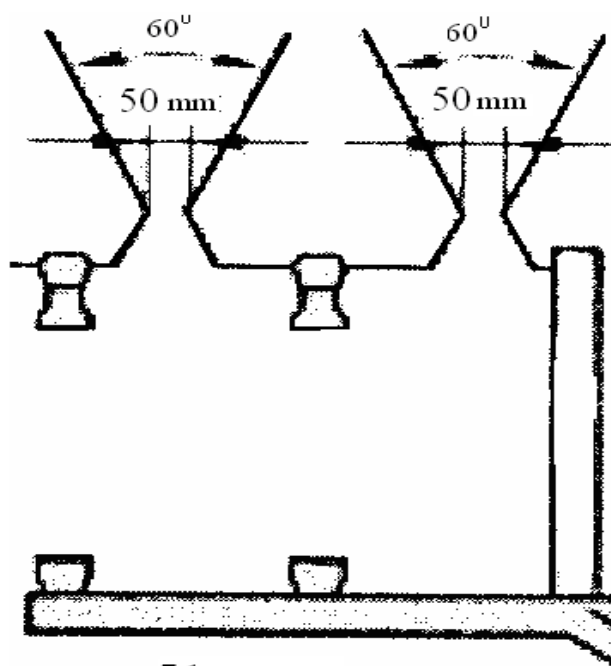
- izolyatsiyalangan chegaraning ikki tomonida;
- har bir yo'ldagi parallel ulovlar ulanadigan joylarda;
- kontakt tarmog'iga ulangan so'rib oluvchi (otsaso'vayuhiy) transformator birlamchi chulg'aming ikkala uchiga;

- ikki va undan ortiq anker uchastkali kontakt tarmog'i chekka qismi oxirida;
- kontakt tarmog'ining elektr ta'minlavchi yo'l ulangan joyiga hamda seksiyalangan stansiyalarda yo'lning oxiriga ammo tortuvchi nim stansiyadan 200m masofadan kamrog'iga, agar yo'l uzunli 300m dan ortiq bo'lsa;
- ikki sim-rels ДПП (два провода и рельс) elektr uzatish yo'llarini kontakt osmasi bilan kesishgan joyning bir tomoniga hamda seksiyalanuvchi xududning ikki tomoniga;
- yilik o'rtacha yashin bo'lish vaqti 60 soatdan ortiq bo'lsa, kontakt tarmog'ining anker simlariga.

8.4. Himoya apparatlari

Himoya apparatlarining ishlash tamoili - ishchi kuchlanish ostida ishlovchi elektr qurilmalarning ishiga halal bermaslik va ular izolyatsiyasini xavfli o'takuchlanish impulsi ta'siridan saqlashdir. Eng sodda himoya apparatlari bu havo uchqun oralig'li shoxsimon razryadnik bo'lib, u izolyatsiyaga parallel ulanadi.

Izolyatsiyani sirt bo'ylab razryadi yoki uning hajmi teshilishidan saqlash uchun himoya qurilmaning volt-sekund tizimi VSX izolyatsiya volt-sekund tizimidan pastroqda bo'lishi shart.



51-rasm

Amalda yashindan himoyalash uchun shoxli razryadniklardan, quvurli razryadniklardan, ventilli razryadniklardan hamda yarim o'tkazgichli chiziqsiz kuchlanish chegaralagichi apparatlardan foydalaniladi.

Shoxli razryadniklar o'zgaruchan va doimiy tokda ishlovchi kontakt tarmog'iga yashin o'takuchlanishining ta'sirini chegaralash uchun mo'ljallangan (51-rasm).

Shoxli razryadnikning asosiy qismi havoda ishlovchi uchqun oralg'i bo'lib, ularning texnik parametrlari 19-jadvalda barilgan. Razryadnik elektrodleri 6 mm yo 12 mm diametrli yo'g'on po'lat simdan yasilib, uchqun oralg'ining uzunligi yuqoriga optimal burchak 60° miqdorda kengayib boradi, ya'ni har bir elektrod vertikalga nisbatan 30° li burchak miqdorida kengayayuchi «shox» hosil qiladi.

Atmosfera yashin o'takuchlanishi to'liqini ta'sirida uchqun oralg'i elektr teshib o'tiladi va kontakt tarmoq yerlangan relsga ulanib qoladi, hamda simdagi zaryadlar yerga oqib o'tadi. Yashin impuls tokidan so'ng uchqun oralg'idan ishchi kuchlanishdan hosil bo'lgan tok o'taboshlaydi va turg'un qisqa tutashuv sodir bo'ladi. Razryadnik elektrodleri orasida payda bo'lgan elektr yoyi issiqlik oqimi va o'zining magnit maydoni ta'sirida yuqoriga ko'tarila boshlaydi. Elektr yoyini kengayishiga elektrodlerining tuzilishi sabab bo'lib, shoxlardan 1 m balandlikda ilon izi shaklidagi yoyning uzunligi 4 m ga borishi mumkin.

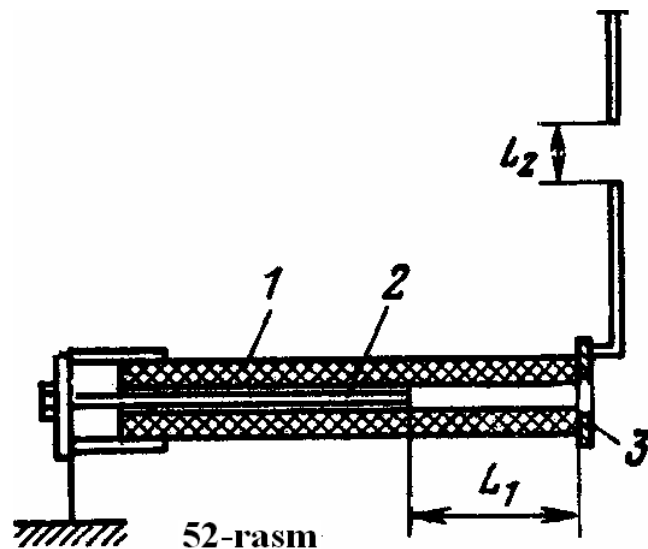
19-jadval. Shoxli razryadniklarning texnik ko'rsatkichlari

Texnik ko'rsatkichlarning turi	miqdori	
Nominal kuchlanish, kV	3,3	27,5
Nominal kuchlanishda elektrodler orasidagi elektr yoyi shamolsiz holatda mustaqil o'chib qoluvchi qisqa tutashuv tokining eng katta qiymati, kA	3	7
Uchqun oraliq masofasining uzunligi, mm	5	50
Sanoat chastotali teshib o'tish kuchlanishining amplitudasi, kV	20	100
Vaqt davomi $2 < t_p < 20$ mks li impuls teshib o'tish kuchlanishi, kV	33	190

Razryadnikdagi elektr yoyini qisqa tutashuvdan himoya tizimi yordamida o'chiriladi. Elektr ta'minoti tizimini normal ishlashi uchun tortuvchi nim stansiyada qisqa tutashuvning relelyli himoyasi va avtomat ravishda qayta ulagich aniq ishlashi shart. Razryadnik kuch transfor-

matordan uzoqroq masofada va uning ustidan o'tuvchi simlar 3 m dan ortiq balandlikda o'rnatiladi. Razryadnikning yerlangan shoxi, ya'ni elektrodi, drossel transformatorining o'rta kirmasiga yoki tortuvchi tarmoq relsiga ikki qator tushuvchi diametri 10 mm po'lat sim bilan mustaxkam biriktiriladi. Shoxli razryadniklar kontakt tarmog'ida izolyatsiyani yashin o'takuchlanishidan qo'shimcha himoya sifatida qo'llaniladi va izolyatsiyani himoyalash uchun takomillashganroq apparat qo'llash tavsiya etiladi.

Quvurli razryadniklar o'zgaruvchan tok tarmig'ida o'takuchlanishni chegaralashga mo'ljallangan. Shoxli razryadniklardan farqi shundaki, quvurli razryadniklar elektr yoyini releyli himoya ishlash vaqtidan kichikroq vaqt ichida mustaqil ravishda o'chiradilar. Quvurli razryadnik asosini elektr yoyi ta'sirida gaz ishlab chiqaruvchi materialdan yasalgan izolyatsiyalovchi quvurcha 1 tashkil etadi.



Gaz ishlab chiqaruvchi g'ovak material sifatida fibra, ya'ni qog'ozli karton, yoki viniplast va organik shisha qo'llaniladi (52-rasm). Fibra elektr yoyi ta'sirida parchalanib, katta miqdorda gazlar chiqaradi va yoyi o'chishga zarur xissa qo'shadi. Quvurning bir tarafi metal qopqoq bilan yopilgan bo'lib, unga tayoq-chasimon elektrod 2 biriktirilgan. Quvurning ochiq tarafida halqa shaklidagi boshqa elektrod 3 joylashgan. Quvurli razryadnikda ichki uchqun oralg'i L_1 va tashqi uchqun oralg'i L_2 hosil qilingan. Tashqi uchqun oralg'i L_2 himoyalauvi faza simi bilan razryadnik orasida bo'lib, u nominal kuchlanish paydo qilgan oqma tokning uzoq muddatli ta'siridan gaz ishlab chiqaruvchi quvurni asrashga mo'ljallangan. Yashin o'takuchlanishi ta'sirida ikkala uchqun oralg'i teshib o'tiladi va simdagi zaryad yerga o'kazib yuboriladi.

Shundan so‘ng razryadnikdan tizimning qisqa tutashuv toki o‘tadi. Razryadnikda yongan elektr yoyi quvur ichida katta miqdorda gaz ishlab chiqarada va bosim $50\div 150 \text{ kg/sm}^2$ ko‘payadi, hamda gaz halqa 3 teshigidan katta tezlikda chiqadigan oqim hosil qiladi. Gaz oqimi yoyga bo‘ylama siqib chiqarish bosimini hosil qilganligi sababli simdagi o‘garuvchan tok birinchi nul qiymatidan o‘tishda yoy o‘chadi.

Quvurli razryadniklarning asosiy kamchiligi: volt-sekund tizimining juda tikligi; kuchlanishni tik kesib tashlashi; qizigan gaz chiqish hududining borligi va atmosferani texnik ko‘rsatgichlarga ta’siri. Razryadnik tuzilishining soddaligi va narxining arzonligi sababli havo elektr uchatgich yo‘llari, kontakt tarmog‘i, kichik quvvatli nim stansiyalar izolyatsiyasini himyalashda cheklangan qo‘llanishga ega. Quvurli razryadniklarning texnik ko‘rsatgichlari 20-jadvalda keltirilgan.

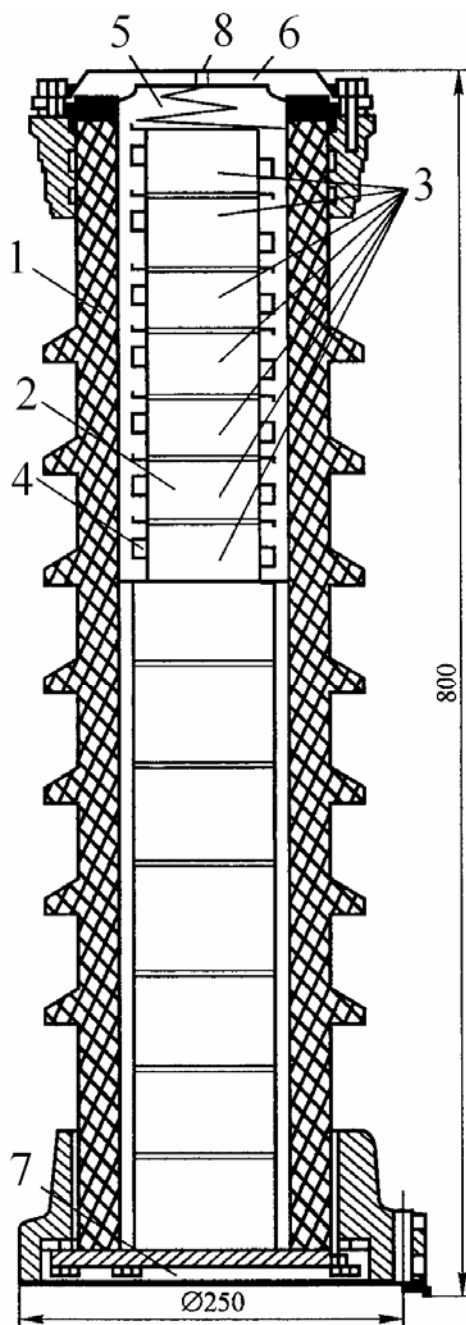
20-jadval. Quvurli razryadniklarning texnik ko‘rsatgichlari

Nominal kuchlanish U_n , kV	6	10	35	110
L_1 , mm	20	40	250	650
L_2 , mm	5	10	30	-
U_{pr} , 50 Gs, kV	20	34	105	252
U_{pr} , + imp, kV	33	51	195	466
U_{pr} , -imp, kV	34	53	220	510

Quvurli razryadniklarning gaz chiqish hududida elektr simlari o‘rnatilmaydi. Razryadnik gorizantalga 15° qiyalikda o‘rnatiladi.

Ventilli razryadniklar elektr tortuv tizimi va elektr uzatish yo‘llarining izolyatsiyasini yashin va kommutatsiya o‘takuchlanishildan himoyalashda eng keng ko‘lamda qo‘llaniladi. Ventilli razryadniklarning asosiy qismini kema-ket ulangan ko‘p sonli havo uchqun oraliqlari va noxiziq volt-sekund tizimli rezistorlar tashkil etadi (53-rasm).

Ventilli razryadniklarning ishi birinchi etapda havo uchqun oralig‘ini elektr teshishdan boshlanib, ikkinchi etapda uchqun oralig‘idagi elektr yoyini o‘chirish bilan tugaydi. Birinchi etap uchun havo uchqun oralig‘inining BCX (вольт-секунд характеристика)si cho‘zilgan bo‘lishini kema-ket ulangan ko‘p sonli havo uchqun oraliqlari ta’minlaydi. Har bir havo uchqun oralig‘i latun elektrodli va 1 mm qalnlkka ega mikanit shayba izolyatsiyali yasaladi.



53-rasm

Elektrodlar orasidagi elektr maydoni birjinslikka yaqin. Havo uchqun oralig'iga o'takuchlanish ta'sir qilsa, mekanit va havo dielektrik singdruvchangligini farqi tufayli havoda elektr maydon kuchlanganligi kattalashib, ionizatsiya boshlanadi. Natijada mk sek o'ndan bir ulish vaqtida havo oralig'i elektr teshiladi.

Ketma-ket ulangan havo oraliqlari elektr sxemasi nuqtai nazaridan ketma-ket ulangan ko'p sig'imli uzun zanjirga o'xshaydi. Bunday zanjir bo'ylab impulsli kuchlanishning taqsimoti chiziqsiz bo'lib, juda tez sur'atda barcha havo oraliqlarining kaskad shaklida teshib ketilishi sodir bo'ladi.

Elektr yoyining o'chirilishiga tok va kuchlanishni faza bo'yicha farqi yo'qligi qo'l keladi. Tok nulga teng holatidan o'tishda elektronlarning katoddan avtoemissiyaviy chiqishi to'xtab qolgach, havo elektr mustahkamligi tiklab olishga ulguradi. Natijada elektr yoyining qayta yonishining oldi olinadi. Ma'lumki, razryadnikning har bir havo oralig'iga parallel ulangan katta omli rezistorlari mavjud. Bu jarayonda tiklanuvchi kuchlanishni havo oraliqlari bo'ylab chiziqli taqsimlanishini

shu rezistorlar ta'minlab beradi.

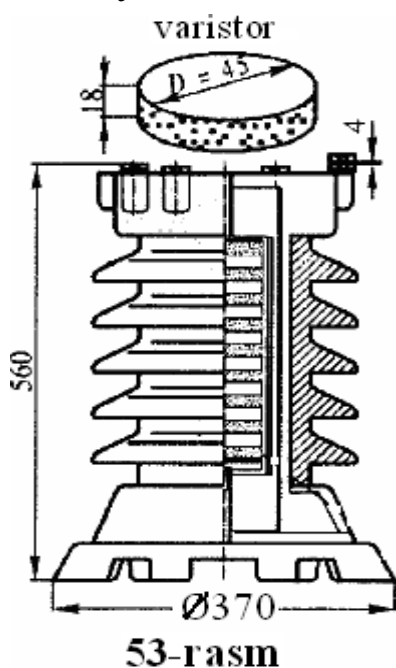
Ventilli razryadniklarda chiziqsiz BCX li rezistorlar sifatida vilit va tervitlardan foydalaniladi. Vilitning asosini elektrotexnik karborund SiC tashkil qilib, bog'lovchi sifatida suyuq shisha ishlatiladi. Tervit vilitga o'xshash bo'lib, yuqoriroq haroratda ishlov beriladi.

Yarim o'tkazgichli kuchlanish chegaralagichlari. Yarim o'tkazgichli asboblarning volt-amper tavsiflari shunday bo'la oladiki, bunday asboblarda tokning katta maqdorda o'zgarishiga qaramay kuchlanishning tushishi o'zgarmay qoladi, yoki kichik miqdorda o'zgaradi. Amalda bundan foydalanilgan birnecha turli himoya tizimlari ishlab chiqarilgan,

jumladan: diodli himoya, tiristorli himoya, varistorli himoya tizimlari. Ayniqsa varistorli kuchlanish chegaralagichlari keng qo'llanilmoqda.

3kV dan 110kV kuchlanishlar sinfiga mansub o'takuchlanish chegaralagichining umumiy ko'rinishi 9j-rasmda (ilovaga qarang, 180 bet) keltirilgan. Rasmda: 1-yuqoridagi flanets; 2-ekran; 3-izolyatsiyalovchi farfor pokrishkasi; 4-polimerli kompozitsiya; 6-pastdagi flanets; 7-erlagich simi ulanadigan bolt; 8-apparat asosi.

53-rasmda yarim o'tkazgichli o'takuchlanishni chegaralagich ОПН-27,5 КС УХЛ1 ko'rsatilgan. Bu apparat o'zgaruvchan tokda ishlaydigan temir yo'l kontakt tarmog'i elektr uskunalarini yashin hamda kommu-



tatsiya o'takuchlanishdan himoyalashga mo'l-jallangan. Apparat ichiga o'rnatilgan 9 ta yarim o'tkazgichli disklar oksid-rux varistori bo'lib, diametri 45 mm va qalinligi 18 mm ga teng.

O'takuchlanishni chegaralagich ОПН -27,5 КС УХЛ1 quyidagi tavsifga ega: kuchlanish sinfi 27,5 kV; eng katta ishchi kuchlanishi 30 kV; impulsi 30/60 mks toki 350 A qoldiq kuchlanish 77,8 kV ortiq emas; impulsi 8/20 mks; toki >500 A qoldiq kuchlanish 79,0 kV ortiq emas; toki >5000 A qoldiq kuchlanish 95,0 kV ortiq emas; toki >10000 A qoldiq kuchlanish 102,0 kV ortiq emas; tok o'tkazish imkoni: 20 tok impuls-lari 2/20 mks da 10,0 kA; >20 to'g'ri to'rtburchak shakldagi 2 mks tok

impulslari da 0,35 kA; og'irligi 40 kg.

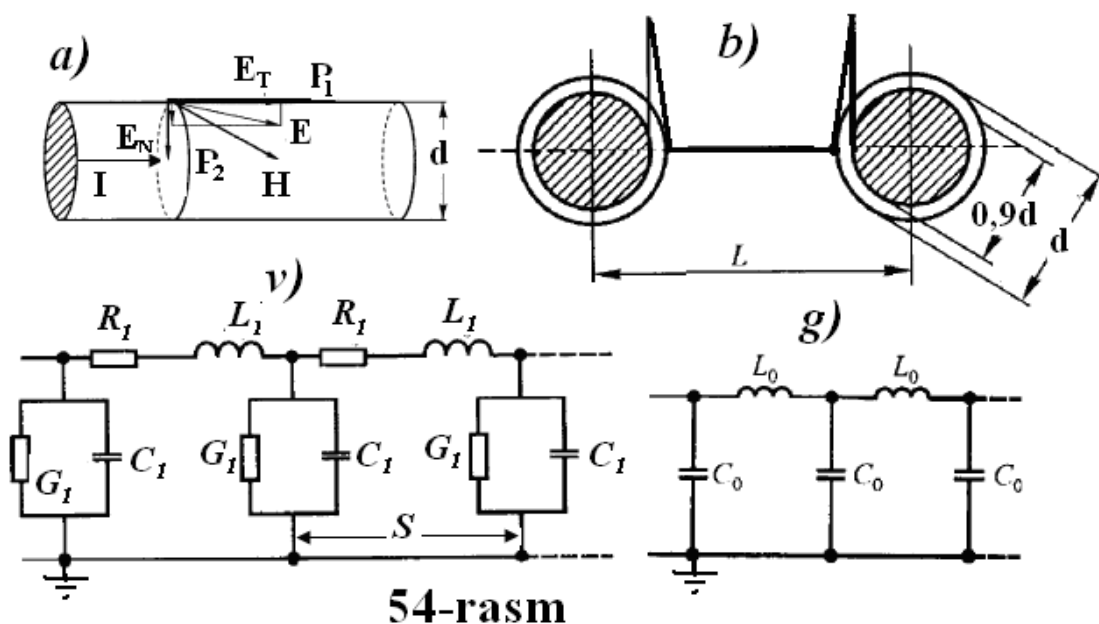
Nazorat uchun savollar

1. Tortuvchi nim stansiyalar yashindan qanday himoyalanaadi?
2. Havo elektr uzatish yo'llari yashindan qanday himoyalanaadi?
3. Yashinning asosiy xavfi nimada?
4. Qanday yashin qaytargichlarni bilasiz?
5. Temir yo'l kontakt tarmog'i yashindan ximoyalash.
6. Himoya apparatlarining turi.
7. Himoya qurilmaning Shoxli razradnikning tuzilishi.volt-sekund tizimiga talab.
8. Quvurli razryadnikning tuzilishi.
9. Ventilli razryadniklarning tuzilishi.
10. Yarim o'tkazgichli kuchlanish chegaralagichlarining ishlash prinsipi.

IX bob. HAVO ELYEKTROUZATISH YO‘LARI VA TEMIR YO‘L KONTAKT TARMOG‘IDA TO‘LQIN JARAYONLARI

9.1. Elektr uzatish simlarning to‘lqin tavsifi

Simlarda elektr energiyani uzatish elektromagnit to‘lqin jarayonlari orqali bajariladi. Elektr tokini o‘tkazuvchi simga kuchlanish berilgan bo‘ladi. Agar sim qarshiligi nulgacha teng bo‘lmasa, sim sirtidagi elektr maydon kuchlanganligi o‘zaro perpendikulyar yo‘nalgan tangensial E_T va normal E_N kuchlanganlikdan tashkil topadi. Magnit maydon kuchlanganligining vektori $\vec{H}$ sim ko‘ndalang kesimi aylanasiga urinma bo‘lib, sim o‘qiga perpendikulyar yo‘nalgandir (54-rasm). Energiya oqimi zichligi $P_1 = E_T H$ havo elektr uzatish yo‘lining simi bo‘lab uzatiluvchi energiyani aniqlasa, sim ichiga yo‘nalgan energiya oqimi zichligi $P_2 = E_N H$ issiqlikka aylanadi [1].



54-rasm

Havo elektr uzatish yo‘li va kontakt tarmog‘i simidan o‘zatiluvchi elektr energiya ma‘nosi shundaki: energiya manbai energiyani elektromagnit maydoni tariqasida nurlatadi. Energiya sim bo‘ylab tarqaladi. Energiyaning bir qismi sim ichiga yo‘nalgan bo‘lib, u to‘laligicha issiqlikka aylanadi. Energiyaning asosiy oqimi sim sirtiga yaqin cheklangan xududda jamlangan bo‘ladi. Bu xudud sim sirti bilan $0.9d$

orasini egallaydi, bunda d-sim diametri. Shunday qilib, elektr energiya metall simning yupqa sirt qatlami bo'ylab tarqaladi.

Havo elektr uzatish yo'li va kontakt tarmog'i to'liq sxemasi 54v-rasmda to'plangan R_1 , G_1 , L_1 , C_1 parametrlari yacheykalari shaklida berilgan. Unda:

- R_1 -bir yacheykadagi simning aktiv qarshiligi;

- $G_1=SG_B+nG_0$ -bir yacheykadagi elektr o'tkazuvchanlik bo'lib, G_B - sim uzunlik birligida sim bilan yer orasidagi tarqoq havo elektr o'tkazuvchanligi, S -bir yacheykadagi sim uzunligi va G_0 -osma izolyatorlar girlyandasining sirt hamda hajm elektr o'tkazuvchanliklari yig'indisi, n -bir yacheykadagi izolyator girlyandalarining soni;

- $L_1=SL_0$ -bir yacheykada to'plangan induktivlik bo'lib, L_0 - sim uzunlik birligida simning tarqoq induktivligi;

- $C_1=S(C_0+C_F)$ - bir yacheykada to'plangan sig'im bo'lib, sim uzunlik birligida C_0 -erga nisbatan tarqoq sig'imi va C_F - qo'shni fazalarga nisbatan tarqoq sig'imi (havo elektr uzatish yo'li uchun).

Muhandislik hisoblarida R_1 va G_1 larning qiymati kachkina bo'lgani sababli elektr uzatgich yo'lining energiya yo'qolishi yo'q, deb olinadi. Bu holdagi ekvivalent sxema 54g-rasmda berilgan. Kontakt tarmog'i parametrlari quyidagicha hisoblanadi.

$$L_0 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2H}{r}, \quad (9.1)$$

$$C_0 = 2\pi\epsilon\epsilon_0 \frac{1}{\ln \frac{2H}{r}}. \quad (9.2)$$

$$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad (9.3)$$

Bunda: H -simning yerdan balandligi; r -sim radiusi; Z -simning to'liq qarshiligi. Havo sharoitida $\epsilon = 0$ va $\mu = 0$ ekanligini hisobga olinsa, to'liq qarshilik

$$Z = 60 \ln \frac{2H}{r}. \quad (9.4)$$

Kontakt tarmog'ining asosiy parametrlari quyidagilardir: Z -to'lqin qarshiligi; v -to'lqin tarqash tezligi; L_0 -simning tarqoq induktivligi; C_0 -simning tarqoq sig'imi; tayanch yerlagichining qarshiligi R_z va induktivligi L_z .

Muhandislik hisoblarida olinadi: ikki simlik elektr uzatish yo'larining to'lqin qarshiligi 300 Om; uch simlik elektr uzatish yo'larining to'lqin qarshiligi 225 Om. Kontakt tarmog'ida to'lqin tarqalish tezligi $240 \div 270$ m/mks. Ikki simli kontakt osmasining tarqoq induktivligi uchun 1,2 mGn/km, uch simligi uchun 0,8 mGn/km. Ko'tarib turuvchi po'lat tross va mis kontakt simlaridan tashkil topgan kontakt osmasining tarqoq sig'imi 0,014 mkF/km. Elektr qurilmalar tartibi PЭY bo'yicha tayanch yerlagichining ruxsat etilgan qarshiligi 30 Om, tayanch yerlagich tarqoq induktivligi 0,55 mGn/km [11].

9.2. Havo elektr uzatish yo'lida to'lqin jarayonlar

Elektr uzatishning hisobiy nominal quvvati P_{nh} nominal kuchlanish U_n va umumiy yoki to'lqin qarshiligi Z bilan quyidagiga bog'liq

$$P_{nh} = \frac{U_n^2}{Z} \quad (9.5)$$

Havo elektr uzatish yo'lariga kuchlanish berilsa, uning simlarida elektr zaryad q hosil bo'ladi. Uch fazali uzatish yo'llari simida zaryad hosil bo'lishiga shu simdagi o'z faza kuchlanishi hamda qo'shni faza kuchlanishlari ta'sir etadi. Uzatish yo'li simidagi zaryad zichligi amplitudasini fazadagi yerga nisbatan kuchlanish amplitudasiga, yoki kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymatiga, bo'linmasi faza uzunlik birligidagi ishchi sig'imi C_0 deb ataladi.

$$C_0 = \frac{q_{mak}}{U_{fmak}} = \frac{q}{U_f} \quad (9.6)$$

Agar uzunligi cheksiz uzatish yo'li elektr mabaqqa ulansa, yo'l simlarida elektr toki I_n oqadi, agar yo'l oxiridan to'lqin qaytishi bo'lmasa yoki yo'l oxiriga yo'l to'lqin qarshiligiga teng aktiv qarshilik ulangan bo'lsa. Bu tok I_n ning qiymatini yo'l bo'ylab tarqaluvchi elektromagnit to'lqini belgilaydi.

$$I_n = qv \quad (9.7)$$

Bunda: v -yo'l bo'ylab tarqaluvchi elektromagnit to'lqin tezligidir. Yulning to'lqin qarshiligi Z faza kuchlanishini natural tokka nisbatidir, ya'ni

$$Z = \frac{U_f}{I_n} \quad (9.8)$$

Yulning to'lqin qarshiligi Z bilan faza uzunlik birligidagi ishchi sig'imi C_0 bog'lanishi (9.2) va (9.4) dan quyidagicha chiqadi

$$Z = \frac{U_f}{qv} = \frac{1}{C_0 v} \quad (9.9)$$

Shunday qilib, elektr uzatish yo'lining to'lqin qarshiligi Z faza simi uzunlik birligidagi ishchi sig'imi C_0 ga teskari proporsiyada bog'langan bo'lib, proporsiya koeffitsiyenti $1/v$ ga tengdir.

Uch fazali elektr uzatish yo'li uchun fazalarning o'zaro qanday joylashishidan qat'iy nazar o'rtacha ishchi tarqoq sig'im quyidagicha hisoblanadi [4].

$$\bar{C}_0 = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \left[\frac{D_{12}D_{13}D_{23}}{r_{\vartheta 1}r_{\vartheta 2}r_{\vartheta 3}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{D_{12}^2}{4H_{\vartheta 1}H_{\vartheta 2}}} \sqrt{1 + \frac{D_{13}^2}{H_{\vartheta 1}H_{\vartheta 3}}} \sqrt{1 + \frac{D_{23}^2}{H_{\vartheta 2}H_{\vartheta 3}}} \right]} \quad (9.10)$$

Xususiyl holda barcha simlar balandligi teng $H_{e1} = H_{e2} = H_{e3} = H_e$ va qo'shni fazalar oralig'i teng $D_{12} = D_{13} = D_{23} = D_0$ bo'lsa, ishchi sig'im quyidagicha hisoblanadi.

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \left[\frac{\sqrt[3]{2}D_0}{r_{\vartheta}} \frac{1}{\sqrt[3]{1 + (D_0/H_{\vartheta})^2} \sqrt{1 + (D_0/H_{\vartheta})^2}} \right]} \quad (9.11)$$

9.3. Elektr uzatish yo'li to'lqin jarayonlarini hisoblash

Ma'lumki, to'lqin qarshiligi Z elektr uzatish yo'lining uzunligi bo'yicha teng o'lchamli tarqoq sig'im C_0 va tarqoq induktivlik L_0 bilan quyidagicha bog'langan:

$$Z = \sqrt{L_0 / C_0} . \quad (9.12)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} . \quad (9.13)$$

Bunda: L_0 -elektr uzatish yo'li faza simi birligidagi tarqoq induktivlikdir.

$$L_0 = \frac{Z}{v} \quad (9.14)$$

Simlarning ekvivalent balandligi H_s quyidagicha aniqlanadi:

$$H_s = H_{\min} + f_{\text{podv}}/3, \quad (9.15)$$

bunda: $H_{\min}$ yerdan simning minimal balandligi; f_{podv} – KC YXJII simning osilganligi.

Simlarning ekvivalent radiusi r_e bir simlik faza uchun sim radiusiga teng, ya'ni $r_e = r_0$, bo'lsa ko'p simli faza uchun ekvivalent radiusi r_e quyidagicha hisoblanadi.

$$r_e = \sqrt[n]{nr_0 r_p^{n-1}} = r_p \sqrt[n]{nr_0 / r_p} \quad (9.16)$$

Nazorat uchun savollar

1. Elektr uzatish simlarning to'lqin tavsiflari.
2. Energiyaning asosiy oqimi sim kesimidagi o'rni.
3. Faza uzunlik birligidagi tarqoq sig'im.
4. Faza uzunlik birligidagi tarqoq induktivlik.
5. Elektr uzatish simlarning to'lqin qarshiligi.
6. Elektr energiyani sim bo'ylab tarqalish jarayoni.
7. Kontakt tarmog'ining to'lqin sxemasi.

8. Simlarning ekvivalent balandligi N_e .
9. Sim bo'ylab fazani o'zgarish koeffitsiyenti.
10. Elektr uzatish yo'lida rezonans holati sodir bo'lish uzunligi.
11. Uzatish yo'lining rezonans tebranishini birinchi chastotasi.
12. Hisoblarda faol isroflarni hisobga olmasa ham bo'ladigan holat.
13. Ko'p simli faza uchun ekvivalent radius.
14. Uch fazali elektr uzatish yo'li uchun tarqoq sig'im.
15. Uch fazali elektr uzatish yo'li uchun tarqoq induktivlik.

X bob. YUQORI KUCHLANISHLI ELEKTR ENERGIYANI OCHIQ VA YOPIQ UZATISH

10.1. Havo elektr uzatish yo'llari

Havo elektr uzatish yo'llari (линии электропередач ЛЭП) va shinalar yuqori kuchlanishli elektr energiyani **ochiq elektr uzatish yo'llari** turiga kiradi. Uning afzalligi nihoyatda soddaligidadir. Darhaqiqat havo uzatish yo'llari simlar, ularni ko'tarib turuvchi yog'och, beton yoki metall konstruksiyali tayanchlar, hamda izolyatsiya girlyandasidan tuzilgan. Shuning uchun ham 110 kV dan 500 kV gacha kuchlanishli havo uzatish yo'llari aynan kuchlanish va quvvatga mo'ljallangan kabel uzatishlaridan ko'p marta arzonroq dir. Elektr energiya uzatishlarning 95% dan ortig'ini havo uzatish yo'llari tashkil qiladi. Yuqori kuchlanishli kabellar esa **yopiq elektr uzatish yo'li** turiga kiradi.

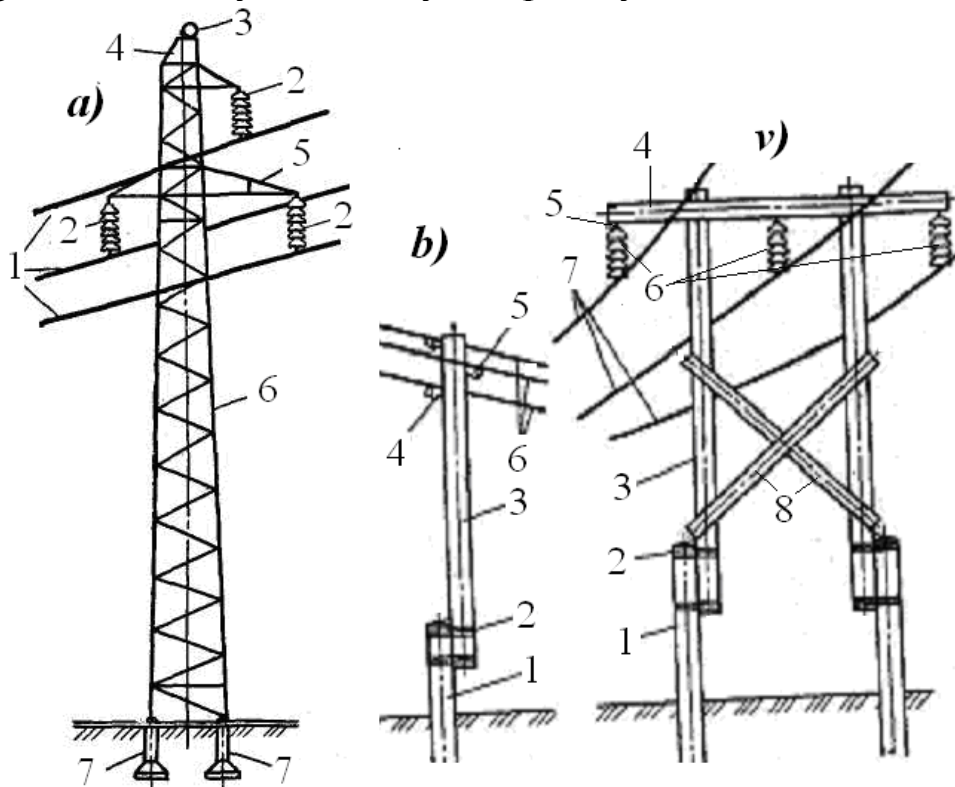
Havo elektr uzatish yo'llarining tuzilishi. Havo elektr uzatish yo'llari elektr energiyasini muayyan masofaga uzatishga xizmat qiladi. Uzatish simlaridan elektr toki o'tadi. Simlarning ustida yashindan himoyalovchi trosslar o'rnatiladi. Maxsus tayanchlar simlarni yer va suv ustidan ma'lum balandlikda ushlab turadi. Uzatish armaturalari yordamida simlar izolyatorlarga hamda izolyatorlar tayanchlarga biriktiriladi.

Bir va ikki zanjirli havo elektr uzatish yo'llari keng tarqalgan. Uch fazali havo uzatish yo'llarida uchta sim bo'lib, har biri bir fazaga ulangan bo'ladi. Ikkita zanjir ko'pincha bir tayanchga osiladi, 6 ta simga ega bo'ladi. Simlarning har uchasi bir zanjirga tegishlidir. Uch fazaga ega bir zanjirli havo elektr uzatish yo'li 55-rasmda keltirilgan.

Bir zanjirli 110 kV havo elektr uzatish yo'lining tuzilish qismlari 55a-rasmda ko'rsatilgan: 1-simlar; 2-izolyatorlar girlyandasi; 3-yashindan himoyalovchi tros; 4-tros tayanchi; 5-tayanch traversa; 6-oraliq tayanchning po'lat ustuni; 7-tayanchning asosi-fundamenti.

Havo elektr uzatish yo'lining tayanchi yog'och konstruksiyasi shaklida ijro etiladi. Bir zanjirli 6÷10 kV uzatish yo'lining tuzilish qismlari 55b-rasmda ko'rsatilgan: 1-yerga kiritilgan «o'gay» (пасинка) ustuncha; 2-ustunlarni ulovchi ikkita po'lat sim belbog', ya'ni bandajlar;

3-asosiy ustun (стойка); 4-izolyatorning po‘lat ilgagi; 5-nayzaga o‘rnatilgan shtirli izolyator; 6-nayzabop izolyator; 7-faza simlari.



55-rasm.

35kV uzatish yo‘lining tuzilish qismlari 55v-rasmda ko‘rsatilgan: 1-erga kiritilgan «o‘gay» (пасинка) ustuncha; 2-ustunlarni ulovchi ikkita po‘lat sim belbog‘, ya‘ni bandajlar; 3-asosiy ustun (стойка); 4-gorizantal traversa; 5-izolyatorning po‘lat ilgagi; 6-likobcha shaklidagi izolyatorlar girlyandasi; 7- faza simlari; 8-ko‘ndalang o‘rnatilgan tralgich belbog‘lar.

Havo elektr uzatish yo‘llari tayanchlariga quyidagi mexanik yuklamalar ta’sir ko‘rsatadi: simlar va trossning o‘z og‘irligi; simlar, trosslar va tayanchda hosil bo‘lgan muzlarning og‘irligi; shamollarning hamda harorat o‘zgarishini kuch ta’siri. Shamol ta’sirida katta chastotali va kichik amplitudada simlarning tebranishi hamda kichik chastota va katta amplitudada simlarning o‘yinga tushishi sodir bo‘ladi. Bunday tebranish va o‘yinga tushishlar simlarni uzilishiga, tayanchlarni sinishiga hamda simlarni chalkashib ketishiga olib kelishi mumkin. Simlar chalkashib ketishi yoki izolyatsiya oralig‘ining kichrayishi havo oralig‘ini elektr teshib o‘tish, ya‘ni proboyga sababchi bo‘ladi. Atmosfera havosining o‘zgaruvchanligi, ayniqsa havoning ifloslanishi, havo elektr uzatish yo‘lini ishdan chiqishiga sababchi bo‘lishi ham mumkin.

Havo elektr uzatish yo'lining simlarida mis ishlatilmay, alyuminiy qotishmalaridan tuzilgan AH va AЖ markali simlar ishlatiladi. Yashindan himoyalovchi trosslar po'latdan yasaladi. Oxirgi yillarda bu trosslardan yuqori chastotali aloqa kanallari sifatida ham foydalanilmoqda.

Havo elektr uzatish yo'lining izolyatsiyalanmagan simlarning tuzilishi 25-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 181 bet). Rasmda a)-bir tomirli mis sim; b)-ko'p tomirli alyuminiy simning; v)-alyuminiy-yashil daira va po'lat-qora doiradan tuzilgan ko'p tomirli alyuminiy-po'lat sim; g) ichi g'avak nimstansiya shinasining ko'ndalang kesimi; d), e), j), z)-havo havo elektr uzatish yo'li simlarni ulash usullari ko'rsatilgan.

Yuqoriroq kuchlanishli havo havo elektr uzatish yo'llarida po'lat-alyuminiy ko'p tomirli simlar ishlatiladi. Belgilari: AC, ACKC, ACKII va ACK, bunda A-alyuminiy, C-po'lat, K-kerroziyaga chidamli degani. AS-120/19 bu alyuminiy-po'lat sim bo'lib, alyuminiy temirlar ko'ndalang kesimi-120 mm² va po'lat temirlar ko'ndalang kesimi -19 mm² deganidir.

Faza simini izolyatsiyalash. Havo uzatish yo'llarida yalang'och sim o'rniga izolyatsiyalangan simlarni qo'llash sim sirtida muz qoplamasi qalinligini va toj razryadi tokini kamayishiga, toj razryadi boshlanish kuchlanishini oshirishga, daraxt tepa shoxlari orqali yerga tutashuvni bartaraf qilishga olib keladi. Kamchili sim aktiv qarshigi tufayli hosil bo'luvchi issiqlik simdan havoga tarqashi kamayib, sim harorati ko'tarilib ketishidadir.

Ko'p tomirli faza simi. Toj razryadi hosil bo'lishini oldini olish uchun va energiya isrofini kamaytirish uchun 500 kV dan yuqoriroq kuchlanishli havo elektr uzatish yo'llarida har bir faza bir necha simlarga bo'laklanadi. Faza simlarini bo'laklash toj razryadi kuchlanishini kamaytirish maqsadida ishlatiladi va simlar 3 burchak, 4 burchak, 5 burchak, 6 burchak, 8 burchak va 12 burchak shakllarning qirralariga joylashtiriladi.

Havo elektr uzatish yo'llari izolyatsiyasi 4.3 qismda yoritilgan.

Elekt uzatish yo'llarining tayanchlari ikki turkumdan iborat: chekka-anker tayanch va oraliq tayanchlaridir. Ular konstruksiyasi, ayniqsa mustahkamligi, va simlarni osish usuli bilan farqlanadi. Anker-chekka tayanch simlarni tortishga xizmat qilsa, **oraliq tayanch** simlarini ko'tarib turadi xolos. **Anker tayanchlari** orasidagi masofa **anker oralig'i** deyilsa, oraliq tayanchlari orasidagi masofa, soddagina **simli**

oraliq deyiladi. Havo elektr uzatish yo‘llarda **shaxobcha tayanchlar** asosiy uzatishdan shaxobcha ajratishda va **o‘tish tayanchlari** (перехдные опоры) daryo va katta jarliklardan o‘tishda ishlatiladi.

Yog‘och tayanchlar havo elektr uzatish yo‘llarda keng qo‘llaniladi. Ularning asosiy afzalligi: o‘rmon ko‘p joylarda arzonligi va yasashning osonligi. Kamchiligi: yog‘ochni tez chirishi, ayniqsa yerga tekkan qismini. Bundan asrashga antiseptik modda bilan ishlov berish va yerga po‘lat yoki temir beton qoziq o‘rnatish yordam beradi. 6÷10 kV havo elektr uzatish yo‘llar yog‘och tayanchlari yakka ustunlik bajarilib, 3 ta nayzabop izolyator ilgak (крюк)ka o‘rnatiladi.

10.2. Havo elektr uzatish yo‘llari izolyatsiyasini hisoblash

Simning chegaraviy ruxsat etilgan tok yuklamasi. Havo uzatish yo‘li simida aktiv qarshigi tufayli uzunlik birligida hosil bo‘luvchi issiqlik Q_{T+} sababli sim qiziydi [4].

$$Q_{T+} = I^2 R_0 = I^2 \frac{\rho_0}{S_0} = I^2 \frac{\rho_0}{\pi r_0^2 X_{tol}}. \quad (10.1)$$

Bunda: ρ_0 - harorat ϑ bo‘lganda simning nisbiy qarshiligi; S_0 -simning aktiv kesimi; X_{tol} -aktiv material bilan simning to‘la kesimini to‘ldirilganligi.

Simni qizish harorati atrof havo haroratiga bog‘liqdir, chunki sim sirtidan issiqlikning tarqashi havo harorati va issiqlik tarqash sharoitiga bog‘liq. Simdan issiqlik infroqizil nurlanish va konveksiya, ya’ni havo harakati, usulida tarqaladi. Elektr qurilmalardan foydalanish qoidalari IIYD simdan chegaraviy katta tok tinimsiz o‘tganda simning qizib ketish sababli chegaraviy ruxsat etilgan harorat 70°S deb belgilangan [11].

Vaqt birligida sim uzunligi birligadan tarqaluvchi issiqlik quyidagicha

$$Q_{T-} = 2\pi r_0 k_T (\vartheta - \vartheta_0). \quad (10.2)$$

Bunda: ϑ -sim harorati; ϑ_0 -havo harorati; k_T -issiqlik berish koeffitsiyenti bo‘lib, u sim harorati va diametriga bog‘liq. Turg‘un harorat simda ajrab chiquvchi issiqligi Q_{T+} simdan tarqaluvchi issiqlikka Q_{T-} teng bo‘lganda sodir bo‘ladi, ya’ni $Q_{T+} = Q_{T-}$. Bu tenglikdan simga ruxsat etilgan tok I_{rux} quyidagicha topamiz.

$$I_{rux} = \pi r_0^{3/2} \sqrt{\frac{2k_T X_{rux} (\vartheta - \vartheta_0)}{\rho_0}}. \quad (10.3)$$

Havo elektr uzatish yo'lining quvvat o'tkazuvchanligi (пропускная способность) deganda bu yo'l orqali o'tkaziladigan vaqti chegaralanmagan maksimal quvvat tushiniladi. Havo uzatish yo'lidan foydalanishning barcha talablariga rioya qilgan holda simlardan o'tadigan tokni, kuchlanish tebranishini chegaralab, hamda turg'un holatini ta'minlab beradigan ba'zi sim turlari uchun uzoq muddat oqishi ruxsat etilgan maksimal tok miqdori havo harorati $\vartheta_0 = 25^\circ\text{S}$ bo'lganda 21-jadvalda keltirilgan.

Simda ruxsat etilgan tok zichligi. Faza simlarida uzoq muddat oqishi ruxsat etilgan bunday katta tok I_{dop} katta elektr israfiga olib keladi va tok I_{dop} o'tishi faqat ilojisiz hollarda, masalan, parallel uzatish yo'lining avariyasi sababli, ruxsat etiladi. Simning ko'ndalang kesimi ko'payishi bilan ruxsat etilgan tok I_{dop} ning zichligi kamayadi.

21-jadval

Sim turi	Ruxsat etilgan tok, I_{rux} , A	Tok zichligi, A/mm ²	Sim diametri, mm
AC 120/27	375	3,125	15,2
AC 150/24	450	3,0	17,1
AC 150/44	450	3,0	17,5
AC 185/43	515	2,78	19,6
AC 240/50	610	2,54	11,2
AC 300/48	680	2,27	24,5
AC 330/27	730	2,21	24,8
AC 400/51	705	1,76	27,5
AC 500/64	945	1,89	30,6

Yuqori kuchlanishli simlar uchun ruxsat etilgan tok I_{rux} zichligini $J_{rux} = 2 \text{ A/mm}^2$ olingani ma'qul. O'zbekiston sharoitida $J_{rux} = 0,7 \div 0,8 \text{ A/mm}^2$ olinadi.

Simdagi elektr tokining zichligi J quyidagicha hisoblanadi

$$J_{rux} = \frac{I_{rux}}{S_0} = \sqrt{\frac{2k_T (\vartheta - \vartheta_0)}{r_o}} \quad (10.4)$$

Simlararo havo izolyatsiyasini hisoblash. Atmosfera bosimli havoda bunday hisoblar qabul qilingan hisbiy razryad kuchlanishlari: U_{his} , $U_{his\ yash}$, $U_{his\ nom}$ asosida olib boriladi. Dengiz sathidan 1000 m balandlikkacha o'rnatiluvchi va Avtomatik qayta ulash AΠB mavjud tizimidagi tashqi izolyatsiyaning hisobiy kuchlanish U_{xis} quyidagicha aniqlanadi:[30]:

$$\begin{aligned} U_{xis} &= (1,05-1,0)U_{quruq} \\ U_{xis\ yomg'} &= (1,05-1,0)U_{yomg'} \\ U_{xis\ ichk} &= (1,05-1,0)U_{ichk} \\ U_{xis\ yash} &= (1,05-1,0)U_{imp} \\ U_{his\ nom} &= (1,05-1,0)U_{nom} \end{aligned} \quad (10.5)$$

Bu formulalarda: U_{xis} - tashqi izolyatsiyaning hisobiy kuchlanishi, U_{quruq} - quruq holatda tashqi izolyatsiyaning sinov kuchlanishi

50 Gs chastotali o'zgaruvchan tokda izolyatsiyalovchi oraliq L (santimetrda) va U_{his} orqali quyidagicha aniqlanadi.

1. Nayza-nayza havo oralig'i va nayza-erlangan tekislik havo oralig'i uchun $U_{his} < 40kV$ va $L < 9sm$ holatda:

$$L = 12.78 - \sqrt{163.27 - 3.7U_{his}}; \quad U_{his} = -0.016 + 6.91L - 0.27L^2 \quad (10.6)$$

2. Nayza-erlangan tekislik havo oralig'i uchun $40kV < U_{his} < 380kV$ va $9sm < L < 100sm$ holatda:

$$L = 0.285U_{his} - 2.85; \quad U_{his} = 3.51L + 10; \quad (10.7)$$

3. Nayza-nayza havo oralig'i uchun $40kV < U_{his} < 380kV$ va $9sm < L < 100sm$ holatda:

$$L = 0.27U_{his} - 2.7; \quad U_{his} = 3.7L + 10 \quad (10.8)$$

4. Tayoqcha-erlangan tayloqcha havo oralig'i uchun $380kV < U_{his} < 2200kV$ va $100sm < L < 900sm$ holatda

$$\begin{aligned} L &= 10.56 - \sqrt{109.1 - 46.567 * 10^{-3}U_{his}}; \\ U_{his} &= 2343 + 21.747(10.56 - 0.01L)^2 \end{aligned} \quad (10.9)$$

10.3. Yuqori kuchlanishli kabellar

Yuqori kuchlanishli kabellar **yopiq elektr uzatish yo'llari** turiga kiradi. Kabel maxsulotlari ishlatilishi bo'yicha quyidagi turlarga bo'linadi: havo elektr uzatish yo'llarida ishlatiladigan izolyatsiyalanmagan simlar; elektr transporti kontakt tarmog'ida ishlatiladigan izolyat-

siyalanmagan maxsus profilli simlar; turg'un va harakatdagi energiya iste'molchilarga mo'ljallangan kuch kabellari; nazorat kabellari; montaj uchun simlar; chulg'amlar uchun simlar; xo'jalik va qurilma simlar; simli telefon aloqasi kabellari; maxsus kabellar.

Havo elektr uzatish yo'llarida ishlatiladigan izolyatsiyalanmagan simlarga katta mexanik yuklama, atmosfera yog'ingarchiliklari va havo kislorodi ta'sir ko'rsatadi. Bunday simlar po'lat-alyumin yoki alyumin qotishmasidan yasaladi. Po'lat-alyumin simlarning o'rtasida po'lat simlar joylashtirilib, uning atrofiga alyumin simlar o'raladi. Simlar orasiga korroziyaga qarshi neytral qovushqoq modda kiritiladi. Elektr transportida ishlatiladigan simlar kundalang kesimi maxsus shakl berilgan mis va mis qotishmalaridan yasaladi.

Kabel elektr uzatish yo'lining afzalligi: ularda namlanishning yo'qligi; egiluvchanligi va cho'ziluvchanligi; burilishlarga chidamliligi; ichidagi tomirlarni siljimasligi uchun yetarli qattiqligi, sanoat energitikasida 6 kV, 10 kV, 35 kV, 110 kV, 132 kV, 220 kV, 275 kV, 345 kV, 380 kV, 400 kV, 500 kV, 750 kV kuchlanishli kabellar ishlatilmoqda. Kuch kabellari turg'un iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlashga mo'ljallangan bo'lib, ular yer osti transheyali, kanallari, tunnellariga joylashtiriladi.

Kuch kabellari kuchlanishi qatori: 0,4 kV, 6 kV, 10 kV, 35 kV, 110 kV, 220 kV; 500 kV, 750 kV va undan yuqori kuchlanish uchun mo'ljallanadi.

Qog'oz-moy izolyatsiyali kabellar. Kuch kabellari ko'ndalang kesimining ko'rinishlari 56-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 183 bet). Rasmda: *a)* dumoloq ikki tomirli, ezilmagan; *b)* dumoloq uch tomirli, ezilmagan; *v)* to'rt sektor tomirli, ezilgan; *g)* uch sektor va bir dumoloq tomirli, *c)*zilgan; *d)* ikki yarim doira tomirli; *e)* uch sektor tomirli va neytralli, ezilgan; *j)* uch segment va bir uchburchak tomirli; 1-tok o'tkazuvchi jilalar; 2-nol jila; 3-tok o'tkazuvchi tomir (жила)larning izolyatsiyasi; 4-tok o'tkazuvchi tomir (жила) ekrani; 5-kesimni o'rab turuvchi izolyatsiya; 6-to'ldiruvchi material; 7-tomi izolyatsiyasining ekrani; 8-tashqi obolochka; 9-zirxli qoplama; 10-tashqi himoya qoplamasi.

Temir yo'l elektr ta'minoti tizimlarida 6 kV, 10 kV, 35 kV, 110 kV va 220 kV kuchlanishli kuch kabellari ishlatiladi.

6 kV va 10 kV kuchlanishlarda mis tomirli СБГ va СБГБ kabellari va alyuminiy tomirli kabellar ishlatiladi. Kabelning qog'oz izolyatsiyasi oddiy kabel massasi bilan shimdirilgan bo'lsa, 100 metr oraliqda

sathlarning farqi 15 metrdan ortmaydigan uzatish trassada yotqizilishi kerak.

Trassalarda katta qiyalik va vertikal (tik) uchastkalar ko'p bo'lsa, maxsus oqib tushmaydigan tserezin massasi bilan shimitilgan qog'oz izolyatsiyali kabellar ishlatiladi. Uning markasiga II xarfi qo'shiladi. Masalan: IIСБГ. Undan tashqari kabel moyi kamroq shimdirilgan kabel ham yuqoridagi hol uchun ishlatiladi. Unda markasi oxiriga B harfi qo'shiladi: ААБВ-qog'oz izolyatsiyali, alyuminiy tomirli va qobiqli, zirhli, korroziyaga qarshi qoplamali, vertikal o'tkazish uchun chiqarilgan kabel.

20 kV va 35 kV kuchlanishli kuch kabellari markasi АОСБГ-faza tomirlari alohida qo'rg'oshin qobiqli, АОСК-dumaloq po'lat simlardan zirhli.

110 kV kuchlanishli kabellar moy to'ldirilgan, bir fazali bo'lib, mis tomiri ichida moy bosim ostida bo'ladi. Mis tomir to'g'ri burchakli kesimli simlardan quvur qilib o'ralgan bo'lib, simlar orasidagi tirqish (зазор) dan moy chiqib, tashqarida o'ralgan qog'oz izolyatsiyani yog'lab turadi. Bunday kabellarning quyidagi markalari mavjud: MHCA-110-moy to'ldirilgan past bosimli (1 kg/sm^2 gacha), МССА-o'rta bosimli (3 kg/sm^2 gacha)-asfalt qoplamali bo'lib, transheyaga yotqiziladi.

Kabelni mexanik zararlanishdan asrash uchun qobiq ustiga po'lat tasmadan zirx hosil qilinadi. Metall zirxni korroziyadan asrash uchun ustiga bitum singdirilgan kabel qog'ozi yoki to'qima tasma o'rab muxofazalanadi. Kuchlanishi 35 kV gacha kabelda moy-konifol kompaundi ishlatiladi. Moyga $15\div 30 \%$ konifol qo'shilsa, uning quyushqoqligi ortadi va oqib ketishdan asraydi.

6 kV va 10 kV kuchlanishlarda mis tomirli SBG va SBGV kabellari va alyuminiy tomirli АСВ kabellar ishlatiladi.

Kabellarni yotqizish usullari 57-rasmda ko'rsatilgan (ilovaga qarang, 183 bet). Korxona hududida kabellar trassalarini va yotqizish usullarini tanlash muhim masala hisoblanadi. Temir yo'llar, avtomobil yo'llari, sexlar binolarini ham kabel trassalari chetlab o'tishi kerak. Kabellar yotqizishning eng sodda usuli ularni yer osti transheyalarida, 10 kV gacha kuchlanishda 0,7 metr chuqurlikda va 35 kV da 1 metr chuqurlikda yotkizish bo'lib, transheyaga $1\div 2$ ta kabel yoqizilsa, uning eni 0,4 m olinsa, uchta kabel uchun 0,55 m olinadi (57a-rasm).

Kabellar beton kanallarga ham yotkiziladi. Kabellarning ochiq kanallardagi konstruksiyalarda joylash sxemasi 57b-rasmda va yopiq

kanaddardagisi 57ν-rasmda berilgan. Unda: 1-kabel joylash konstruksiyalari; 2-yong‘inga chidamli to‘siq; 3, 4-kuchlanishi 1kV dan yuqori va 1kV dan past kuchlanishli kuch kabellari; 5-nazorat kabellari; 6-nazorat va aloqa kabellari. Ichki hamda tashqi beton kanallarga yotkizish namunalari 57ν-rasmda keltirilgan.

Kabelda yo‘qotiluvchi quvvat. Kabelning izolyatsiyasi eng mukammal bo‘lib, mustahkamlanish koeffitsiyenti 4÷5 ortiq bo‘lgani uchun odam yashin va kommutatsiya o‘ta kuchlanishiga chidamlidir. Bunday kabellarning quvvat o‘tkazish imkoni izolyatsiyaning chegaraviy harorat tu ga bog‘liq. Kabel izolyatsiyasida yo‘qotiluvchi quvvat ΔP_y [Vt/m] juda ahamiyatga molikdir:

$$\Delta P_y = U_{fn}^2 \omega C_f \operatorname{tg} \delta \quad (10.10)$$

Bunda: C_f -faza sig‘imi, mkF/sm; $\operatorname{tg} \delta$ -dielektrik yo‘qotish burchagining tangensi; U_{fn} - faza nominal kuchlanish, kV. Kabellarda elektr toki o‘tkazuvchi tomirlarida quvvat yo‘qotilishi ΔP_{yt} , har bir fazani ekranlovchi po‘lat tasmlarda yo‘qotilishi P_{pt} va quvurda yo‘qotilishi P_q , larni jamlab, quvvatning to‘la yo‘qotilishi ΔP aniqlanadi.

35 kV kabelning izolyatsiyasida quvvat yo‘qotilishi tok o‘tkazuvchi tomirlardagi yo‘qotilishning bir necha protsentini tashkil qilsa, 500 kV kabelda esa ular o‘zaro yaqin qiymatga ega. Shuning uchun ham kabelni quvvat o‘tkazish imkoni faqat tomir toki I_m bilangina cheklanmay, balki faza kuchlanish U_f hamda izolyatsiyaning fizik hossalari – C , $\operatorname{tg} \delta$ larga ham bog‘liq.

$$\Delta P_y = \frac{3I_m^2}{\sigma_0 S} + U_{fn}^2 \omega C \operatorname{tg} \delta + \Delta P_{pt} + \Delta P_q \quad (10.11)$$

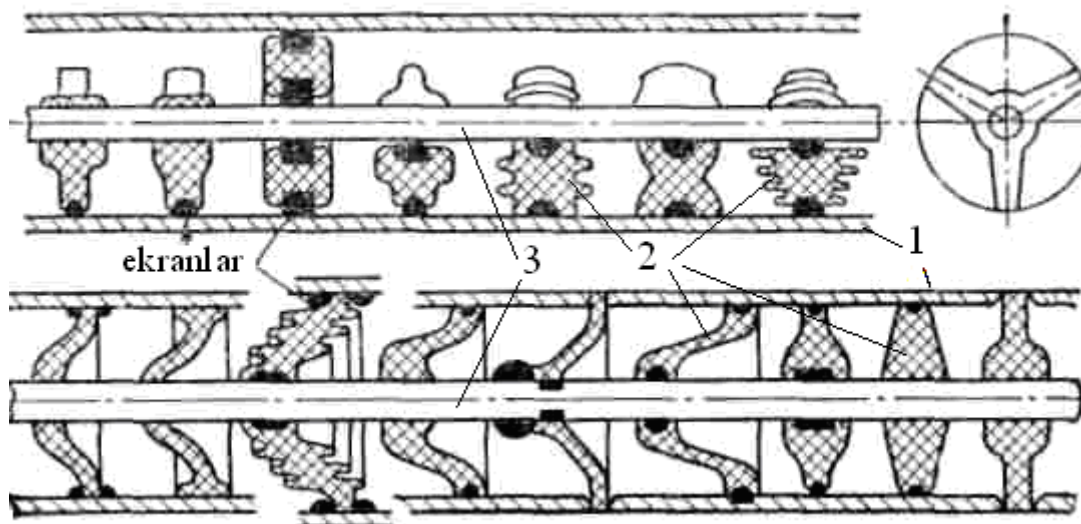
Shunday qilib, yuqori kuchlanishli kabelning quvvat o‘tkazish imkoni tomirlar izolyatsiyasining harorati va uning issiqlik o‘tkazishga qarshiligi bilan aniqlanadi.

10.4. Gaz izolyatsiyali kabellar

Gaz izolyatsiyali kabellar yopiq havo elektr uzatish yo‘llari turiga kirada (58-rasm). Kabelning elektr tokini o‘tkazuchi yuqori kuchlanishli simi-silindrsimon shinasi 3 va uning elektr izolyatsiyasi atmosfera havo muhitidan tashqi yerlingan quvur 1 yordamida gametizatsiyalanuvchi to‘la ajratilgan. Quvur 1 ning ichi ishchi qisilgan gaz, ya’ni 85÷95%

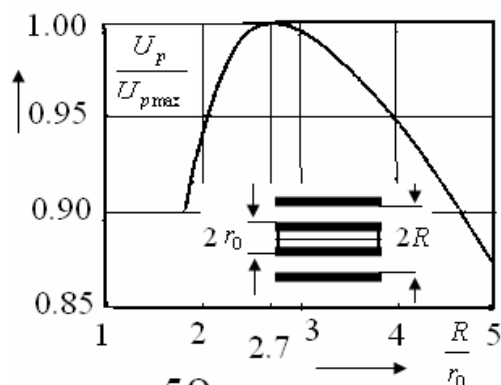
azot N_2 va $5 \div 10\%$ elegaz SF_6 , bilan to'ldirilgan. Quvur 1 ning ichidagi bosim atmosfera bosimidan $5 \div 10$ marta kattaroq olinadi.

Bunday bosimda mazkur gaz elektr mustahkamligi transformator moyi mustahkamligidan yuqoriroqdir. Yuqori kuchlanishli elektr tokini o'tkazuchi silindrsimon shina 3 bilan yerlangan quvur 1 orasiga konussimon izolyator diafragmasi 2 o'rnatilgan.



58-rasm. Gaz izolyatsiyali kabellarning ichki izolyatorlari.

Izolyator 2 ning asosiy vazifasi shinani joyidan qo'zg'almas ushlab turish va quvur 1 bilan shina 4 orasidagi asosiy gaz bilan izolyatsiyalovchi masofani o'zgarmas ushlab turish hamda shu yo'l bilan kabel elektr mustahkamligi ta'minlashdir. Silindr simon shina 3 ichi g'ovak bo'shliq bo'lib, kabel quvvatini ko'paytirmoq uchun undan sovutuvchi suyuqlik yoki gaz o'tkazish imkoni ko'zda tutilgan.



59-rasm

Tajribada aniqlandiki, koaksial o'rnatilgan tashqi silindr radiusi R va ichki silindrdan radiusi r_0 iborat qurilmaning razryad kuchlanishining maksimal razryad kuchlanishga nisbati o'zining eng katta qiymatiga

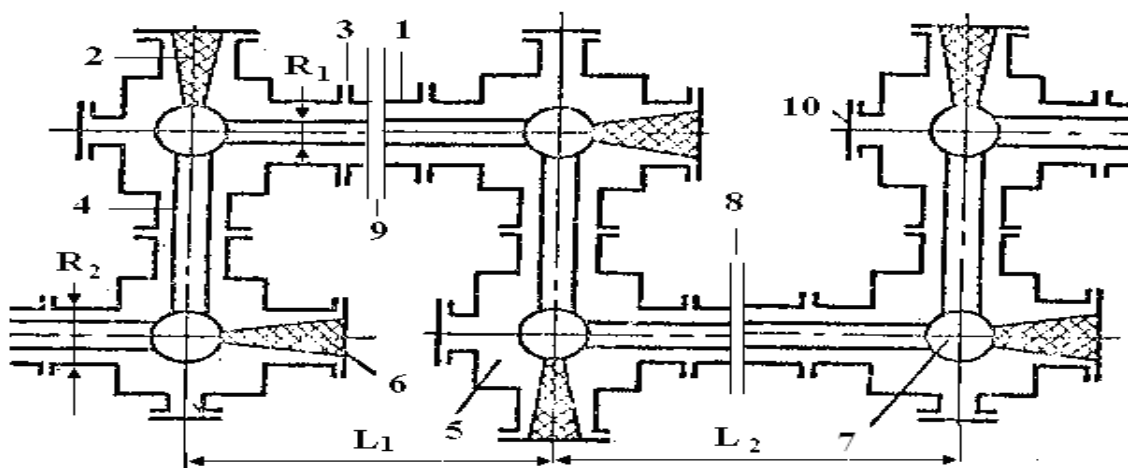
$R/r_0=2.7$ ga teng bo'lsagina yetib boradi (59-rasm). Shuning uchun ham gaz izolyatsiyali kabellar diametrlarining nisbati natural logarifm asosi $e=2,7$ ga teng olinadi.

Bunday gaz izolyatsiyali kabel tuzilishining asosiy kamchiligi undan foydalanish noqulayligida. Jumladan, agar biron ishdan chiqqan izolyator 2 ni yangisi bilan olmashtirish kerak bo'lib qolganda kabel toshqi quvirini bo'laklab buzib, so'ngra qayta yig'ish zaruriyati borligidadir.

O'zbekiston Fanlar Akademiyasining akademik Arifov U.A. nomli Elektronika institutida prof. Ye.A. Abromyan va prof. N. Hamidov raxbarligida ishlab chiqilib, patentlar bilan himoyalangan, Chirchiq shahrining «O'zbekximmash» zavodida yasalgan hamda tajribada sinavdan o'tgan 1 MV faza kuchlanishli 10 kA tok bilan 10 GVt quvvatni uzatishga mo'ljallangan gaz izolyatsiyali kabel konstruksiyasi bunday kamchilikdan xolidir (60-rasm).

Ikki tayanch izolyator kameralari 5 orasidagi tashqi yerlingan quvur 1 uzunasiga $8\div 15$ bo'laklarga bo'lingan. Bo'laklarning har biri $8\div 10$ metr uzunlikda yasalgan va bo'laklarni ulavchi flanetslar 3 bilan o'zaro biriktirilgandir. Ishdan chiqqan izolyator 2 ni flanets 6 ni yechib olib, yangi izolyator bilan olmashtiriladi. Bu jarayon quvur bo'laklarini ulavchi flanetslar 3 ajratilmay, quvur germetikligini buzmay bajariladi.

Bunday gazizolyatsiyali kabelning uzunligi 100 metr tajriba namunasi zanglamas po'latdan yasalgan. Tashqi yerlingan quvur diametri $2R_1=400\text{mm}$ va ichki shina diametri $2R_2=169\text{mm}$ olingan, sabab, agar $R_1/R_2=e$, ya'ni natural logarifm asosiga teng olinsa, quvurlar orasida ma'qul kuchlanganlik hosil bo'ladi. Kabel tajriba namunasi Moskvadagi Rossiya Fanlar Akademiyasi Yuqori haroratlar institutida 1983 yildan beri ishlaydi.



60-rasm. Takomillashgan gaz izolyatsiyali kabel.

Rasmda: 1-tashqi yerlingan quvur; 2-tayanch izolyator; 3-tashqi yerlingan quvur bo'laklarini ulavchi flanetslar; 4-yuqori kuchlanishli elektr tokini o'tkazuchi silindrsimon ichki shina; 5-tayanch izolyator kamerasi; 6-tayanch izolyator o'rnatilgan flaney; 7-ichki shina bo'laklarini o'zaro biriktiruvchi sharsimon ulagichi; 8, 9-quvur bo'laklarini kesish chiziqlari. 10-kuzatuv oynasi orqali kabel ichidagi holatni ko'z kilan ko'rib turiladi.

Nazorat uchun savollar.

1. Havo havo elektr uzatish yo'larining tuzilishi.
2. Bir va ikki zanjirli havo havo elektr uzatish yo'lari.
3. Havo havo elektr uzatish yo'larining simlari.
4. Havo havo elektr uzatish yo'larining tayanchlari.
5. Havo havo elektr uzatish yo'larida quvvat yo'qolishi.
6. Kabel maxsulotlarining turlanishi.
7. Kabel uzatish yo'llarining afzalligi.
8. Qog'oz-moy izolyatsiyali kabelning tuzilishi.
9. Kuch kabellarining farqi.
10. Kuch kabellarining kuchlanishi.
11. Kabelda yo'qotiluvchi quvvat.
12. Gaz izolyatsiyali kabellarning tuzulishi.
13. Gaz izolyatsiyali kabellar izolyatorlarining turi.
14. Ikki tayanch izolyatorli gaz izolyatsiyali kabellarning tuzulishi.

XI bob. KUCH TRANSFORMATORI, ELEKTR MASHINA VA KUCH KONDENSATORLARINING IZOLYATSIYASI

11.1. Kuch transformatorlari va ularning izolyatsiyasi

Kuch transformatorlar katta quvvatli o'zgaruvchan tok elektr energiyasini bir kuchlanishdan ikkinchi kuchlanishga aylantirib beruvchi elektr qurilmalardir. Transformatorlarning asosiy nominal parametrlariga: quvvat P_n , kuchlanish U_n , tok I_n , qisqa tutashuv kuchlanishi U_{kz} , salt ishlash toki I_x , salt ishlash isrofi ΔP_x va qisqa tutashuv ΔP_{kz} isrofi kiradi.

Transformatorlar bir fazali yoki uch fazali bajariladi. Elektr stansiyalar va nimstansiyalarda uch fazali transformatorlardan keng foydalaniladi, chunki bitta uch fazali transformatoridagi energiya isroflari uchta bir fazali transformatorlardagiga qaraganda $12 \div 15\%$ kamroq va narhi $20 \div 25\%$ arzonroqdir. Bitta transformatorning eng katta quvvatini oshirishga hech qanday to'siq bo'lmasada, uning og'irligi, tashqi o'lchamlari va zavoddan tashib kelish muammolari bilan cheklanadi.

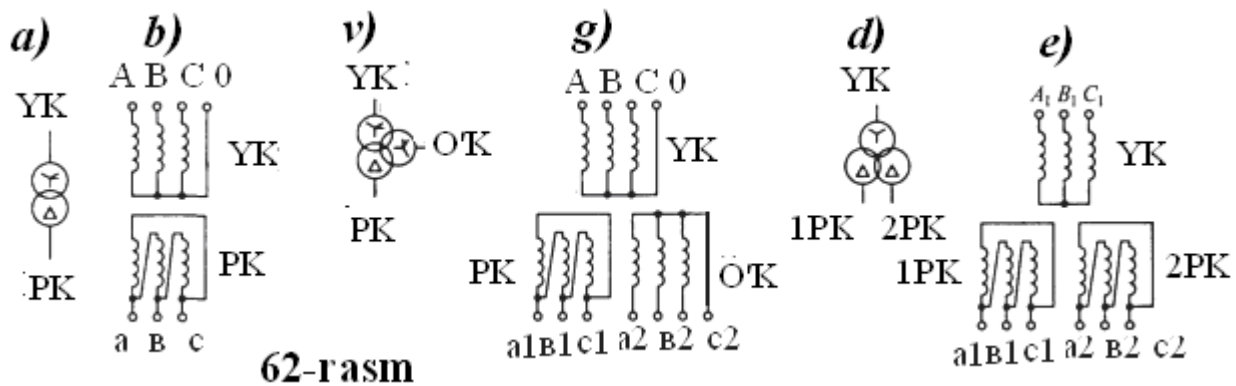
Transformatorning ishlash prinsipi va tuzulishi 61-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 184 bet). Rasmda: a)-transformatorning ishlash prinsipi; 1-magnit o'zak; 2-chulg'amlar tashqi magnit maydoni; 3-chulg'amlar magnit o'zakdagi maydoni; 4-birlamchi chulg'am; 5-ikkilamchi chulg'am; 6-uzgich; 7-o'zgaruvchan tok manbai; 8-yuklama; b)-varaq o'zakli transformator.

Transformatorlarda kuchlanishning o'zgartirish darajasini tavsiflovchi **transformatsiyalash koeffitsiyenti** kuchlanishni necha baravarga o'zgartirilganini ko'rsatadi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{mp} = \frac{U_{nom, \text{BH}}}{U_{nom, \text{HH}}} \quad (11.1)$$

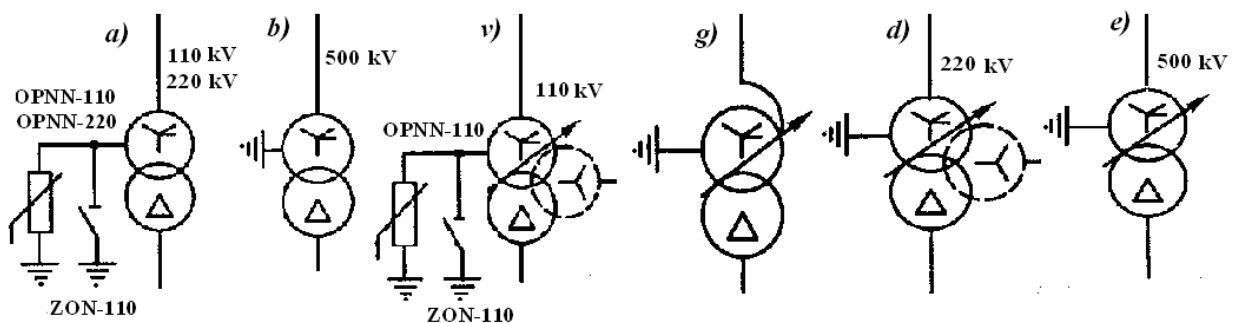
Transformatorlar ikki va uch chulg'amli bajariladi. Bundan tashqari past kuchlanish chulg'ami ikki va undan ortiq bir-biridan izolyatsiyalangan parallel tarmoqlardan iborat bo'lishi ham mumkin. Bunday transformatorlar **maydalangan chulg'amli transformator** deb aytiladi. Past kuchlanish chulg'ami maydalangan transformatorlar bir necha generatorlarni bitta kuchaytiruvchi transformatorga ulash imkonini beradi. Transformator chulg'amlarining ulanishi 62-rasmda

berilgan [23]. Rasmda: a) va b)-ikki chulgʻamli; v) va g)-uch chulgʻamli; d) va ye)-maydalangan past kuchlanish chulgʻamli; ЙК (ruscha BH)-yuqori kuchlanishli chulgʻam; О'К (CH)-oʻrta kuchlanish chulgʻam va PK (HH)-past kuchlanish chulgʻam.



Transformatorning **nominal quvvati** deb uning pasportida koʻrsatilgan nominal chastota va kuchlanishdagi, oʻrnatilgan joyi va sovutish muhiti nominal sharoitlarda boʻlgan holda uzluksuz yuklash mumkin boʻlgan toʻla quvvatning qiymatiga aytiladi.

Transformator va avtotransformatorlar neytralini yerlash usullari 63-rasmda keltirilgan [23].



63-rasm. Transformator neytralini yerlash

Rasmda: a)-110 ÷ 220 kV kuchlanishli PIIH roslagichi yoʻq transformator; b)-500 kV PIIH roslagichi yoʻq transformator; v)-110 kV PIIH roslagichli transformator; g)-barcha kuchlanishli avtotransformator; d)-150 220 kV PIIH roslagichli transformator; ye)-330 500 kV PIIH roslagichsiz transformator; OPIHH-tashqi qoʻllashga moʻljallangan oʻtakuchlanishni chegaralagich; 3OH-tashqi qoʻllashga moʻljallangan bir fazali yerlagich.

Uch fazali kuch transformatorlari 220 kV kuchlanish uchun quvvati 1000 MV*A gacha, 330 kV uchun quvvati 250 MV*A gacha va 500 kV uchun quvvati 1000 MV*A gacha yasaladi. Agar kerakli quvvatga uch fazali transformatorni yasash yoki uni tashib kelish muammosi mavjud bo'lsa, u holda uchta bir fazali kuch transformatori yasaladi.

Transformatorlar nominal quvvatlari quyidagi qatordan olinadi: 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 63; 80 MVA. Bu quvvatlar bosh nimstansiya transformatorlari uchun ishlatiladi. Qatordagi quvvatlar bir-biridan 1,6 marta farq qiladi. Ruxsat qilingan o'ta yuklanish hisobiga nominal quvvatlarini 1,3 marta oshirish mumkin: 2500 (3250) kV*A; 4000 (5200) kV*A; 6300 (8190) kV*A 10000 (13000) kV*A; 16000 (20800) kV*A; 25000 (32500) kV*A; 40000 (52000) kV*A; 63000 (81900)kV*A; 80000 (104000) kV*A.

Kuch transformatorining asosiy izolyatsiyasi qattiq dielektrikli transformator moyi bo'lib, qattiq dielektrik sifatida qog'oz, elektr kartoni, getinaks, yog'och qo'llaniladi. Chulg'am tok o'tkazuvchilari sifatida miss va alyuminiy ishlatiladi. Mis eng ma'qul material: solishtirma elektr qarshiligi kichik, ammo narxi baland. Alyuminiy transformator quvvati 6300 kV*A dan kam bo'lgandagina ishlatiladi. Transformatorning magnit o'zagi yupqa yassi transformator po'latidan yig'iladi va o'zak transformatorning mexanik tayanchidir. Birlamchi tok o'zakni magnitlab, nominal quvvatga teng magnit maydon quvvati hosil qilinadi. Zamonaviy transformatorlarda magnitlash toki juda kichkina taxminan $0,5 \div 0,6 \% I_n$ ga to'g'ri keladi.

Uch fazali uch chulg'amli to'rtinchi gaboritli ТДТ-16000/110 kuch transformatorining tashqi ko'rinishi 64-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 184 bet). Rasmda: 1-moy krani; 2-ventilyatorlar; 3-po'lat bak; 4-sovitgich radiator; 5-ko'tarish ilgagi; 6-tok transformatorlari o'rnatilgan qopqoqlar; 7-YuK (BH) chulg'amning 110 kV kuchlanishli kirma izolyatori; 8-O'K (CH) chulg'amning 35 kV li kirma izolyator; 9-KK kichik yuqori kuchlanishli 10 kV kirma izolyatorning qog'oz-bakelit silindri; 10-PBV qurilmasining yuritmasi; 11-kichik (10 kV) kuchlanishli KK kirma izolyator; 12-avariyada chiquvchi quvur; 13-gazli himoya relesi; 14-moy kengayish idishi (расширитель); 15-moy sitrini ko'rsatuvchi shisha naycha; 16-havo quritgichi; 17-yuqori kuchlanish УиК chulg'amining qayta ulagichi; 18-110 kV yuqori kuchlanishli УиК chulg'ami; 19-termosifonli filtr; 20-g'ildirakli aravacha; 21-taqsimlagich quticha; 22-domkat o'rnatiluvchi sirt; 23-magistral quticha.

Uch fazali moyli kuch transformatorining ichki tuzilishi 65-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 185 bet). Rasmda: 1-moy kengayish idishi; 3-moy sathini ko'rsatuvchi shisha naycha; 6-moy kuvurchasi; 7-past kuchlanishli kirma izolyatorlar; 8-yuqori kuchlanishli kirma izolyatorlar; 9-ulab uzgich; 10-gaz releysi; 11-chiqish simlari; 12-magnit o'zak; 13-chulg'amlar.

Transformator ishlab turganda elektr energiyasini isrofi sababli chulg'amlar va magnit o'zakda issiqlik ajralib chiqadi va ularni qizdiradi. Transformator tashkiliy qismlarini eng yuqori qizishini izolyatsiya cheklaydi. Tortuvchi nim stansiyada o'rnatilgan zamonaviy kuch transformatori va bu transformatorning sovutish tizimi tashqi ko'rinishi 66-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 185 bet).

Tortuvchi nimstansiya o'z extiyoji transformatori 67-rasmda (ilovaga qarang, 186 bet) berilgan. CIB tizimi transformatori 68-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 186 bet). Tortuvchi nim stansiyaning ba'zi yuqori kuchlanishli uskunalari rangli ilova 1 dagi quyidagi rasmlarda keltirilgan: nimstansiyaning umumiy ko'rinishi 69-rasmda (187 bet); 110 kV tashqi o'chirgichlar 70-rasmda (187 bet); atmosferadagi osma 110 kV reaktor 71-rasmda (188 bet); polimer izolyatsiyali reaktorlar 72-rasmda (188 bet); 110 kV tashqi ajratgichlarning joylashishi 73-rasmda (189 bet) ko'rsatilgan.

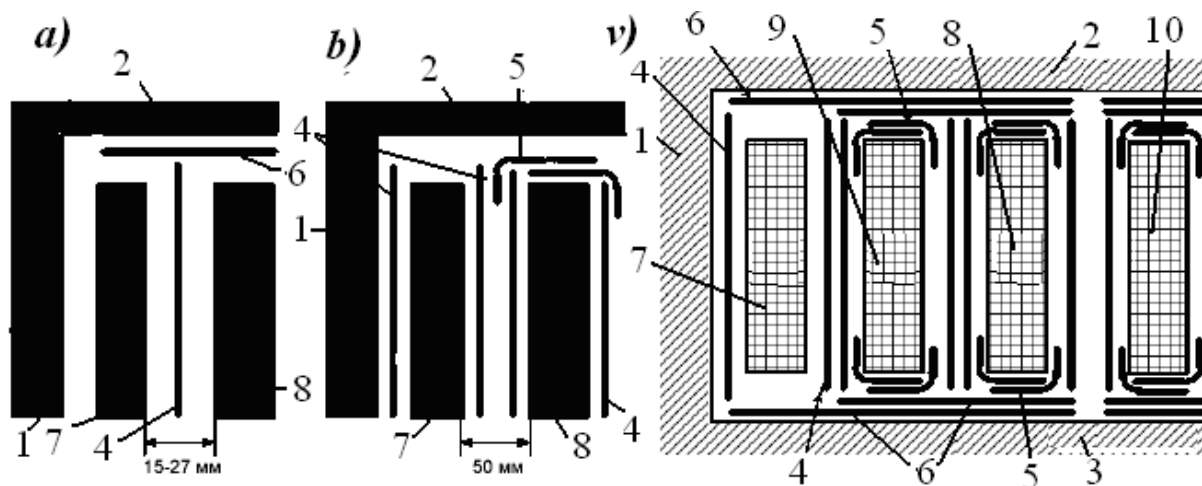
Kuch transformatorining izolyatsiyasi ichki va tashqi izolyatsiyaga bo'linadi. **Transformator tashqi izolyatsiyasi** tarkibiga kiradi: kirma chinni izolyatorlarning havodagi sirt bo'ylab izolyatsiyasi; kirma izolyatorlar tepa uchilari orasidagi havo oraliq izolyatsiyasi; kirma izolyatorlar tepa uchi bilan yerlangan metall baki orasidagi havo oraliq izolyatsiyasi. **Transformator ichki izolyatsiyasi** tarkibiga kiradi: bak ichidagi barcha izolyatsiyalovchi oraliqlar; chulg'amlar izolyatsiyasi; kirma izolyatorlarning bak ichidagi moyli izolyatsiyasi; kuchlanish uzatuvchi shinalar izolyatsiyasi, yordamchi qismlar izolyatsiyasi.

Transformator chulg'amlarining izolyatsiyasi bosh izolyatsiya va bo'lama izolyatsiyadan tuzilgan. **Transformator bosh izolyatsiyasiga** kiradi: chulg'amlar orasidagi izolyatsiya; chulg'amlar bilan magnit o'zagi orasidagi izolyatsiya; ikki yonma-yon magnit o'zagi tayoqchasiga o'ralgan tashqi g'altaklar orasidagi fazalaro izolyatsiya; tashqi g'altaklar bilan metall bak orasidagi izolyatsiya.

Transformator bo'ylama izolyatsiyasiga chulg'am o'ramlari orasidagi izolyatsiya; chulg'am o'ramlarining qatlamlari orasidagi izolyatsiya; bir chulg'amning g'altaklari orasidagi izolyatsiya.

Bosh izolyatsiya ko'pincha moy-to'siqli bajariladi va uning impuls elektr mustahkamligi yuqori bo'lib, u chulg'amlar va magnit o'zagini sovutish imkonini beradi. Moy-to'siqli izolyatsiya transformator moyi va elektrotexnik karton to'siqlaridan tuziladi. To'siqlar elektr maydoni kuch chiziqlariga perpendikulyar joylashtiriladi va quyidagi uch shaklda bajariladi: silindr shaklida; tekis shayba shaklida; burchak shaybasi shaklida. 35 kV va 110 kV kuch transformatori bosh izolyatsiyasi sxemasi 74-rasmda keltirilgan.

Rasmda: a)-35 kV transformatorning bosh izolyatsiyasi; b)-110 kV ikki chulg'amli transformatorning bosh izolyatsiyasi; v)-110kV ko'p chulg'amli transformatorning bosh izolyatsiyasi; 1-magnit o'zak tayoqchasi; 2-magnit o'zakning tepadagi yarmosi; 3-magnit o'zakning pastki yarmosi; 4-silindr shaklidagi to'siqlar; 5-burchak karton to'siqlari; 6-qalinligi 3-6 mm tekis to'siqlar; 7-past kuchlanishli A chulg'am; 8-yuqori kuchlanishli A chulg'am; 9-o'rta kuchlanishli A chulg'am; 10-yuqori kuchlanishli V chulg'am [3].



74-rasm. Kuch transformatori bosh izolyatsiyasining sxemasi.

11.2. Elektr mashinalar va ularning izolyatsiyasi

Yuqori kuchlanishli aylanuvchi mashinalariga turbogeneratorlar, gidrogeneratorlar, sinxron kompensatorlar hamda kuchlanishi 3 kV dan kattaroq katta quvvatli elektrodvigatellar kiradi. Elektr mashinalar deganda sinxron va asinxron mashinalarni tushinamiz. Sinxron mashinada aylanuvchi magnit maydoni bilan rotor bir xil tezlikda sinxron aylansa, asinxron mashinada aylanuvchi magnit maydonidan rotor sekinroq aylanadi. Barcha elektr stansiyalarda, turlaridan qat'iy nazar, mexanik energiyani elektr energiyaga aylantirish uchun **sinxron**

generatorlar qo'llanadi. Ularning quvvati bir necha Vt dan boshlab, 1500 MVt gacha yetib boradi. Elektr motori rejimida sinxron mashinalar katta quvvat talab qiluvchi ishchi mexanizmlar: nasos, kompressor, ventilyatorlarda keng qo'llanishga ega. Sinxron motorlar elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirib qolmay, balki reaktiv energiya ishlab chiqarishlari xam mumkin. Bularning **sinxron kompensatorlar** deb yuritiladi.

Rotordagi doimiy tok chulg'ami yana **uyg'otish chulg'ami** deb ham yuritilib, doimiy tok manbaiga ulanadi. Bu chulg'amdan o'tuvchi doimiy tok mashinadagi **asosiy magnit maydonini** hosil qiladi. Kichik quvvatli sinxron mashinalarda bu chulg'am o'rniga o'zgarmas magnit o'rnatilgan. Stator chulg'amida mashinaning asosiy elektr yurituvchi kuchi hosil bo'ladi. Bu chulg'am bir va uch fazali bo'lishi mumkin. Rotordagi uyg'otish chulg'amiga doimiy tok berilganda vaqt birligi ichida o'zgarmaydigan magnit maydoni hosil bo'ladi va rotor aylanganda magnit maydoni stator chulg'amini kesib o'taboshlaydi.

Generatorlarni ishlashi mobaynida ularda turli energetik isroflar sodir bo'ladi. Bu isroflar issiqlikka aylanib, generator elementlarining qizishiga olib keladi. Generatorlarning FIK lari yuqoriligi va nisbiy isroflar $1,5 \div 2,5\%$ ni tashkil etishiga qaramay, absolyut isroflarning darajasi ancha katta bo'ladi. Masalan, 800 MVt li mashinada bu isroflar 10 MVtni tashkil etadi. Bu issiqlik faol po'lat o'zakni, chulg'amlar misini va izolyatsiyasini qizdiradi. Zamonaviy generatorlar **sovutish muhiti** sifatida gazlardan: havo, vodorod va suyuqliklardan: suv, transformator moyidan foydalaniladi.

Sinxron mashinani tuzilishi 75-rasmda keltirilga (ilovaga qarang, 190 bet). Rasmda: a)-sinxron mashinaning umumiy ko'rinishi; b)-noayon qutbli rotorning sxemasi; v)-ayon qutbli rotor sxemasi; 1-val; 2-qo'zg'atgich kollektori; 3-qo'zg'atgich cho'tka ushlagichi va cho'tkalarsi; 4-qo'zg'atgich stator chulg'ami; 5-qo'zg'atgich yakori; 6-cho'tka mexanizmini maxkamlash uchun ilgak; 7-kontakt halqalari; 8-stator chulg'amlari; 9,10-indikator qutbi; 11-ventilyator; 12-qopqoq; 13-qutb o'zaga; 14-qutb uchlari; 15-uyg'atuvchi chulg'am g'altagi.

Asinxron mashina elektr energiyani aylanma mexanik energiyaga aylantirib beruvchi mashinadir. Asinxron mashinaning tuzilishi 76-rasmda keltirilgan (ilovaga qarang, 191 bet). Rasmda: 1-chiqish uchlari; 2-qisqich himoya; 3-flanets; 4-yon himoya; 5-sovutgich qovurg'ali tashqi qobiq; 6-stator chuqurchasi-pazida joylashgan chulg'am

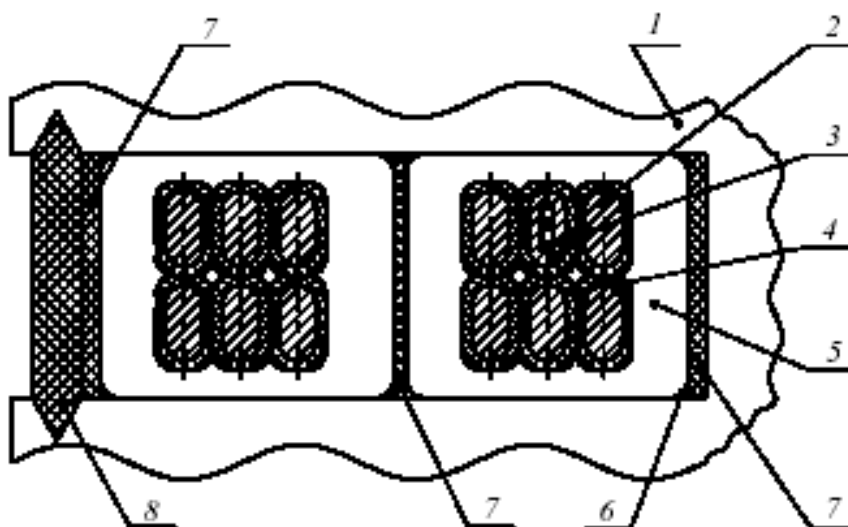
o‘ramlari; 7-stator magnit o‘zagi; 8-ventilyator parragi; 9-rotor chulg‘ami; 10-rotor magnit o‘zagi; 11-stator; 12-rotor.

Elektr mashinalar izolyatsiyasi. Yuqori kuchlanishli elektr mashinalarga tubogeneratorlar, gidrogeneratorlar, sinxron generatorlar va kompensatorlar, katta quvvatli motorlar kiradi. Ularda yuqori kuchlanish 3 kV dan 26 kV gacha bo‘ladi. Aylanuvchi elektr mashinalarning izolyatsiyasi stator chuqurchasi-paziga joylashgan stator chulg‘ami izolyatsiyasining sifati bilan belgilanadi.

Yuqori kuchlanishli elektr mashinalar stator izolyatsiyasi quyidagi turlarga bo‘linadi: **bosh izolyatsiya**-chulg‘am bilan stator po‘lati orasidagi izolyatsiya; **fazalararo izolyatsiya**-turli fazalar orasidagi izolyatsiya; o‘ram yoki **bo‘ylama izolyatsiya**-chulg‘am seksiyalari yoki g‘altaklar orasidagi izolyatsiya; **simlar izolyatsiyasi**-har o‘ram simlari orasidagi izolyatsiyasi. Bosh izolyatsiya chulg‘am bilan stator orasidagi nominal yuqori kuchlanishga hisoblansa, bo‘ylama izolyatsiya o‘ramlar orasidagi kuchlanishga hisoblanadi.

Mashina izolyatsiyasining ishlash xususiyati foydalanishdagi og‘ir sharoit: o‘takuchlanishlar, baland ishchi harorat va harorat farqi, tebranishlar, zarb mexanik kuch muntazam ta’siridadir. Shuning uchun izolyatsiya materialining elektr chidamligi $30 \div 35$ kV/mm bo‘lsa ham, elektr maydonning ishchi kuchlanganligi $2 \div 4$ kV/mm olinadi.

Elektr mashinalarda chulg‘amlar stator magnit o‘zagining chuqurchasi-pazi ichiga joylashtiriladi. Mashina statorining bitta chuqurchasi-pazidagi simlar izolyatsiyasi 77-rasmda ko‘rsatilgan.



77-rasm. Elektr mashina izolyatsiyasi.

Rasmda: 1-stator; 2-yaxlit sim; 3-g'ovak sim; 4- o'ram bo'ylama izolyatsiyasi; 5-asosiy korpus izolyatsiyasi; 6-yarim o'tkazgich qoplama; 7-prokladka; 8-simni pazda ushlab turuvchi ponacha. Izolyatsiyalovchi material sifatida asosan slyuda turiga kiruvchi mikanit, mikalenta, mikaforiy qo'llaniladi, ular qisman razryadlarga chidamlidir. Termo-plastik kompaundlardan, termoreaktiv lak va smolalardan keng foydalaniladi.

11.3. Kuch kondensatorlari izolyatsiyasi

Kuch kondensatorlari quyidagi hollarda qo'llaniladi: 50 Gs chastotali yuqori va past kuchlanishli kuch tarmoqlarida quvvat ko'effitsiyenti $\cos \varphi$ ni yaxshilashda-kosinus kondensatorlar; temir yo'l kontakt tarmog'i va havo elektr uzatish yo'llarida: bo'ylama va ko'ndalang sig'imli kompensatsiyada, yuqori chastotalarni filtrlashda; sig'im orqali quvvat ajratib olishda; to'g'rilangan kuchlanishli kuch qurilmalarida; impuls kuchlanishli kuch qurilmalarida.

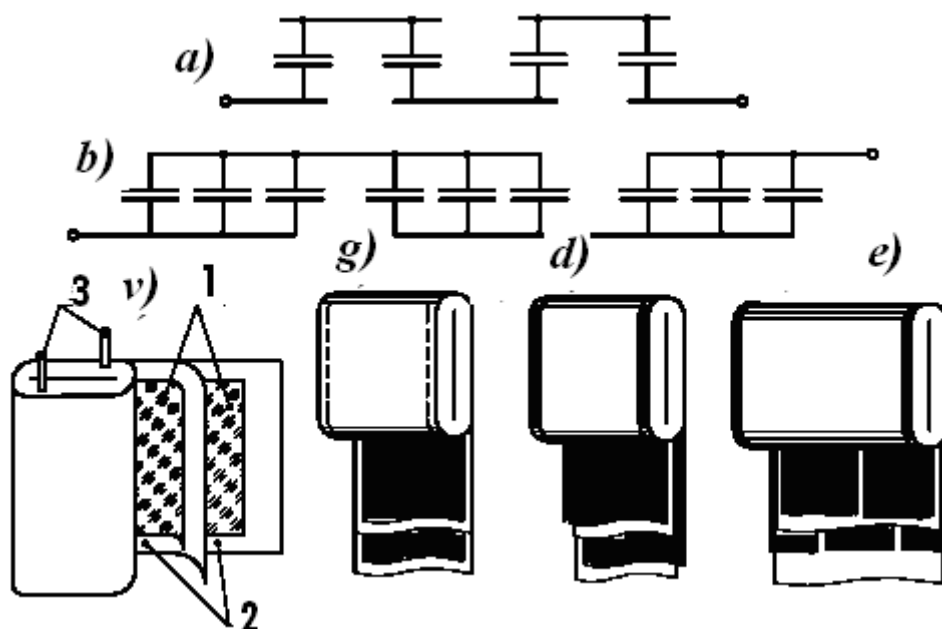
Kuch kondensatorlarining boshqa kondensatorlardan farqi: ulardan nisbatan katta tok o'tib turishda; kichik dielektrik yo'qotishda ham kuch kondensatorlarining sezilarli qizishida.

Kuch kondensatorlar izolyatsiyasi rulon shaklidagi seksiyalardan tashkil qilinadi. Seksiyalar dielektrik lenta va alyuminiy zarlarini silindrga o'rab, so'ng ularni ezib tekislanadi. Yuqori kuchlanishli kondensator seksiyalarining o'zaro ulash sxemasi 78-rasmda keltirilgan. 78a-rasmda seksiyalarni ketma-ket ulash va 78b-rasmda seksiyalarni aralash, ya'ni parallel hamda ketma-ket, ulash ko'rsatilgan. 128v-rasmda: 1-qalinligi $7 \div 12$ mkm alyuminiy zari; 2-dielektrik ya'ni moy shimdirilgan qog'oz-moy izolatsiya qatlami yoki polimer izolatsiya plenkasi; 128g-rasmda zari yashirilgan seksiya ruloni; 128e-rasmda ikki tomonga chiqarilgan zarlar orasida bire yoki birnecha «ko'r» zar joylashtirilgan seksiya ruloni keltirilgan.

Kondensator qog'ozining azosiy ko'rsatgichi quyidagilar: qog'ozning qalinligi $4 \div 10$ mkm; qog'ozning zichligi; moy shimdirilgan qog'ozning dielektrik singdiruvchanligi ϵ_r va dielektrik yo'qotish burchagi $\operatorname{tg} \delta = 0,0012 \div 0,0026$; qog'oz elektr mustahkamligi. 50 Гц va 400 Гц chastota ishlovchi kondensatorlarda polimer plyonka sifatida polipropil ishlatiladi, uning $\epsilon_r = 2,25$ va $\operatorname{tg} \delta = 0,0003$. Impuls

kondensatorlarida lavsan plyonkasi ishlatiladi, uning $\varepsilon_r = 3,2$ va $\operatorname{tg} \delta = 0,003$ chastota $50 \Gamma\text{Ц}$ da hamda $\operatorname{tg} \delta = 0,02$ chastota $1 \text{ M}\Gamma\text{Ц}$.

Polimer plyonka elektr mustahkamligi yuqori, issiqlikka chidamli yetarli, mexanik mustaxkam va shimdiriluvchi suyuq dielektiriklar bilan birga ishlay oldi. Kuch kondensatorlarida qog'oz-plyonka kombinatsiyasi ham qo'llaniladi. Unda qog'oz orasiga plyonka qatlami joylanadi. Kuch kondensatorlar izolyatsiyasi ishchi kuchlanganligi E_{ish} qog'oz-moy uchun $12 \div 14 \text{ kV/mm}$ bo'lib, agar qog'ozga xlordifenol shimdidilsa $E_{\text{ish}} = 18 \div 22 \text{ kV/mm}$ gacha bo'lib qog'oz-polipropilen plyonka kombinatsiyasi qo'llanganda $E_{\text{ish}} = 18 \div 50 \text{ kV/mm}$ ga, sirti metall qoplangan polipropilen plyonka qo'llanilsa $E_{\text{ish}} = 70 \text{ kV/mm}$ ga hamda doimiy tokda $E_{\text{ish}} = 80 \text{ kV/mm}$ ga ko'tariladi.



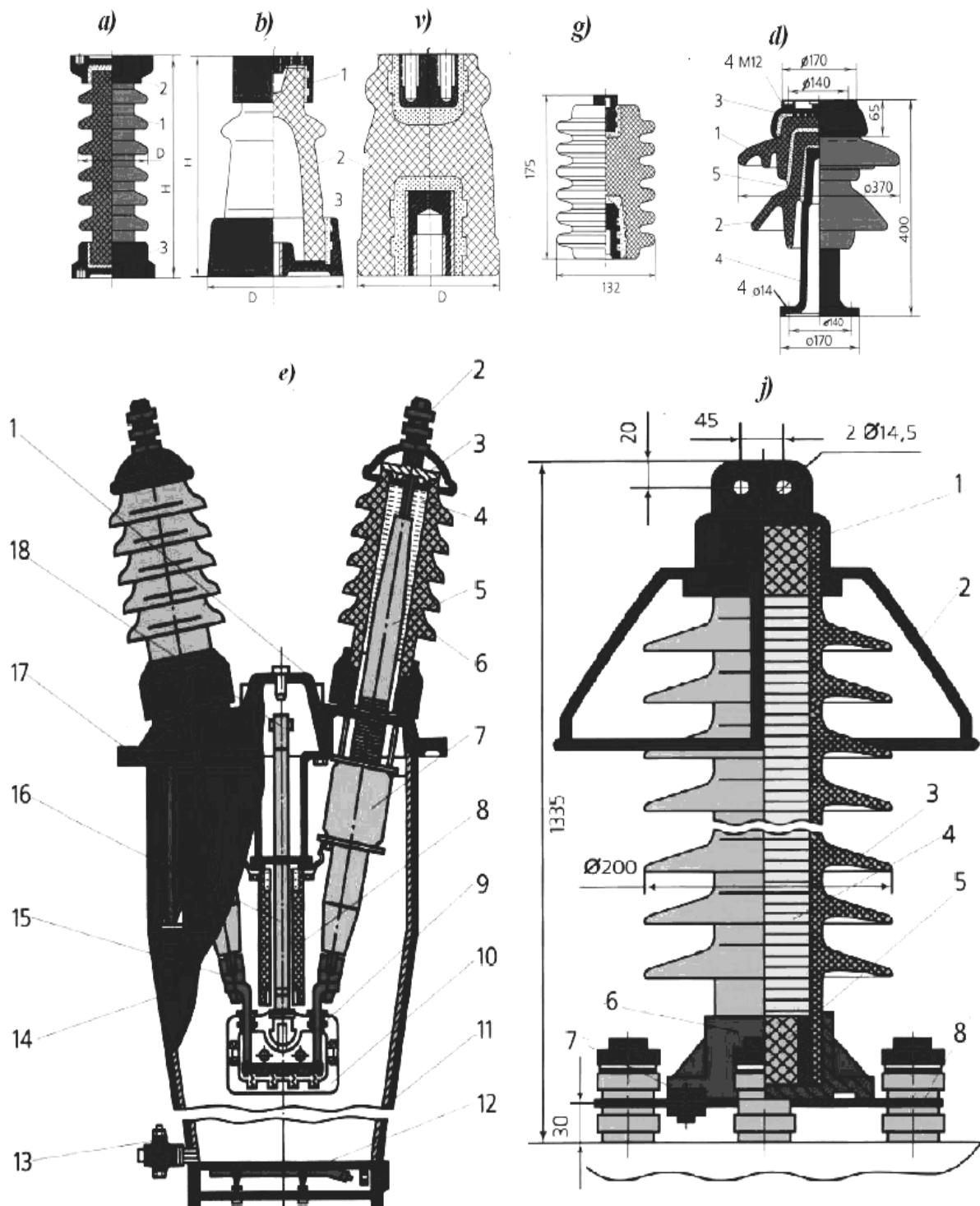
78-rasm. Kondensator seksiyalarini ulash sxemasi.

Nazorat uchun savollar.

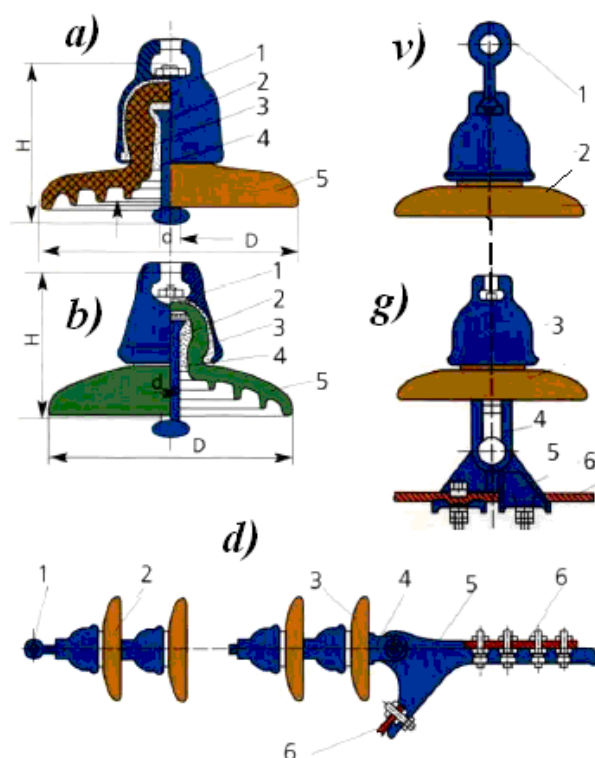
1. Qanday transformatorlarni bilasiz?
2. Kuch transformatori nima?
3. Kuch transformatorlarining tuzilishi.
4. Kuch transformatorlarning sovutish tizimlari.
5. 35 kV kuch transformatori izolyatsiyasining tuzilishi.
6. 110kV kuch transformatori izolyatsiyasining tuzilishi.
7. Sixron generatorlar.

8. Asinxron mashinalar.
9. Elektr mashinalar izolyatsiyasining turi.
10. Elektr mashinalarning asosiy izolyatsiyasi.
11. Elektr mashinalar bo'ylama izolyatsiyasi.
12. Kuch kondensatorlar izolyatsiyasi.

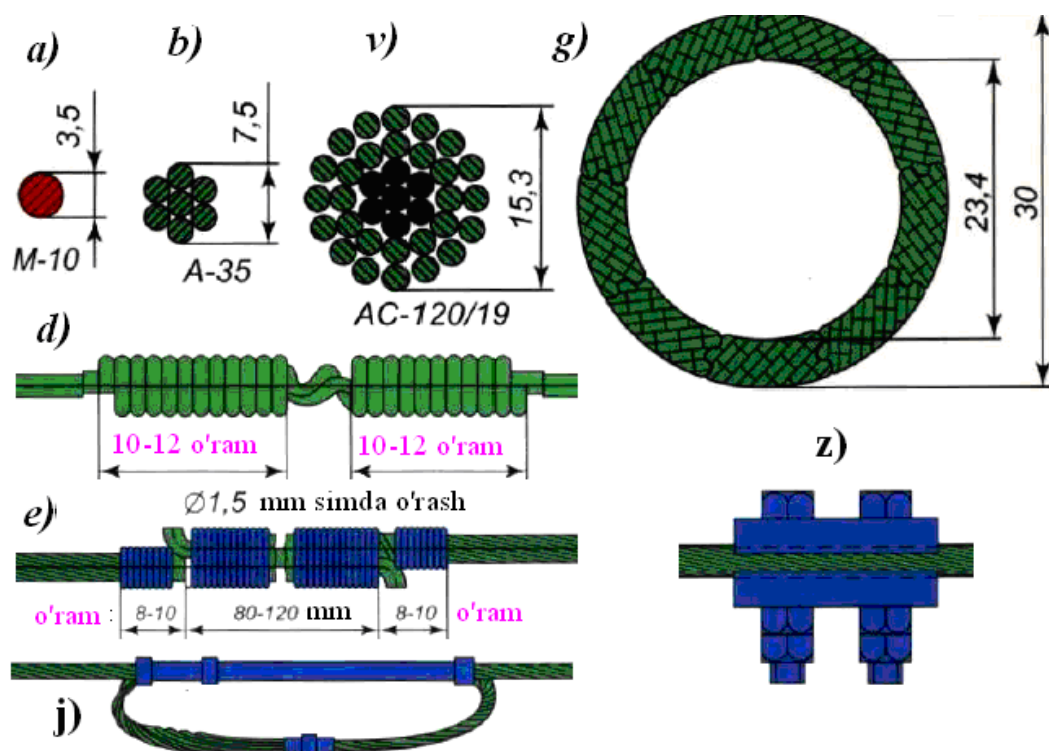
ILOVALAR



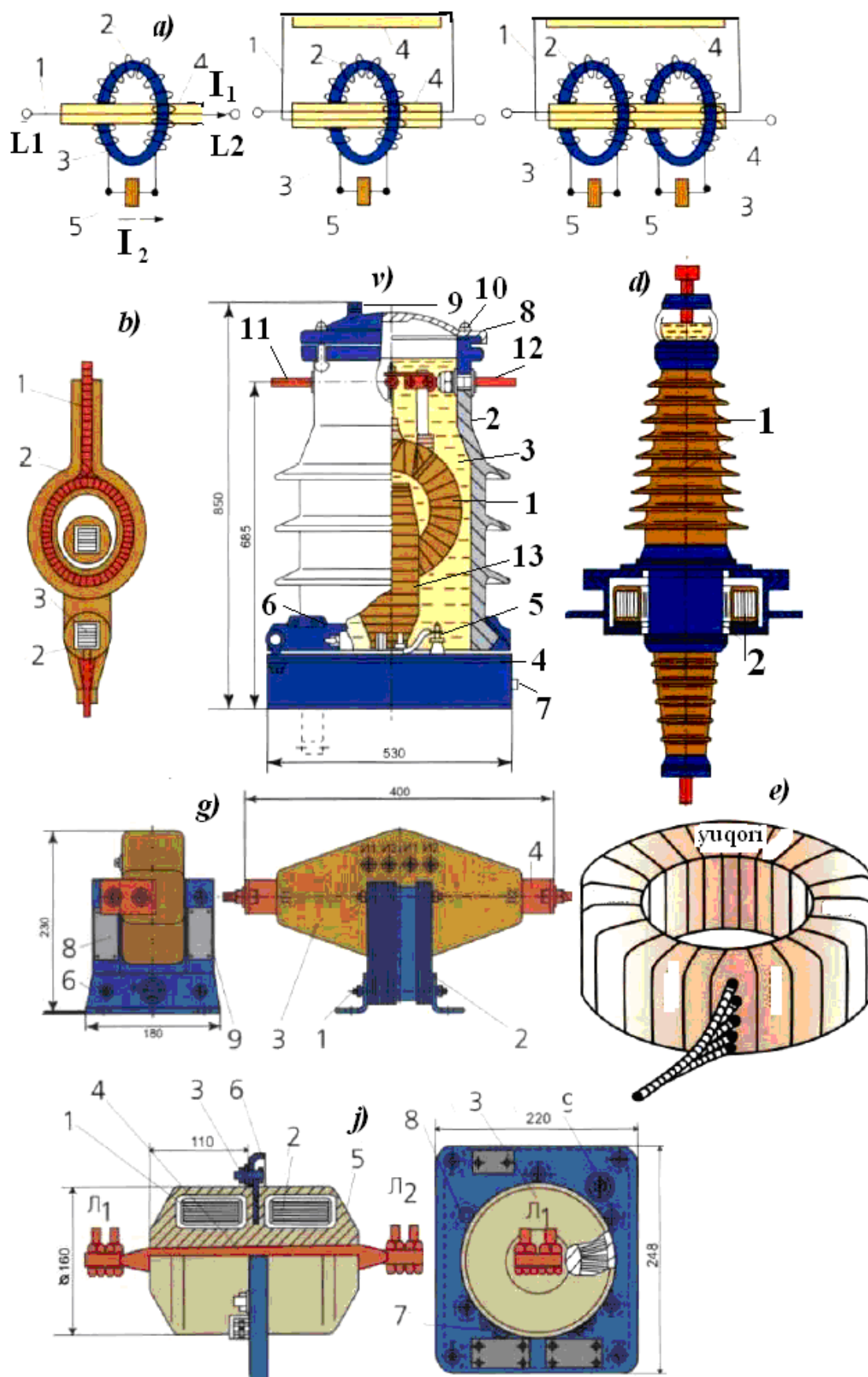
9-rasm. Tashqi tayanch (a) va stansion (b,v,g) izolyatorlar, 35 kV nayzabop ikki likobchali izolyator (d), 35 kV o'chigich C-35 kirma izolyatori (e), 3 kV dan 110 kV gacha yarim o'tkazgichli o'takuchlanishni chegaralagich (j).



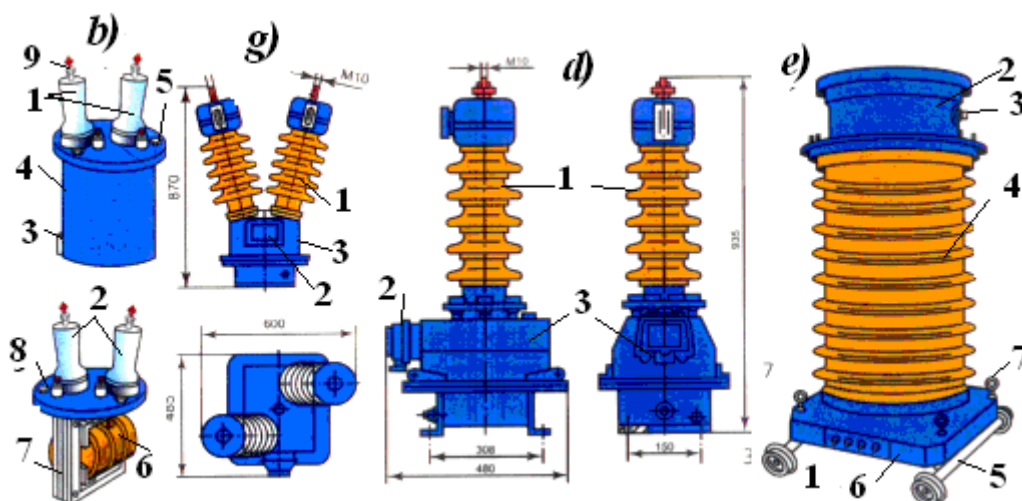
24-rasm. Havo elektr uzatish yoʻlining likobcha izolyatorlari (a, b), likobcha izolyatorni osish usullari (v, g), tortma likobcha izolyatorlar girlyandasi (d).



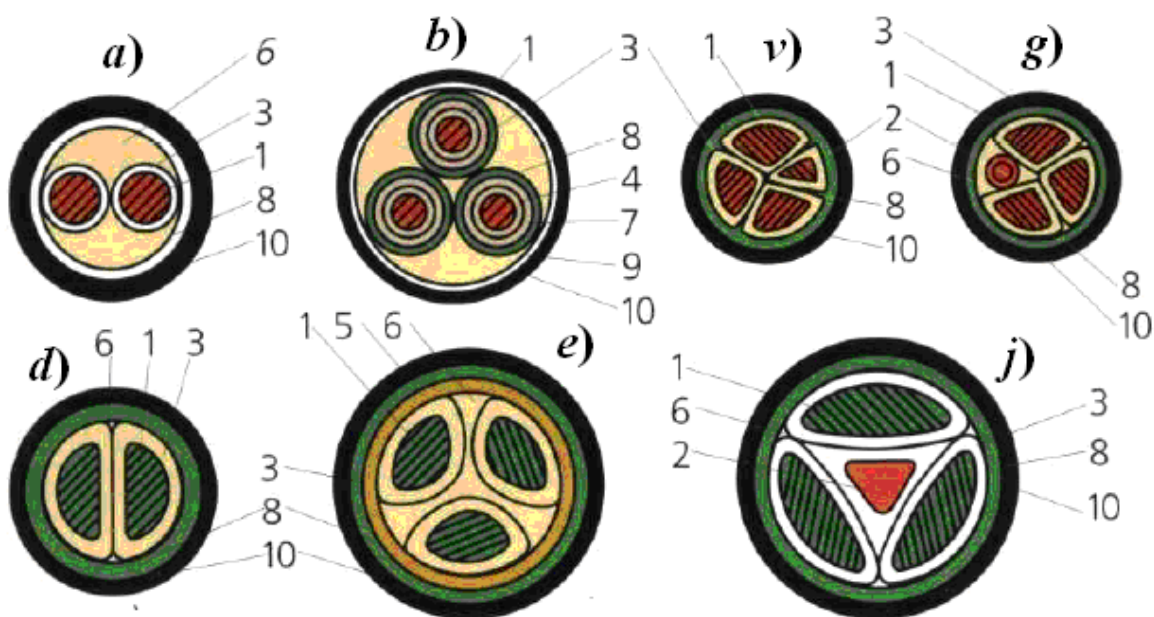
25-rasm. Havo elektr uzatish yoʻlining simlari (a, b, v, g) va ulash usullari (d, e, j, z).



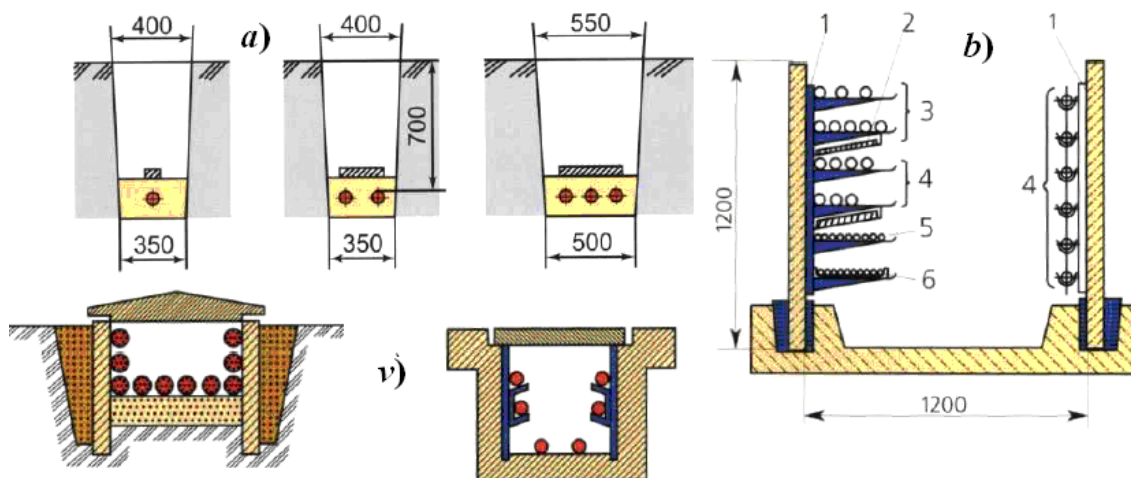
35-rasm. Tok transformatorlari



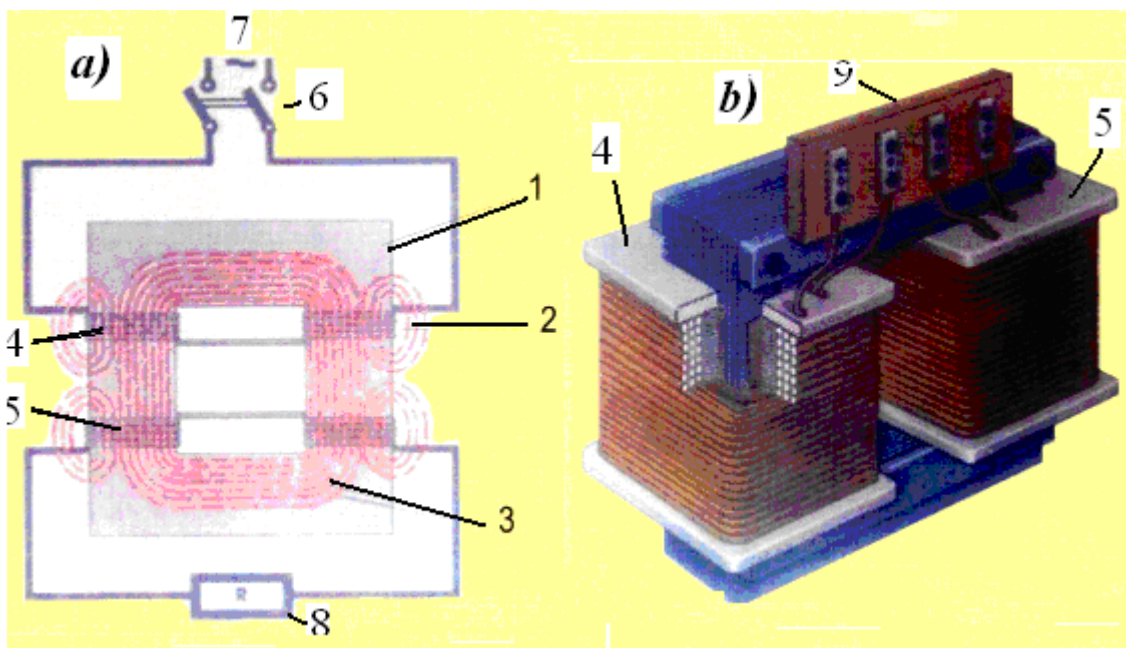
36-rasm. Kuchlanish o'lchov transformatorlari.



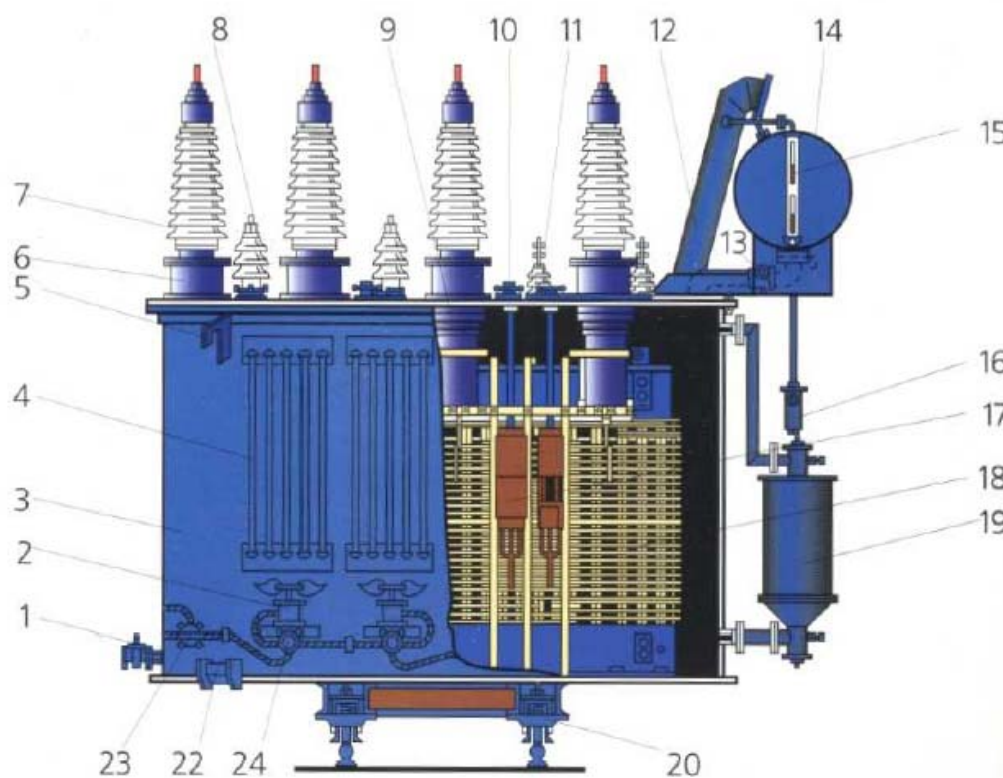
56-rasm. Yuqori kuchlanishli kabellarning ko'ndalang kesimlari



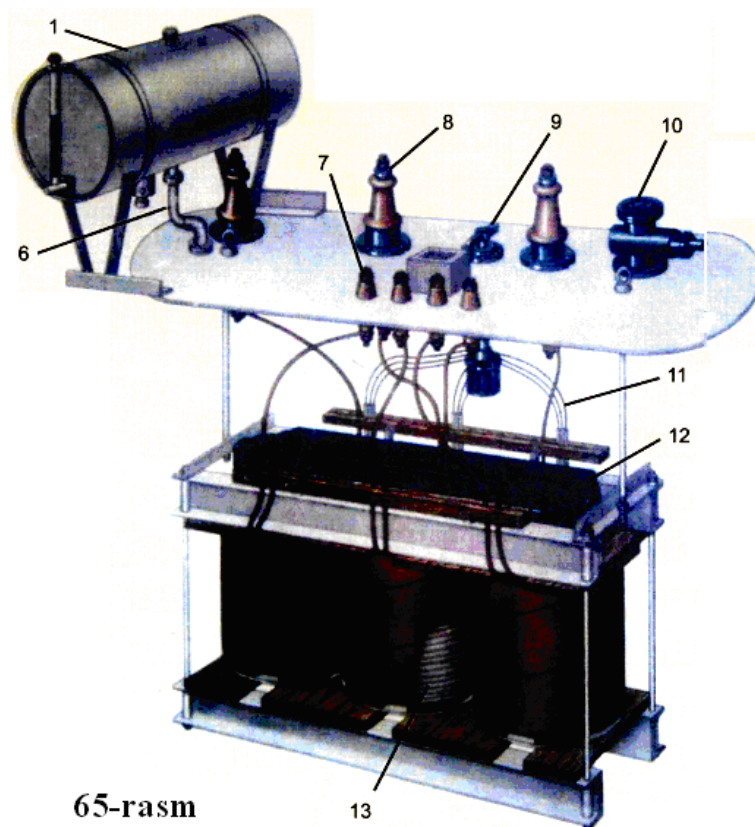
57-rasm. Kabel yotqizish usullari.



61-rasm. Transformatorning ishlash prinsipi (a) va tuzulishi (b).



64-rasm. TDT-16000/110 kuch transformatori.



66-rasm. Kuch transformatorining sovitish tizimi.



67-rasm. Nimstansiya o'z extiyoji transformatori.



68-rasm. Nimstansiya CЦБ transformatori.



69-rasm. Tortuvchi nimstansiya.



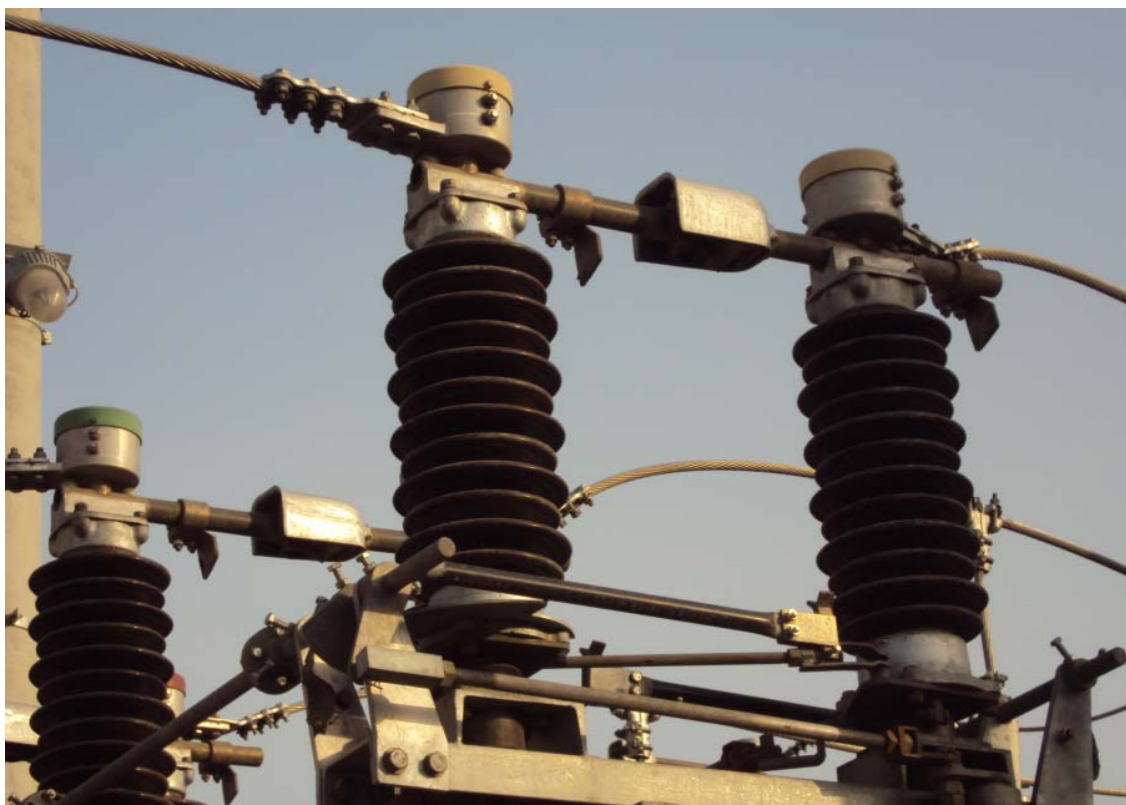
70-rasm. 110 kV tashqi o'chirgichlar.



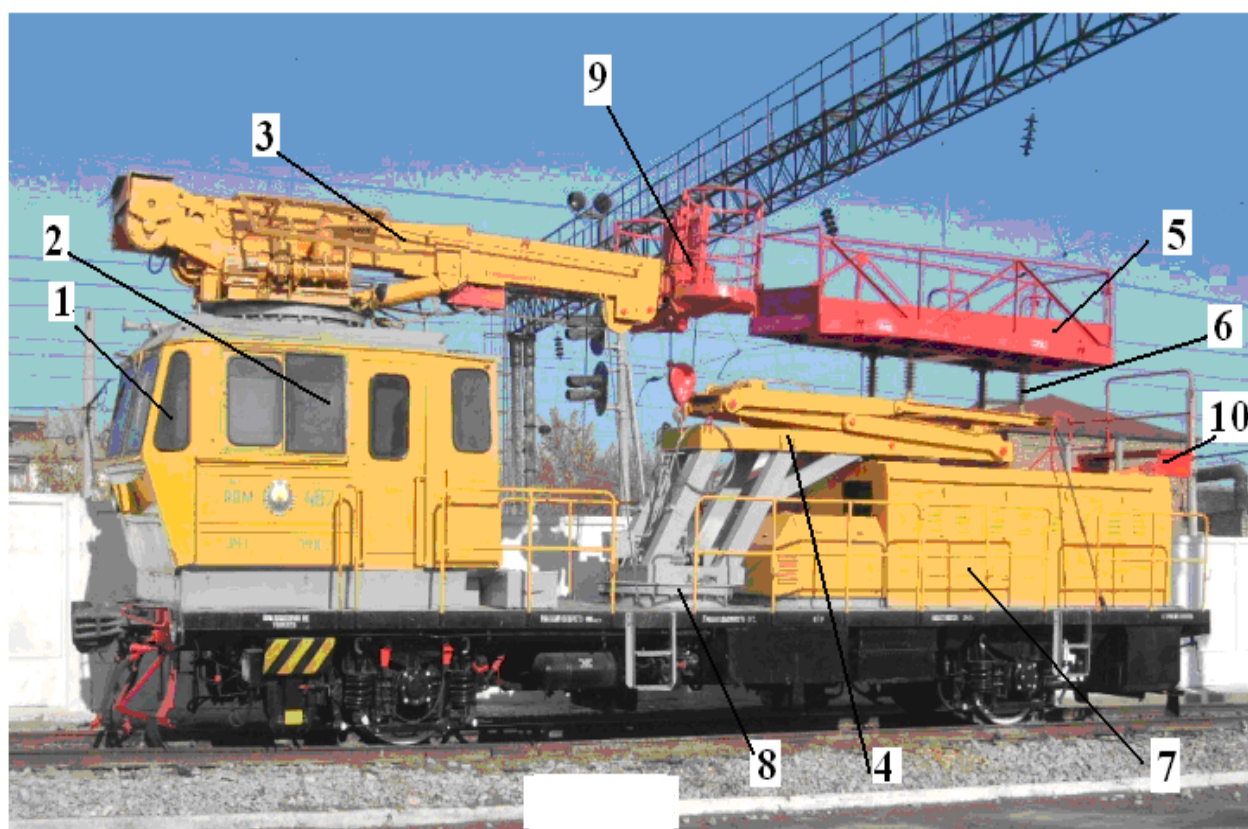
71-rasm. Atmosferadagi osma 110 kV reaktor.



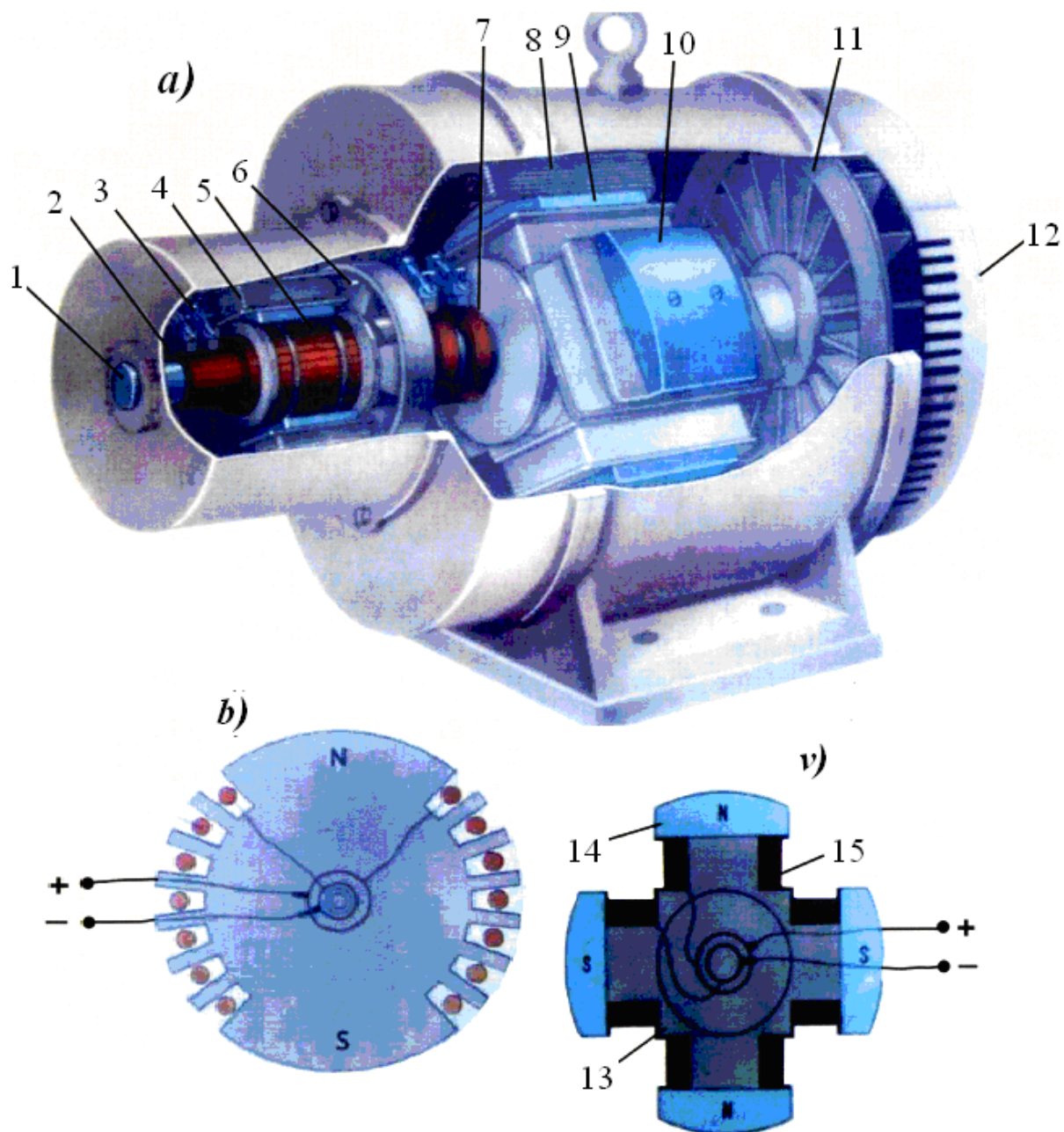
72-rasm. Polimer izolyatsiyali reaktor.



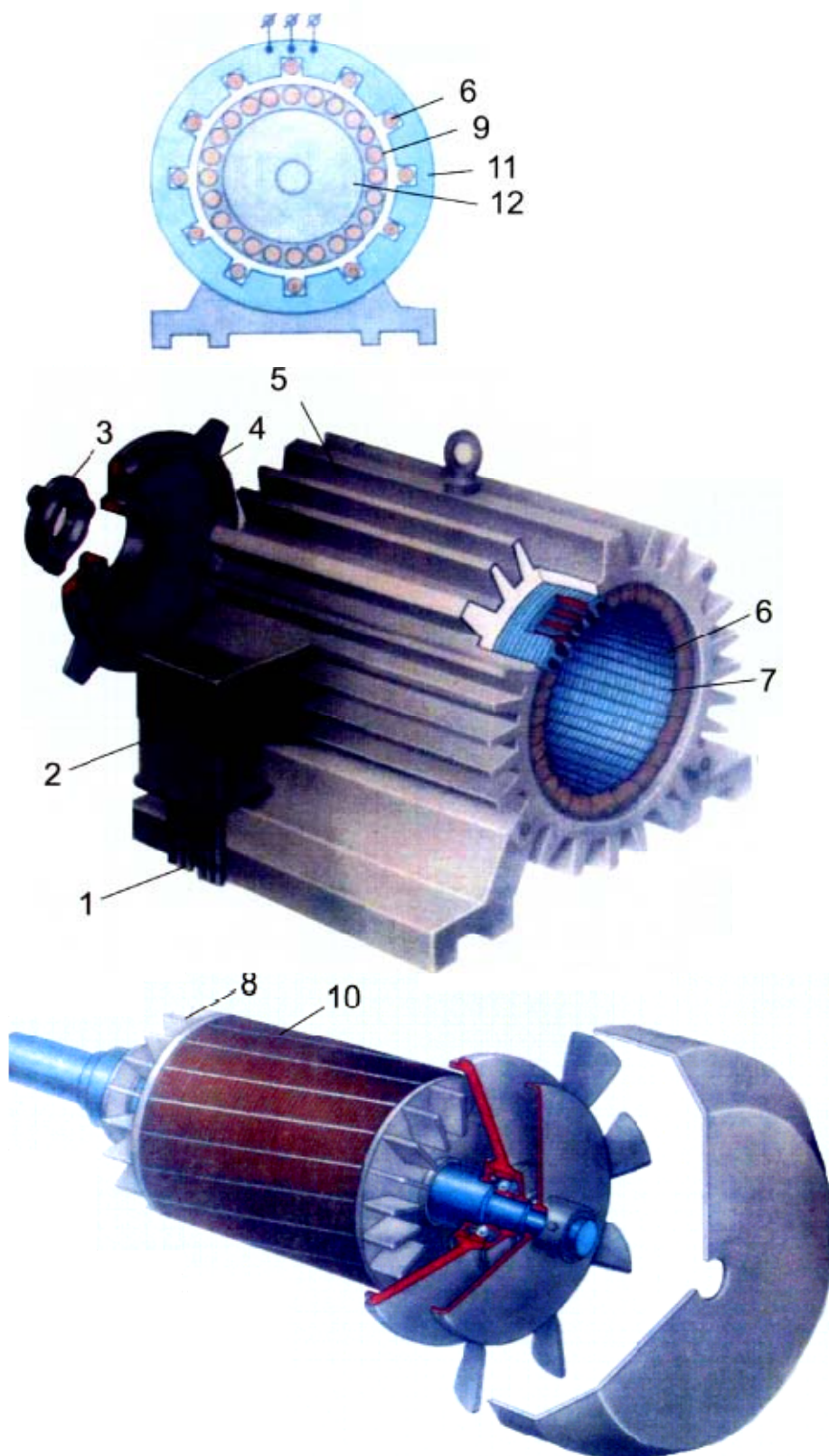
73-rasm. 110 kV tashqi ajratgichlar.



4-rasm. Drezinaning tashqi koʻrinishi.



75-rasm. Sinxron generatorni tuzilishi (a), noayon qutbli (b) va ayon qutbli (v) rotarlar.



76-rasm. Asinxron mashinaning sxemasi hamda stator va rotorning tuzilishi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Егоров В.В. / **Техника высоких напряжений. Перенапряжения в устройствах электрической тяги. Профилактические испытания изоляции.** Учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта // Москва:-Маршрут, 2004, 188 с.
2. Важов В.Ф., Лавринтович В.А. / **Техника высоких напряжений.** Курс лекций для студентов ВУЗ // Томск:-ТомПУ, 2008, 150 с.
3. Закарюкин Ф.П. / **Техника высоких напряжений.** Конспект лекций для студентов ВУЗ по специальности «Электроснабжение железнодорожного транспорта» // Иркутск:-ИрГУПС, 2005, 137 с.
4. Александров Г.Н. / **Передача электрической энергии** // Санкт-Петербург:-Изд. Политехн. ун-та, 2007, 412 с. (Энергетика в политехническом университете).
5. Почаевиц В.С. / **Электрооборудование и аппаратура электрических подстанций**, альбом // Москва:-УМК МПС России, 2002, 55 листов.
6. Бейер М., Бёк В., Мёллер К., Цаенгель В. / **Техника высоких напряжений**, теоретические и практические основы применения, пер. с нем. Кужейкина И. П., под ред. проф. Ларионова В.П. // Москва:-Энергоатомиздат, 1989, 565 с.
7. Безуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. / **Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжение в электрических системах.** Под ред. проф. Ларионов В.П., учебник ВУЗ // Москва:-Энергоатомиздат, 1986, 464 с.
8. Hamidov N., Turdibekov K., Ahrarov H. / **Elektr Podstansiyalar, kolledjlar uchun o'quv qo'llanma** // Toshkent:- Fan va texnologiya, 2006, 204 v.
9. Usmanxo'jaev N.M., Yoqubov B., Qodirov A., Sogatov G'.T. / **Elektr ta'minoti** // Toshkent-2007, 356 б.
10. **Правило технической эксплуатации электроустановок потребителей. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей** // Ташкент:-ООО «Темир-йўлчи», 2004, 120 б.
11. almi.h.narod.ru / **Правила устройства электроустановок ПУЭ**, 6,7 издание / 2005.
12. Хамидов Н. / **Электрический разряд вдоль поверхности твердых диэлектриков в вакууме** // Т:-Фан, 1985, 258 с.

13. Usmanxo‘jayev N.M., Hamidov N., Turdibekov K.H. / **Elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish, taqsimlash va avtomatlashtirish**, bakalavrlar uchun o‘quv qo‘llanma, prof. Hamidov N. taxriri ostida, 1 kitob // Toshkent, Fan va texnologiya, 2010, 192 b.
4. Hamidov N., Turdibekov K.H. / **Tortuvchi nim stansiyalar**, bakalavrlar uchun o‘quv qo‘llanma, prof. Hamidov N. taxriri ostida // Toshkent, Yangi asr avlodi, 2010, 252 b
15. Hamidov N. / **Elektrotexnologiya asoslari**, bakalavrlar uchun o‘quv qo‘llanma, I kitob va II kitob // T.:ToshTYMI, 2005, 291 b
16. <http://www.nfenergo.ru>.
17. Хамидов М.А., Хамидов Н. / **Способ уборки хлопка сырца** (на стадии курака)// Авт. свид. СССР № 1794339, Бюл. № 6, 1993.
18. Хамидов Н., **О возможности создания железнодорожного транспорта на электрическом подвесе**, Вестник ТашИИТ, 2007, №3/4, 70-76 с.
19. Хамидов Н., Хамидов А.Н., **Возможности ресурсосбережения транспорта на электрическом подвесе**, Материалы Всероссийской научной конференции «АСТИНТЕХ-2007», часть I, Изд. Астраханский университет, 2007, 252 -255 с.
20. Хамидов Н., Кельман М.Х., Исамухамедов С.Д. / **Ускоритель на 1000 кэВ**. В сб.»Действие радиоактивного излучений на вещества» //Т:-Фан, 1970, 124-130 с.
21. Khamidov N., Agzamov A. / **A Electron beam study of the charge across the insulator surfase in vacuum** // Zeszyty Naukowe Politechniki Poznanskiej, Elektryka, NR39, 1991, p.183-190p.
22. **Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети**, Служба электроснабжения, ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» // Ташкент-2001, 115 с.
23. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. // **Электрооборудования электрических станций и подстанций**, учебник для колледжей, 4-изд. // Изд. Центр «Академия», 2007, 448 с.
24. Hamidov N. / **Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya**, bakalavrlarga laboratoriya mashg‘ulotlariga doir uslubiy ko‘rsatma // Toshkent:-ToshTYMI, 2009, 32 b.
25. Hamidov N. / **Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya**, bakalavrlarga amaliy mashg‘ulotlarga doir uslubiy ko‘rsatma // Toshkent:-ToshTYMI, 2006, 39 b.
26. **Альбом по электротехническим материалам**, 47 слайтов.

27. Герасимов В.Г., Дьяков А.Ф., Ильинский Н.Ф. и др / **Электротехнический справочник** в четырех томах , под редакцией Герасимов В.Г./ М:-Изд. МЭИ, 2003-2004, 9-е издание.
28. Бортник И.М. Верещагин И.П. Вершинин Ю.Н., Кучинский Г.С., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С., Сергеев Ю.Г., Соколова М.В. / **Электрофизические основы техники высоких напряжений**, учебник для ВУЗ / 1993, 543 с.
29. Шнейдер Г.Я. / **Электрическая изоляция трансформаторов высокого напряжения** // М:-»Знак», 2009, 160 с.
30. **Справочник по электрической аппаратуре** // Ленинград:- Энергоатомиздат, 1988.
31. Рахимов Г. Р., Хамидов Н. / **Способ дефоляции хлопчатника и устройство его осуществления** (высоким напряжением)// Авт. свид. СССР № 1685348, Бюл. № 39, 1991.
32. **Электрошок «mobile»** (напряжение разряда-700 кВ, вес-220 гр) // E-mail: sales@electro-shocker.info.
33. **Электростатический фильтр ЕФО**, ЗАО «СовПлим» // e-mail: info@sovplum.com, [http://www. ovplum.ru](http://www.ovplum.ru).
34. Вологин В. А. / **Взаимодействие токоприемников и контактной сети** // М.: Интекст, 2006, 256 с.
35. Быстрицкий Г Ф, Кудрин Б И / **Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов**, учебное пособие для ВУЗ // М.: Издательский центр «Академия», 2003, 176 с.
36. Гусев Ю.Н., Ушаков В.П., Чесноков Н.М. / **Средства и устройства безопасности для работ в электроустановках** // М.- Энергоатомиздат, 1988, 96 с. (Библиотека электромонтера; Вып. 615).
37. Hamidov N., Turdibekov K.H., Hamidov A.N. / **Temir yo'llar elector ta'minoti**, kollejlari uchun o'quv qo'llanma, prof. Hamidov N. taxriri ostida // Toshkent:- Cho'lpon, 2012, 221v.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
1- bob. Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya.....	5
1.1. «Yuqori kuchlanish texnikasi va izolyatsiya» fani.....	5
1.2. Yuqori kuchlanishni inson hayotiga xavfi va ekologiya...	18
1.3. Temir yo‘l kontakt tarmog‘idan foydalanishda texnika xavfsizligini ta’minlash.....	22
2-bob. Tashqi elektr izolyatsiya.....	27
2.1. Tashqi izolyatsiyaning tavsifi.....	27
2.2. Gazda elektr razryadi.....	29
2.3. Gaz elektr mustahkamligi.....	33
2.4. Izolyator turlari.....	38
2.5. Tashqi izolyatsiya elektr maydonini rostlash.....	47
3-bob. Ichki elektr izolyatsiya.....	54
3.1. Ichki izolyatsiyaning tavsifi.....	54
3.2. Ichki izolyatsiya turlari.....	57
3.3. Qisilgan gaz va vakuum izolyatsiya.....	65
3.4. Ichki izolyatsiya elektr maydonini rostlash.....	71
4-bob. Ishchi yuqori kuchlanishli izolyatsiya.....	79
4.1. Elektr tarmoq tizimlari kuchlanishi va tarkibi.....	79
4.2. Havoda toj razryadi.....	81
4.3. Havo elektr uzatish yo‘llarining izolyatsiyasi.....	84
4.4. Temir yo‘l kontakt tarmog‘i izolyatsiyasi.....	89
5-bob. Izolyatsiyaning uzoq muddatli elektr chidamligi.....	95
5.1. Ichki izolyatsiyaning eskirishi.....	95

5.2	Ichki izolyatsiyada qismaniy razryadlar.....	97
5.3	Izolyatsiyani profilaktik sinash va nazorat qilish.....	100
5.4	Izolyatsiyani nominaldan kattaroq kuchlanishda sinash.....	104
6-bob.	Yuqori kuchlanishni o'lchash usullari	110
6.1.	Sharli razryadniklar.....	110
6.2.	Elektrostatik kilovoltmetrlar.....	112
6.3.	O'lchov transformatorlari.....	115
6.4.	Yuqori kuchlanishni o'lchashning boshqa usullari.....	118
6.5.	Yuqori kuchlanishni aniq o'lchash elektrofizik usullari...	121
6.6.	Izolyator sirt elektr zaryadi va uni vakuumda o'lchash....	124
7-bob.	Kommutatsiya o'takuchlanishi	130
7.1.	O'takuchlanishlar tavsifi.....	130
7.2.	Kommutatsiya o'takuchlanishi.....	133
8-bob.	Yashindan himoyalash	138
8.1.	Yashin qaytargichlar.....	138
8.2.	Havo elektr uzatish yo'llarini yashindan himoyalash.....	142
8.3.	Temir yo'l kontakt tarmog'ini yashindan himoyalash.....	144
8.4.	Himoya apparatlari.....	146
9-bob.	Havo elektr uzatish yo'lari va kontakt tarmog'ida to'liq jarayonlar	152
9.1.	Elektr uzatish simlarning to'liq tavsifi.....	152
9.2.	Havo elektr uzatish yo'lida to'liq jarayonlar.....	154
9.3.	Elektr uzatish yo'li to'liq jarayonlarini hisoblash.....	156
10-bob.	Yuqori kuchlanishli elektr energiyani ochiq va yopiq uzatish	158
10.1.	Havo elektr uzatish yo'llari.....	158

10.2	Havo elektr uzatish yo‘llari izolyatsiyasini hisoblash.....	161
10.3.	Yuqori kuchlanishli kabellar.....	163
10.4.	Gaz izolyatsiyali kabellar.....	166
11-bob. Kuch transformatori, elektr mashina va kuch		
	kondensatori izolyatsiyasi.....	170
11.1.	Kuch transformatorlari va ularning izolyatsiyasi.....	170
11.2	Elektr mashinalar va ularning izolyatsiyasi.....	174
11.3.	Kuch kondensatorlari izolyatsiyasi.....	177
	Ilovalar.....	180
	Foydalanilgan adabiyotlar.....	192

MUALLIF HAQIDA QISQACHA MA'LUMOT

Hamidov Nigmatulla (Abdullayevich), texnika fanlari doktori, professor, 1935-yili Toshkentda tug'ilgan.

Telefonlar: ish (kafedra)-2990444; mobil-3866951.

Umumiy ish staji:-52 yil; **ped. staji:**- 18 yil; **ilmiy staji:**-43 yil.

Chop etgan kitoblari: bakalavrlarga:- darslik, 4 o'quv qo'llanma, 14 uslubiy ko'rsatma. Kollejga: 3 o'quv qo'llanma.

Chop etgan ilmiy ishlari:-160 dan ortiq.

Tugatgan: Moskva oliy texnika universitetini 1952-yili imtiyozli diplom bilan.

Yoqlagan: «Yuqori kuchlanish texnikasi» ixtisosligi bo'yicha texnika fanlari nozodi dissertatsiyasini. «Elektrofizika» ixtisosligi bo'yicha texnika fanlari doktori dissertatsiyasini Moskva injener fizika institutida 1990-yili himoya qilgan. 1991-yil professor diplo'mini Maskvada olgan.

Ishlagan: 1958÷1971-yillarda O'zR FA Yadro fizikasi institutida atom reaktorida va 150÷1000 kV yuqori kuchlanishli elektron tezlatgichlarida. 1971÷2003-yillari U.A.Aripov nomli O'zR FA Elektronika institutida Yuqori kuchlanishli elektronika laboratoriyasi mudiri. 2003÷2011-yillarda Toshkent temir yo'l muhandislari instituti «Elektr ta'minoti va MPB» kafedrasi mudiri, professori. 1994÷2003-yillari Toshkent avtomobil-yo'l instituti «Elektromexanika va avtomatlashtirish» kafedrasi (o'rindosh asosida) mudiri va professori.

Ish sohasi: 30 kV dan 1000 kV gacha yuqori kuchlanishli qurilmalarda 45 yildan ortiq ishlagan tajribali mutaxassis.

Loyihalash, yasash, ishga tushirishda rahbarlik qilgan yangi qurilmalar:

-130 kV, 250 kV, 300 kV, 600 kV, 1000 kV kuchlanishli 5 ta elektron tezlatgichlari;

-1 MV kuchlanishli, toki 10 kA, quvvati 10 GVt gaz izolyatsiyali kabel;

-1 MV kuchlanishli, toki 10 kA, quvvati 10 GVt gaz izolyatsiyali impuls generatori ГИИ.

1996–2012-yillar O'zbekiston FA Elektronika instituti va Yadro fizikasi instituti qoshidagi «Fizikaviy elektronika» bo'yicha D0152301 birlashgan doktorlik kengashining a'zosi.

HAMIDOV NIGMATULLA

YUQORI KUCHLANISH TEXNIKASI VA IZOLYATSIYA

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2012

Muharrir:	M.Hayitova
Tex. muharrir:	M. Xolmuhamedov
Musahhih:	F.Ismoilova
Musavvir:	H.G‘ulomov
Kompyuter sahifalovchi:	N.Rahmatullayeva

**Nasr.lits. AIN№149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi 12.12.2012.
Bichimi 60x84 ¹/₁₆. «Timez Uz» garniturası. Ofset bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 13,0. Nashriyot bosma tabog‘i 12,5.
Tiraji 150. Buyurtma №116.**

**«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi» da chop etildi.
100066, Toshkent sh., Olmazor ko‘chasi, 171-yu.**