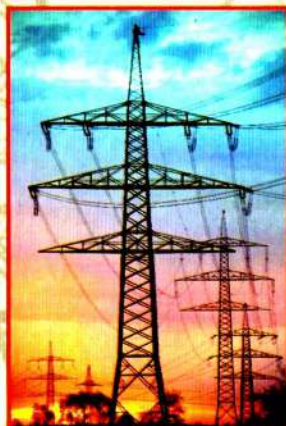


T. Sh. Gayibov

YUQORI KUCHLANISH TEXNIKASI



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

T. SH. GAYIBOV

**YUQORI KUCHLANISH
TEXNIKASI**

*O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi
tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan*

YOSHLAR NASHRIYOT UYI
TOSHKENT – 2020

UDK 621.3.027.3(075.8)

KBK 31.279.1ya73

G 15

Gayibov, T.Sh.

Yuqori kuchlanish texnikasi [Matn] : darslik / T.Sh.Gayibov. - Toshkent: Yoshlar nashriyot uyi, 2020. - 320 b.

Darslikda elektr maydonining xarakteristikalari, gazlarda va dielektrlarda ionlanish va razryadlanish jarayonlari, turli maydonlarning elektr mustahkamligi, izolyatorlarning xarakteristikalari, elektr qurilmalari va jihozlarning izolyatorlari, tashqi va ichki izolyatsiya, tashqi va ichki o'takuchlanishlardan himoya, elektr qurilma va jihozlarini sinash masalalari bo'yicha atroflicha ma'lumotlar berilgan.

Oliy ta'limning 5310200 - «Elektr energetikasi (energiyani ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash)» bakalavriat ta'lim yo'nalishi talabalari uchun mo'ljallangan. Shuningdek, u ushbu ta'lim yo'nalishi bazasidagi magistratura mutaxassisliklari va unga yaqin bo'lgan boshqa ta'lim yo'nalishlari bo'yicha tahsil oluvchi talabalar hamda o'takuchlanish, izolyatsiya va yuqori kuchlanish texnikasi masalalari bilan shug'ullanuvchi yosh mutaxassislar va muhandis-texnik xodimlar uchun ham foydali hisoblanadi.

Taqrizchilar:

M.B. Xudayarov – Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti “Elektr stansiyalari, tarmoqlari va tizimlari” kafedrası dosenti, t.f.d.

K.X.Turdibekov – Toshkent temir yo'l muhandislari instituti “Temir yo'llar elektr ta'minoti” kafedrası dotsenti, t.f.n.

© T.SH.GAYIBOV

ISBN 978-9943-6679-1-4

© YOSHLAR NASHRIYOT UYI, 2020

MUNDARIJA

KIRISH.....	6
K.1. Jamiyat taraqqiyotida energetikaning roli.....	6
K.2. Elektr energetikasi yo'nalishidagi mutaxassislar uchun «Yuqori kuchlanish texnikasi» fanining ahamiyati.....	11
 1. DIELEKTRIKLARDA KECHADIGAN ELEKTROFIZIK JARAYONLAR.....	16
1.1. Elektr maydonining xarakteristikalar.....	16
1.2. Yuqori kuchlanish texnikasida qo'llaniladigan gazlarda ionlanish jarayonlari.....	21
1.3. Dielektrlarda kechadigan razryadlanish jarayonlari.....	29
 2. DIELEKTRIKLARDA KECHADIGAN RAZRYADLANISH JARAYONLARINING MUSTAQILLIGI.....	38
2.1. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlarda razryadlanishning mustaqilligi.....	38
2.2. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlar uchun Pashen qonuni va razryadlanish vaqti.....	46
2.3. Razryadlanish vaqti va havo oralig'ining volt-sekund xarakteristikasi.....	54
2.4. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlarda dielektriklar sirtida razryadlanish. Sirpanuvchan razryad.....	61
 3. IZOLYATORLARNING ELEKTRIK VA MEXANIK XARAKTERISTIKALARI.....	72
3.1. Osmo, tayanch va o'tuvchi izolyatorlarning elektrik xarakteristikalar.....	72
3.2. Osmo, tayanch va o'tuvchan izolyatorlarning mexanik xarakteristikalar.....	80
3.3. Qattiq, suyuq va kombinatsiyalangan izolyatsiyaning elektr mustahkamligi.....	87
3.4. Stantsiya va podstantsiya elektr qurilmalari izolyatsiyasining xarakteristikalar va konstruksiyalari.....	95
3.5. Tashqi izolyatsiyaning elektrik mustahkamligi va uning elektr maydonini rostlash.....	105
3.6. Ichki izolyatsiyaning uzoq muddatli elektrik mustahkamligi.....	114
 4. ELEKTR UZATISH LINIYASINING IZOLYATSIYASI.....	126
4.1. Havo elektr uzatish liniyasining izolyatsiyasi.....	126
4.2. Havo elektr uzatish liniyasining izolyatorlar shodasida	

izolyatorlar sonini tanlash.....	134
4.3. Kuchlanishning izolyatorlar shodasi bo'ylab taqsimlanishi.....	140
4.4. Ya'gona va parchalangan o'tkazgichlar sirtida elektr maydon kuchlanganligi.....	145
4.5. Yuqori kuchlanish kabellarining izolyatsiyasi.....	152
4.6. Yuqori kuchlanish kabellarining turlari.....	160
5. ELEKTR MASHINALARI VA APPARATLARINING IZOLYATSIYASI.....	168
5.1. Aylanuvchan elektr mashinalarining izolyatsiyasi.....	168
5.2. Elektr mashinalari izolyatsiyasining turlari va konstruksiylari.....	172
5.3. Kuch transformatorlarining izolyatsiyasi.....	180
5.4. Yuqori kuchlanish kondensatorlarining izolyatsiyasi.....	186
5.5. Kondensatorlarning turlari va ularning sig'implari.....	192
6. ELEKTR SISTEMASI ELEMENTLARINING IZOLYATSIYASINI PROFILAKTIK SINASH.....	199
6.1. Elektr uskunalari va jihozlarning izolyatsiyasini profilaktik sinash masalasi va usullari.....	199
6.2. Izolyatsiyalarning defektlarini aniqlash usullari.....	202
7. ELEKTR SISTEMASIDA KUZATILADIGAN O'TAKUCHLANISHLAR.....	210
7.1. Elektr sistemasida tashqi o'takuchlanishlar.....	210
7.2. Yashinning elektr uzatish liniyasi elementlariga urilishidan hosil bo'luvchi o'takuchlanishlar.....	216
7.3. Elektr uzatish liniyasida va u qatnashuvchi zanjirlarda to'liq jarayoni.....	221
7.4. Havo elektr uzatish liniyasining yashinbardoshligi.....	229
7.5. Havo elektr uzatish liniyasining yashin ta'sirida o'chirilishini hisoblash.....	234
7.6. Elektr sistemalarida ichki o'takuchlanishlar.....	241
7.7. Ichki o'takuchlanish va elektr qurilmalar tashqi izolyatsiyasini hisoblash asoslari.....	252
7.8. Elektr sistemalarida rezonansli o'takuchlanishlar.....	259
8. O'TAKUCHLANISHDAN HIMOYALASH USKUNALARI, APPARATLARI VA TADBIRLARI.....	269
8.1. Elektr sistemasida qo'llaniladigan yashin qaytargichlar.....	269
8.2. Elektr sistemasi elementlarini o'takuchlanishdan himoyalash apparatlari.....	280
8.3. Nochiziqli o'takuchlanishni chegaralagichlar.....	291

8.4. Atmosfera o'takuchlanishidan himoya qurilmalarining parametrlarini baholash.....	299
8.5. O'takuchlanishdan himoyalash tadbirlari.....	301
8.6. Zaminlagichlarning turlari. Zaminlash qarshiligini hisoblash.....	309
XULOSALAR.....	314
GLOSSARIY.....	316
FOYDALANILGAN ADABOYOTLAR.....	319

KIRISH

K. 1. Jamiyat taraqqiyotida energetikaning roli

Energetika jamiyat taraqqiyotida muhim rol o'ynaydi. Bugungi kunda insoniyat faoliyatini barcha sohalariga energetika, xususan, elektr energetikasi chuqur kirib borgan. Shu sababli, jamiyatning taraqqiyot darajasini elektr energetikasining rivojlanganlik darajasi bilan belgilanadi.

Jamiyat taraqqiyotida energetikaning rolini muhim bo'lganligi sababli yuqori suratlarda bilan rivojlanib borayotgan O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha qabul qilingan davlat dasturlarida energetika tizimini rivojlantirishga katta e'tibor qaratilgan.

Ushbu yo'nalishda O'zbekiston Respublikasida birinchi navbatda amalga oshirilishi kerak bo'lgan asosiy ishlar Respublika Prezidenti va Vazirlar Mahkamasining keyingi yillarda qabul qilingan qator buyruq, qaror, farmonlari va boshqa hujjatlarda o'z aksini topgan. Ushbu Qonun hujjatlarida qayd etilib, yaqin kelajakda bajarilishi rejalashtirilgan birinchi navbatdagi tadbirlar doirasida Respublikamizda mavjud bir qator elektr stansiyalarida agregatlarni yuqori samaradorlikka ega bo'lgan agregatlarga almashtirish, yangi atom va muqobil energiya manbalari asosida ishlovchi stansiyalarni qurish, energiya samaradorligini ta'minlash bilan bir qatorda elektr tizimlari, tarmoqlari va uskunalarining ishonchliligini oshirtish bo'yicha ko'plab ishlar amalga oshirilmoqda.

O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirishning 2017-2021-yillarga mo'ljallangan harakatlar Strategiyasida iqtisodiyotning barcha sohalarida energiya va resurs sig'imini kamaytirish, mehnat unumdorligini oshirish, ishlab chiqarishga energiya tejankor texnologiyalarni keng joriy etish, qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish ko'zda tutilgan. Bu masalalarni hal etish bilan bog'liq bo'lgan dolzarb muammolardan biri ularni yechishning samarali usullarini ishlab chiqish va joriy etish hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevral PF-4947- sonli «O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi haqida»gi Farmoni, 2017-yil 26-may PP-3012-sonli «2017-2021-yillarda qayta tiklanuvchan energetikani rivojlantirish, iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy hayotda energiya samaradorligini

oshirish tadbirlari dasturi haqida»gi qarorlari va boshqa qabul qilingan qonun hujjatlarida belgilangan vazifalarni bajarish elektr energetika tizimlarining ishonchliligini ularda kechadigan o'tkinchi jarayonlar, o'ta kuchlanishlar va elektr izolyatsiyasini tog'ri va aniq hisoblash va tahlil-lash asosida baholashning samarali usul va algoritmlarini ishlab chiqish va joriy etishni talab etadi.

Elektr energetikaning zamonaviy taraqqiyoti elektr energiyani ishlab chiqarishni katta quvvatli elektr stansiyalariga konsentratsiyalash, elektr energiyasining muqobil manbalarini rivojlantirish, yirik energetik birlashmalarni tashkil etish, ularni operativ-dispatcherlik va avtomatik boshqarish texnologiyalarini takomillashtirish yo'nalishida bormoqda.

Energetika tizimining samarali ishlashida elektr energiyani ishlab chiqarish va uni iste'molchilarga yetkazib berishning ratsional usullaridan foydalanish alohida o'rinni egallaydi. Shu sababli, elektr energiyani uzoq masofalarga (iste'mol markazlariga) kam xarajatlarda ishonchli uzatish hozirgi kunning dolzarb masalalari qatoriga kiradi. Jamiyatdagi texnik taraqqiyot ko'p jihatdan energetikada yerishilgan yutuqlar bilan baholanadi, va u Davlatning industrial quvvatini belgilaydi.

Elektr energetikaning asosiy muammolari qatoriga faqatgina elektr sistema elementlarining (generatorlarning, transformatorlarning) birlik quvvatini oshirish emas, balki konsentratsiyalangan holatda ishlab chiqarilayotgan quvvatning uzatilish chegarasini oshirish hamdir. Bu esa elektr energiyasini uzoq masofaga uzatish uchun mo'ljallangan yuqori kuchlanishni qo'llash bilan chambarchas bog'liq.

Mamlakatimizda va boshqa sanoati rivojlangan davlatlarda energetikaning rivojlanishi bilan yuqori kuchlanish elektr jihozlaridan foydalanish ko'lami ham oshib bormoqda. Hozirgi vaq'tda yoqilg'i manbalariga yaqin joyda konsentratsiyalangan holda ishlab chiqarila-yotgan elektr energiyani sanoat markazlariga uzatib berish uchun 500 – 1150 kV kuchlanishdagi elektr uzatish liniyalari qo'llanilmoqda. Elektr sistemasida yuqori kuchlanishni qo'llash o'ta murakkab ilmiy-texnik muammolarni yechishni talab etadi. Bunday muammolar qatoriga, jumladan, elektr sistemasi elementlarining izolyatsiyasi masalalari ham kiradi. Izolyatsiya masalalarini hal etish esa, ularda kechuvchi har xil fizik jarayonlarni o'rganishni taqozo etadi.

Elektr sistemasi elementlarining izolyatsiyasini loyihalashda hal etiluvchi asosiy masalalardan biri elementlarning «Izolyatsiya sathini»

tanlash hisoblanadi. «Izolyatsiya sathi» - sistema elementlari izolyatsiyasining shikastlanishsiz chidashi mumkin bo'lgan kuchlanishidir. Izolyatsiya sathi birinchi navbatda elektr uskunalari va qurilmalarida qo'llaniladigan nominal kuchlanish bilan aniqlanadi. Lekin ekspluatatsiya sharoitida sistema elementlarining izolyatsiyasi har xil ichki va tashqi sabablarga ko'ra nominal kuchlanishdan yuqoriroq bo'lgan kuchlanish – o'takuchlanish ta'sirida bo'lishi mumkin.

Katta quvvatning kontsentratsiyalangan holda ishlab chiqarilishida iste'molchilarning ishonchli va sifatli elektr energiya bilan ta'minlashda elektr uzatish liniyasining va boshqa barcha elektr jihozlari va apparatlarining (generatorlar, transformatorlar, kommutatsiya apparatlari, kompensatsiyalovchi qurilmalar va boshqa har xil yordamchi qurilmalarining) ishonchli ishlashi katta ahamiyatga ega. Sistema elementlarning ishonchli ishlashi esa ularning izolyatsiyasini ishonchli ishlashi bilan uzviy bog'liq.

Elektr sistema elementlarining izolyatsiyasi ularning atmosfera havosi bilan aloqalanishiga bog'liq holda ichki va tashqi izolyatsiyaga bo'linadi. Tashqi izolyatsiyaga elektr uzatish liniyasining har xil fazalari o'tkazgichlari orasidagi oraliq, dielektriklarning (izolyatorlarning) tashqi sirtlari, ajratgich kontaktlari orasidagi havo oralig'i kiradi. Ichki izolyatsiyaga esa transformatorlar va elektr mashinalari chulg'amlarining izolyatsiyasi, yuqori kuchlanish kabellari va kondensatorlari, hamda moyli o'chirgichlar germetizatsiyalangan kirishlarning izolyatsiyalari, o'chirilgan holatdagi o'chirgichlar kontaktlari orasidagi izolyatsiya va boshqalar kiradi. Ichki izolyatsiya har xil turdagi dielektriklardan va ularning kombinatsiyasidan tashkil topadi. Masalan, transformatorlarda va elektr mashinalarda suyuq va qattiq dielektriklar kombinatsiyasi qo'llanilsa, germetizatsiyalangan elegaz izolyatsiyali taqsimlovchi qurilmalarda esa qattiq va gazsimon dielektriklar qo'llaniladi.

Elektr qurilma va uskunalarining ichki izolyatsiyasiga tashqi atmosfera muhitining o'zgarishi deyarli ta'sir etmaydi. Uning o'zgarishi asosan uni eskirishi, ekspluatatsiya qilish davrida elektrik xarakteristikalarining yomonlashuvi bilan bog'liq bo'ladi. Ekspluatatsiya davrida izolyatsiyaga ta'sir etadigan har xil elektrik va mexanik zarbalar natijasida mikro yoriqlar, texnologik jarayonlarning o'zgarishi tufayli o'yiqlar (kavernalar)ning paydo bo'lishi natijasida qisman razryadlar paydo bo'ladi. O'zgaruvchan yuk bilan ishlayotgan moyli – qog'ozli izolyatsiyada tok bo'yicha yuklanishning o'zgarishi temperatura rejimi-

ning o'zgarishiga va unda gazli (havoli) ulanishlarga olib kelishi izolyatsiyaning eskirishi qisman razryadlanish ta'sirida tezlashib uning elektrik xarakteristikasining yomonlashuviga olib keladi. Shu bilan birga elektrodning o'tkirlashgan chetlarida va elektr apparatlarining mahkamlash detallarida tojlanish razryadining paydo bo'lishi natijasida izolyatsiyaning buzilishi va chirish mahsulotlari bilan ifloslanib izolyatsiyaning elektrik xarakteristikasining yomonlashuvi sodir bo'ladi. Dielektriklar elektrik mustahkamligining yomonlashuvi unda dielektrik isroflarning keskin oshishiga olib keladi. Dielektrik isrofning oshishi esa, uning qizishiga va natijada uning issiqlik ta'sirida teshilishiga olib kelishi mumkin.

Elektr sistema elementlarining tokli o'tkazgichlarini muhofazalashda qo'llaniladigan dielektriklarning teshilishi natijasida ular o'zining elektrik mustahkamligini butunlay yo'qotsa, gazli izolyatsiya teshilgan-da esa, undan kuchlanish olinganidan so'ng yoyning so'nishi natijasida izolyatsiyaning elektrik mustahkamligi butunlay tiklanadi.

Qattiq va kombinatsiyalangan izolyatsiya teshilganida undan kuchlanish olinganidan so'ng uning izolyatsion xususiyati qayta tiklanmaydi. Suyuq va gazli ichki izolyatsiya teshilganidan so'ng kuchlanish olinganda uning izolyatsion xususiyati qayta tiklanadi. Biroq, bunday teshilish ularning elektrik xarakteristikalarini yomonlashuviga olib keladi. Shu tufayli ichki izolyatsiya ekspluatatsiya davrida doimiy kuzatuvda bo'lib, ularda rivojlanayotgan deffektni (nosozlikni) oldindan ilg'ash orqali jihozlarning ishdan chiqishini oldi olinadi.

Elektr qurilmalarning izolyatsiyasi ishlash jarayonida ishchi kuchlanish ta'sirida bo'ladi. Ekspluatatsiya davrida kuchlanishning ishchi kuchlanishdan oshishi o'ta kuchlanish hisoblanadi. Uning manbai generatorlarning elektr yurituvchi kuchi va sistemada sodir bo'ladigan normal va avariya kommutatsiyalari hisoblanadi. Bu kommutatsiyalar natijasida hosil bo'ladigan tebranish konturida rejim parametrlarining tebranishi sistemada kuzatiladigan kuchlanish rezonansiga olib kelishi mumkin. Sistema elektr uskunalari izolyatsiyasiga ichki o'takuchlanishdan tashqari elektr qurilmalariga yashinning urilishi sababli paydo bo'ladigan atmosfera o'takuchlanishi ham ta'sir kursatadi. Sistemada kuzatiladigan o'takuchlanishlar ularning paydo bo'lish sabablariga ko'ra ikkita katta guruhga bo'linadi. Bular atmosfera va kommutatsiya o'takuchlanishlaridir.

Atmosfera o'takuchlanishi yashining elektr qurilmalarning tok o'tkazuvchi qismlariga yoki unga yaqin bo'lgan obyektga bevosita urilishidan paydo bo'ladi. Kommutatsiya o'ta kuchlanishlari esa, sistemada normal va avariya holatlaridagi kommutatsiyalar natijasida paydo bo'ladi. Shu sababli ular ichki o'takuchlanishlar deb ham yuritiladi.

Elektr sistemaning ko'proq atmosfera o'takuchlanishidan shikastlanish ehtimoli katta bo'lgan elementi havo elektr uzatish liniyasidir. Buning asosiy sababi uning uzunligi, ya'ni o'lchamining kattaligi hisoblanadi. Ideal izolyatsiyalangan elektr uzatish liniyasining o'tkazgichlarida yashinning razryadlanishi natijasida juda yuqori kuchlanish paydo bo'lishi mumkin. Bu jarayonda paydo bo'ladigan o'takuchlanishga hech bir izolyatsiya konstruksiyasi chidash bera olmaydi. Shuning uchun elektr sistemaning normal ishlashini ta'minlash maqsadida har xil chaqmoqlash, himoyalash uskunolari qo'llaniladi. Bu holda razryadlanish izolyatorlar sirti buylab rivojlanadi va izolyatsiyaning teshilishi va qoplanishiga olib kelishi mumkin. Muhofazalashni takomillashtirish uchun har xil vositalar (AQU, neytralni zaminlash, yoy so'ndiruvchi uskunalar va yashin qaytargichlar) qo'llanilishi mumkin. Yashining elektr uzatish liniyasiga urilishi natijasida liniya izolyatsiyasining shikastlanishidan tashqari, yashin urilgan nuqtadan ikkala yunalishda tarqalayotgan kuchlanish impulsleri paydo bo'ladi. Bu kuchlanish to'liqlari stansiya va podstansiyalarga yetib kelib, ularda o'rnatilgan elektr qurilmalari, jihozlar va apparatlarining izolyatsiyasiga ham xavf tug'diradi. Bundan muhofoza qilish uchun o'takuchlanishni iqtisodiy oqlanadigan darajagacha chegaralash uchun ventilli va quvursimon razryadlagichlar va o'takuchlanishni nochiq chegaralagichlar (varistorlar)dan foydalaniladi.

Ichki o'takuchlanish ko'p hollarda kommutatsiyaning turiga, elektr tarmog'ining xarakteristikasi va rejimiga, kommutatsiyalovchi apparatlarga bog'liq. Shuning uchun ko'p marta takrorlanuvchi kommutatsiyalar har xil qiymatli o'takuchlanishlarga olib kelishi mumkin. Shu sababli ichki o'takuchlanish ham xuddi atmosfera o'takuchlanishi kabi statistik xarakterga ega.

K. 2. Elektr energetikasi yo'nalishidagi mutaxassislar uchun «Yuqori kuchlanish texnikasi» fanining ahamiyati

Elektr energetika tizimini rivojlantirishdagi asosiy muammolar qatoriga sistema elementlari (generatorlar, transformatorlar kabilar)ning birlik quvvatini oshirish bilan birga konsentratsiyalangan tarzda ishlab chiqarilayotgan quvvatni uzatish chegarasini oshirish ham kiradi. Elektr energetikaning rivojlanishi energiyasini uzoq masofaga uzatish uchun mo'ljallangan yuqori kuchlanishni qo'llash bilan bog'liq.

Yuqori kuchlanish texnikasining asosiy vazifasi quyidagilardan iborat:

- energiyani uzoq masofaga uzatishda ishtirok etadigan elektr qurilmalarining izolyatsiyasi va ularning fizikaviy, kimyoviy hamda mexanik tavsiflarini o'rganish;

- qattiq, suyuq va gazsimon dielektrlarda razryadlanish jarayonlarining kechishi, ularning turlari hamda razryadlanish jarayonning kechishiga kuchlanish va kuchlanish impulslarining ta'sirini o'rganish;

- elektr sistemaning elementlariga ta'sir etuvchi ichki (kommutatsiya) va tashqi (atmosfera) o'takuchlanishlar, hamda ulardan muhofazalanish usullari va qo'llaniladigan uskunalar bilan tanishtirish.

Katta quvvatlarni uzatish, o'zgartirish va taqsimlashda qatnashayotgan elektr qurilmalarining (generatorlar, transformatorlar, kommutatsiya apparatlari, kompensatsiyalovchi qurilmalar va elektr uzatish liniyalarining) ishonchli ishlashi juda katta ahamiyatga ega. Bu masalani yechish ko'p jihatdan elektr qurilmalar izolyatsiyasining doimiy ta'sir qiluvchi ishchi kuchlanishda va qisqa muddatga atmosfera va ichki o'takuchlanishlarda ishonchli ishlashini ta'minlashga bog'liq. Chunki, sistemada qo'llaniladigan elektr qurilmalar tannarxining asosiy qismini izolyatsiyalovchi konstruksiya va materiallar tannarxi tashkil etganligi tufayli, sarf harajatni kamaytirish uchun ijozat etiladigan o'takuchlanish qiymatini pasaytirish zarur.

Hozirgi vaqtda elektr sistemalarida qabul qilingan turli nominal kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari orqali turli sharoitlarda uzatish mumkin bo'lgan chegaraviy quvvatlar K.1- jadvalda keltirilgan.

Yoqilg'i manbailariga yaqin joylashgan elektr stansiyalarda ishlab chiqarilayotgan elektr energiyani yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalari orqali uzoq masofada joylashgan ta'minot markazlariga

uzatishda yuqori kuchlanishni kiritishdan maqsad: elektr tarmoqlarda bo'ladigan aktiv quvvat va energiya isroflarini kamaytirish, aktiv quvvatning haqiqiy uzatilish chegarasini oshirish va aktiv quvvatning uzatilish masofasini uzaytirishdir. Elektr uzatish tarmog'ida yuz beruvchi isrofning uni kuchlanishiga bog'liqligini baholash uchun quyidagi aktiv va reaktiv quvvat isrofi formulalariga murojaat qilishimiz mumkin:

$$\begin{cases} \Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_x \\ \Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X_x \end{cases}, \quad (K.1)$$

bu yerda P, Q – uzatilayotgan aktiv va reaktiv quvvatlar; $\Delta P, \Delta Q$ – sistema elementlarida bo'layotgan aktiv va reaktiv quvvat isroflari; R_x, X_x – sistema elementlarining umumiy aktiv va reaktiv qarshiliklari.

K.1- jadval. O'ta yuqori kuchlanish elektr uzatish liniyalarining parametrlari.

Nominal kuchlanish (kV)	330	500	750	1150
Eng katta ishchi kuchlanish (kV)	363	525	787,5	1200
Zaryad quvvati (MVAR/km)	0,4	0,9-1,0	2,0- 2,2	5,4 - 6,0
Natural quvvat (MVt)	350	900- 1000	2000-2200	5400-6000
O'tkazgichlar soni	2	3	5	8-12
Uzatilish uzunligi (km)	300	400	500	1200
Turg'unlik bo'yicha uzatish qobiliyati (MVt)/ natural quvvatga nisbatan (marta katta)	800/ 2,3	1350/ 1,5	2500/ 1,2	4500/ 0,85
Qizdirish bo'yicha uzatish qobiliyati (MVt)/ natural quvvatga nisbatan (marta katta)	750/ 2,2	1740/ 1,9	4600/ 2,1	11000/ 2,1

Ifodadan sistema elementlarida bo'ladigan aktiv va reaktiv quvvat isroflari sistema kuchlanishiga teskari proporsional ekanligini ko'ramiz.

Uzatilishi mumkin bo'lgan maksimal quvvat kuchlanish bilan noxiziq kvadratik bog'lanishda bo'lib, agar $U_1 = U_2 = U$ deb qabul qilsak, uni quyidagi formula bo'yicha topish mumkin:

$$P_{maks} = \frac{U_1 U_2}{Z} \text{ Sincd yoki } P_{maks} = \frac{U^2}{Z} \text{ Sincd}. \quad (K.2)$$

Elektr sistemasida yuqori kuchlanishning kiritilishi bir qancha murakkab ilmiy - texnik muammolarni yechishni talab etadi. Shulardan biri sistema elementlarining elektr izolyatsiyasiga mansub bo'lgan

muammodir. Elektr sistemasida qo'llaniladigan elektr qurilmalarining izolyatsiyasini loyihalashda asosiy masala «izolyatsiya sathini», ya'ni izolyatsiyaning shikastlanmasdan chidaydigan kuchlanishini aniqlashdir. Buning uchun sistema elementlarining izolyatsiyalarida kechadigan ionlanish va razryadlaish jarayonlarini o'rganish va tahlil qilish muhim o'rinni egallaydi.

Yuqori kuchlanishni kiritish elektr sistemasi orqali uzoq masofalarga energiyani iqtisodiy jihatdan samarali tarzda uzatish imkonini yaratadi.

Xarakteristikalarini o'rganiladigan va sistema elementlarida qo'llaniladigan izolyatsiyalar asosan quyidagi uchta ko'rinishda bo'lishi mumkin:

- gazsimon izolyatsiya ko'rinishida qo'llaniladigan dielektriklar sifatidagi oddiy atmosfera havosi, inert gazlar va elegaz kabilar;
- suyuq izolyatsiyalovchi dielektrik materiallar sifatidagi transformator moyi, kondensator moyi, kostor moyi va har xil noorganik moylar kabilar;
- qattiq izolyatsiyalovchi dielektrik sifatidagi elektrotexnik chinni, kvarts shishasi, bakilit qog'ozi va boshqalar.

Atmosfera bilan bevosita aloqada bo'lgan izolyatsiyaga - tashqi izolyatsiya deyiladi. Tashqi izolyatsiyaga atmosfera havosi yordamida izolyatsiyalangan havo elektr uzatish liniyalarining o'tkazgichlari, elektr stansiyalari va podstansiyalarining taqsimlovchi qurilmalar shinalarining oraliqlari hamda izolyatorlarning sirtlari kiradi. Atmosfera havosining elastikligi va arzonligi uni tashqi izolyatsiyada izolyatsiyalovchi material ko'rinishida qo'llashga imkon beradi. Shu sababli havo elektr uzatish liniyasi eng keng tarqalgan energiyani transportlash vositasi hisoblanadi.

Ichki izolyatsiyaning elektr xarakteristikalariga atmosfera sharoitining holati amalda ta'sir qilmaydi. Ichki izolyatsiyaning asosiy xususiyati uning eskirishi, namlanishi va ifloslanishi hamda qattiq dielektriklar uchun esa uning teshilishi va qoplanishi hisoblanadi. Ichki izolyatsiyada qo'llaniladigan suyuq va gazsimon dielektriklarning elektr mustahkamligi teshilishdan keyin qayta tiklansada, ifloslanishlar hisobiga qisman pasayadi.

Elektr sistemasini ekspluatatsiya qilish davrida ularda sodir bo'ladigan har xil tashqi (atmosfera) va ichki (kommutatsiya) sabablarga ko'ra izolyatsiyaga nominal kuchlanishdan anchagina ortiq bo'lgan kuchlanish ta'sir etishi mumkin. Bu kuchlanish "o'takuchlanish" deb

yuritiladi. O'ta kuchlanish qiymati fazadagi nominal kuchlanishga nisbatan karraligi bilan harakterlanadi. Tarmoqning nominal kuchlanishi qancha yuqori bo'lsa elektr sistemasida kutiladigan o'takuchlanish karrasi shuncha kam bo'ladi.

O'takuchlanish ikkita guruhga bo'linadi:

- tashqi o'ta kuchlanish. U atmosferada sodir bo'ladigan yashinning elektr qurilmalarining tok o'tkazuvchi qismiga bevosita yoki unga yaqin joyda yerga urilishidan paydo bo'ladi;

- ichki o'takuchlanish. U elektr sistemasini ekspluatatsiya qilish davrida normal yoki avariya holatida amalga oshiriladigan kommutatsiyalarda va uning ishlash holati(rejimi)ning keskin o'zgarishida paydo bo'ladi. Ichki o'takuchlanishning manbai sistemada parallel ishlayotgan generatorlarning EYUK, sababi esa normal va avariya kommutatsiyalari natijasida bo'ladigan tebranish konturlarida rivojlanadigan tebranish rezonanslari va ferorezonanslari hisoblanadi.

Ma'lumki, yerdan to'la izolyatsiyalangan o'tkazgich (havo elektr uzatish liniyasining simlari, elektr qurilmalarining korpuslari) ga yashinning bevosita urilishi, unda bir necha million voltga etadigan kuchlanishning paydo bo'lishiga olib keladi. Bu qiymatdagi kuchlanishga hech bir qo'rilmaning izolyatsiyasi chidash bera olmaydi. Shuning uchun elektr sistemasining normal ishlashini ta'minlash maqsadida turli xildagi tadbirlar qo'llaniladi. Ulardan keng tarqalgani muhofazalovchi troslar va yashin qaytargichlarning qo'llanilishidir. Temir tayanchli elektr uzatish liniyasining butun uzunligi bo'yicha, temir beton va yog'och tayanchlarda bajarilgan liniyalarda esa stansiya va podstansiyalarning kirishlarida himoyalovchi troslar o'rnatiladi. Ular havo elektr uzatish liniyasidan kelayotgan zaryadlarni yerga o'tkazish orqali qurilmalarning izolyatsiyasini muhofazalaydi. Bundan tashqari stansiya, podstansiya va havo elektr uzatish liniyalariga yaqin joyga yashin urilishi natijasida havo elektr uzatish liniyalarida induktsiyalangan o'takuchlanishlardan ularning izolyatsiyasini himoya qilish maqsadida uchqun oralig'i (UO) va razryadlagichlar qo'llaniladi.

Izolyatsiyaning elektr mustahkamligi, izolyatsiyaning konstruksiyasiga va izolyatsiya tayyorlangan dielektrikning tarkibi hamda uning fizika-kimiyoviy xossalariga bog'liq. Izolyatsiya sathini o'ta kuchlanishning bir qiymati bo'yicha harakterlashga ruxsat etilmaydi. Shuning uchun izolyatsiyani koordinatsiyalashda ular ikkita – ichki va tashqi o'takuchlanish bo'yicha tanlanadi va harakterlanadi.

Izolyatsiya konstruksiyalariga (generator, transformator, kondensator va havo elektr uzatish liniyasi elementlari izolyatsiyasiga) ekspluatatsiya davrida yuqori harorat, qisqa tutashuvda paydo bo'ladigan elektrodinamik va mexanik kuchlar ta'sir etishi mumkin. Bundan tashqari izolyatsiyaning ifloslanishi va ho'llanishi ham uning xarakteristikasining o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Bu faktorlar izolyatsiyaning tezroq eskirishiga, unda kamchiliklarning (defektlarning) paydo bo'lishiga va natijada elektr mustahkamligining pasayishiga olib keladi. Bu o'zgarishlarni o'z vaqtida aniqlash esa maxsus tekshirishlar (taftishlar) va profilaktik sinashlar yordamida amalga oshiriladi.

Yuqori kuchlanishda elektr qurilmalarni ishonchli va iqtisodiy jihatdan samarali ishlashini ta'minlash uchun ularning izolyatsiyalari zaruriy elektr mustahkamlik talablariga javob berishi kerak. Buning uchun qurilmalarni ishlab chiqarish va ishlatish jarayonida ularning izolyatsiyalarini qurish, ta'mirlash va sinash muhim hisoblanadi. Ushbu fanning asosiy maqsadi aynan shunday masalalarni samarali yechish uchun zaruriy bilim, malaka va ko'nikmalarni shakllantirishdan iborat.

Darslik ushbu fan bo'yicha lotin alifbosida davlat tilida tayyorlangan birinchi kitob hisoblanadi. Uni tayyorlashda uning mavzusi bo'yicha uzoq va yaqin xorijiy mamlakatlarda chop etilgan zamonaviy o'quv va ilmiy adabiyotlar, internet-sayt materiallari, meyoriy-huquqiy hujjatlar (elektr uskunalarining tuzilish qoidalari, elektr uskunalarini texnik ishlatish qoidalari, xavfsizlik texnikasi qoidalari kabilardan foydalanildi.

Shuningdek, darslikni tayyorlashda ushbu fandani Toshkent davlat texnika universitetida «Elektr energetikasi» ta'lim yo'nalishining talabalari uchun uzoq yillar davomida ma'ruza mashg'ulotlarini olib borgan, marhum, t.f.n., dotsent Haydarov Safar Javliyevich tomonidan yaratilgan o'quv-uslubiy majmua materiallaridan ham keng foydalanildi.

1. DIELEKTRIKLARDA KECHADIGAN ELEKTROFIZIK JARAYONLAR

1.1. Elektr maydonining xarakteristiklari

Zamonoviy tasavvurga ko'ra elektr va magnit maydonlari o'zaro bir-biriga ta'sir ko'rsatmaydi. Har bir zaryadlangan jism o'zini o'rab turgan muhitda elektr maydoni hosil qiladi. Bu maydon boshqa zaryadlangan jismlarga maydonning jinsiga bog'liq bo'lgan kuch bilan ta'sir ko'rsatadi. Elektr maydonining asosiy xarakteristikasi – bu elektr maydonining zaryadlangan zarachalarga ta'sirini xarakterlaydigan kattalik bo'lgan elektr maydon kuchlanganligi hisoblanadi. Shunday qilib, zaryadlangan jismlarning o'zaro ta'siri ularning zaryadlangan jismlarni o'rab turgan elektr maydoni vositasida bir-biriga bevosita ta'siri orqali amalga oshadi.

Zaryadlangan jismni o'rab turgan elektr maydonini tekshirila-yotgan zaryadlarning sezilarli darajada qaytadan taqsimlanishiga olib kelmaydigan qiymati bo'yicha uncha katta bo'lmagan nuqtaviy-sinov zaryad yordamida tekshirishimiz mumkin..

Ma'lumki, elektrodlar orasiga kuchlanishning qo'yilishi natijasida paydo bo'lgan elektr maydonini son jihatdan aniqlash uchun elektr maydonining asosiy kuch xarakteristikasi – **elektr maydon kuchlanganligi** kiritiladi.

Elektr maydonining kuchlanganligi deyilganda muhitning berilgan nuqtasiga joylashtirilgan musbat sinov zaryadiga ta'sir ko'rsatadigan kuchning zaryadning qiymatiga bo'lgan nisbati tushuniladi. Elektr maydonning kuchlanganligi ta'sirida izolyatsiyalovchi muhitning teshilishi yoki qoplanishi amalga oshadi.

Elektr maydon kuchlanganligi – fizik vektor kattalik hisoblanadi. Izolyatsiyalovchi muhitning har bir nuqtasida elektr maydon kuchlanganligi vektorining yo'nalishi musbat sinov zaryadiga ta'sir etayotgan kuchning yo'nalishiga mos keladi.

Qo'zg'almas va vaqt bo'yicha o'zgarmaydigan zaryadning elektr maydoniga elektrostatik maydon deb nomlanadi. Ko'pchilik hollarda bu maydon qisqa qilib, elektr maydoni deb yuritiladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1.1)$$

Agar sinov zaryad yordamida bir nechta zaryadlangan jismlarning hosil qilayotgan elektr maydoni tekshirilayotgan bo'lsa, natijaviy kuch ularning har birining alohida sinov zaryadiga ta'sir ko'rsatayotgan kuchlarning yig'indisiga teng. Demak, muhitning ushbu berilgan nuqtasida zaryadlar sistemasi tomonidan hosil qilinayotgan elektr maydonining kuchlanganligi, xuddi shu nuqtada har bir zaryadning hosil qilgan elektr maydon kuchlanganliklarining vektor yig'indisiga teng:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots \quad (1.2)$$

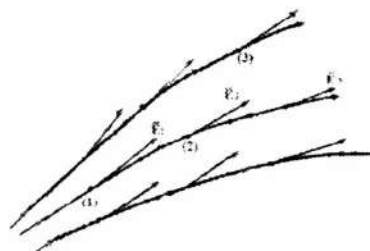
Demak, elektr maydonning bu xususiyati uni superpozitsiya qonuniyatiga bo'ysunishini bildiradi.

Kulon qonuniga mos ravishda nuqtaviy Q zaryaddan r masofada joylashgan nuqtadagi elektrostatik maydon kuchlanganligining modulini quyidagi formula yordamida aniqlaymiz:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (1.3)$$

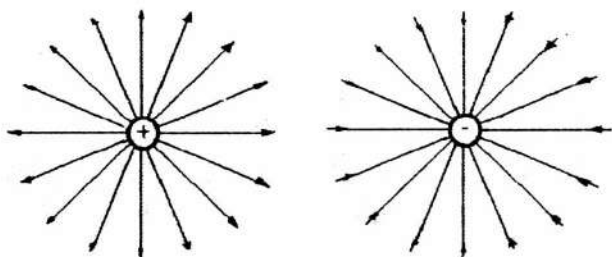
Bu maydon Kulon maydoni deyiladi. Kulon maydonida elektr maydoni vektorining yo'nalishi maydon kuchlanganligi vektori E ning yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.

Elektr maydonini yaqqol va aniqroq tasvirlash uchun kuch chiziqlari tushunchasi qo'llaniladi. Bu chiziqlar shunday o'tkaziladiki, elektr maydonining har bir nuqtasida vektorning yo'nalishi kuch chiziqlariga bo'lgan urinmaning yo'nalishiga mos keladi (1.1- rasm). Elektr maydonini kuch chiziqlari yordamida tasvirlashda, shuni e'tiborga olishimiz zarurki, kuch chiziqlarining zichligi elektr maydon kuchlanganligi vektorining moduliga proporsional bo'lishi kerak.



1.1-rasm. Elektr maydoni kuch chiziqlari.

Nuqtaviy zaryad Kulon maydonining kuch chiziqlari yoʻnalishi musbat va manfiy boʻlishi mumkin. Uning tasviri 1.2- rasmda keltirilgan. Har qanday zaryadlar sistemasi (toʻplami) hosil qilayotgan elektrostatik maydonini nuqtaviy zaryadlar hosil qilgan Kulon maydonlarining superpozitsiyasi koʻrinishida tasvirlashimiz mumkin (1.3- rasm). 1.2- rasmda keltirilgan maydonni har qanday elektrostatik maydonning elementar strukturasi sifatida qarashimiz mumkin.



1.2- rasm. Kulon maydonning kuch chiziqlari

Nuqtaviy zaryadning Kulon maydonini vektor koʻrinishida yozish qulay hisoblanadi. Buning uchun zaryad Q dan kuzatish nuqtasigacha boʻlgan vektor–radiusni oʻtkazishimiz kerak. Bunda $Q > 0$ boʻlsa, vektor parallel va $Q < 0$ boʻlganda esa, vektor antiparallel deb yuritiladi. Bunday holat uchun quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^3} \vec{r}$$

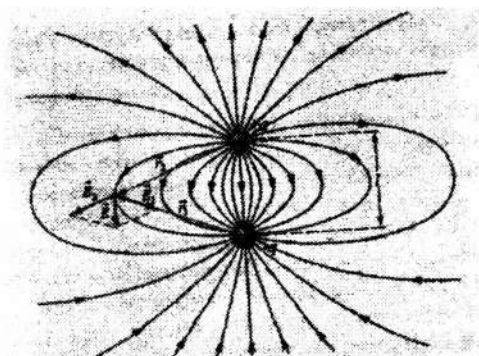
Misol sifatida 1.3- rasmda maydonlarni superpozitsiya qoidasining qoʻllanilishi keltirilgan. Unda ikkita modullari boʻyicha bir xil va ishoralari bir-biridan farq qiladigan ($-q$ va q) va biri–biridan maʼlum masofada joylashgan zaryaddan tashkil topgan zaryadlar sistemasining (elektrik dipolning) maydon kuch chiziqlari tasvirlangan.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (1.4)$$

Elektrik dipolning muhim harakteristikalaridan biri uning quyidagicha aniqlanuvchi dipol momenti hisoblanadi:

$$\vec{P} = \vec{i} q,$$

bu yerda $\vec{i}$ manfiy zaryaddan musbat zaryadga yoʻnalgan vektor, $|\vec{i}| = i$ modul. Dipol koʻpchilik gajum molekulaning elektrik modeli boʻlib xizmat qilishi mumkin.



1.3- rasm. Dipol elektr maydonining kuch chiziqlari.

Elektr maydon kuchlanganligi bir izolyatsiyalovchi muhitdan boshqa qo'shni muhitga o'tish chegarasida sinadi va ikkita—normal va tangensial tashkil etuvchilarga ajraladi. Bu tashkil etuvchilarning ta'sirida izolyatsiyalovchi muhit teshilishi yoki qoplanishi mumkin.

Elektr qurilmalarining tok o'tkazuvchi qismlari orqali tok oqib o'tganda va elektrodlar oralig'iga kuchlanish qo'yilganda elektromagnit maydon hosil bo'ladi. U quyida keltirilgan xarakteristikalarga ega.

Elektr maydon potentsiali - skalyar kattalik bo'lib nuqtadagi zaryadning maydon kuchlanganligi ta'sirida maydonning kuch chizig'i bo'ylab ko'chishida bajargan ishidir. U musbat, manfiy va nolga teng bo'lishi mumkin. Chunki, elektr maydonning nuqtasi musbat, manfiy va nol inchi potentsialga ega bo'lishi mumkin.

Musbat potentsial. Elektr maydonning berilgan nuqtasidagi musbat potentsial birlik musbat zaryadni elektr maydon kuchi ta'sirida potentsiali nol bo'lgan nuqtadan berilgan nuqtaga maydon kuch chiziqlariga teskari yo'nalishida ko'chishida sarflanadigan energiyani ifodalaydi.

Manfiy potentsial. Elektr maydonning berilgan nuqtasidagi manfiy potentsial birlik musbat zaryadni elektr maydon kuchi ta'sirida potentsiali nol bo'lgan nuqtadan berilgan nuqtaga maydon kuch chiziqlari yo'nalishida ko'chishida sarflanadigan energiyani ifodalaydi.

Nol inchi potentsial – zaryadga nisbatan cheksiz uzoqlikdagi yoki zaminlangan nuqtaning potentsiali.

Berilgan nuqtadagi elektr maydonining asosiy xarakteristikasi uning kuchlanganligi hisoblanadi. U dielektrikning elektr mustahkamli-

gini belgilaydi. Uning ta'sirida izolyatsiyalovchi muhitning teshilishi yoki qoplanishi kuzatiladi. Ikki izolyatsiyalovchi muhitning chegarasida elektr maydon kuchlanganlik vektori tangensial va normal tashkil etuvchiga ajratiladi. Dielektrikning teshilishiga olib keluvchi minimal maydon kuchlanganligi teshilish kuchlanganligi (E_t), qoplanishiga olib keluvchi minimal maydon kuchlanganligi esa qoplanish kuchlanganligi (E_q) deyiladi.

Kuchlanish – elektr maydonining ikki nuqtasi orasidagi potensiallar farqidir.

Elektrik siljish – vektor kattalik bo'lib, dielektrikka elektr maydonining ta'siri darajasini belgilaydi va u qaralanayotgan nuqtadagi elektr maydon kuchlanganligi vektorining izolyatsiyalovchi muhitning dielektrik singdiruvchanligiga ko'paytmasiga teng:

$$D = \epsilon E.$$

Elektrik siljish zaryadlangan jismning sirtida elektr zaryad zichligini, yoki o'tkazgich sirtning elektr maydoniga uning kuch chiziqlariga normal yo'nalishda kiritilgan sirtning har bir kvadrat metrida induksiyalangan elektr zaryadlarining zichligini harakterlaydi.

Elektrik sig'im – konstruktiv jihatdan dielektrik qatlamlar bilan ajratilgan o'tkazuvchi jism (elektrod)larni ifodalash uchun qabul qilinadigan tushuncha hisoblanadi. Zaryadlarni yig'ish va saqlash uchun qo'llaniladigan qurilma kondensator deyiladi.

Agar kondensatorni kuchlanish manbaiga ulasak, uning elektrod-lari qiymatlari teng, ammo ishoralari teskari bo'lgan potentsiallarga ega bo'ladi. Bunday holatda ular o'rtasidagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U = \varphi_1 - (-\varphi_2) = 2\varphi. \quad (1.5)$$

Dielektrikda qutblanish jarayonining kechishi bilan uning elektrod-lari sirtida zaryadlar yig'ila boshlaydi. Yig'ilayotgan zaryad Q bilan sig'imning qoplamalari orasiga qo'yilgan kuchlanish o'rtasidagi bog'lanish kondensatorning elektrod-larini geometrik o'lchamiga bog'liq bo'lgan kattaligi – sig'imini harakterlaydi:

$$C = \frac{Q}{U}.$$

Dielektrik singdiruvchanlik – izolyatsiyada qo'llaniladigan dielektriklarning asosiy elektrik harakteristikasi bo'lib, tashqi elektr maydoni ta'sirida qutblanish darajasini ko'rsatadi. U quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon'$$

Bu yerda $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ (f/m) – tajriba yo‘li bilan o‘rnatilgan elektr doimiysi – absolyut dielektrik singdiruvchanlik; ε' – izolyatsiyalovchi materialning fizikaviy va kimyoviy xossalari bog‘liq bo‘lgan kattalik.

Nazorat savollari

1. Yuqori kuchlanish texnikasining rivojlanishi davlat industrial qudratini belgilaydimi?
2. O‘takuchlanish va izolyatsiya fanning jamiyat taraqqiyotidagi roli.
3. Yuqori kuchlanish texnikasining asosiy vazifasi.
4. O‘takuchlanish va izolyatsiya faning asosiy tushinchalari va holatlari.
5. Elektr maydoning vektor va skalyar parametrlari.

1.2. Yuqori kuchlanish texnikasida qo‘llaniladigan gazlarda ionlanish jarayonlari

Gazlar va havo ma’lum darajada har qanday izolyatsiya konstruksiyasida qatnashadi. Masalan, taqsimlovchi qurilmalarning shinalari, elektr uzatish liniyasining o‘tkazgichlari, yuqori kuchlanish transformatori, kondansatorlar, ajratkichlar va uzgichlarning kirishlari (elektrodlari) bir biridan atmosfera havosi yordamida izolyatsiyalangan. Podstansiyalarning tayanch izolyatorlari, elektr uzatish liniyasining osma izolyatorlari va boshqa izolyatsiya konstruksiyalari doimo atmosfera havosi bilan bevosita aloqalashgan bo‘ladi. Ayniqsa, atmosfera havosining elastikligi va arzonligi, uni izolyatsiyalovchi material ko‘rinishida keng qo‘llashga imkon beradi. Shu sababli, havo elektr uzatish liniyasi eng keng tarqalgan energiyani uzatish vositasi hisoblanadi.

Tashqi izolyatsiyani tashkil etishda asosiy dielektrik material sifatida atmosfera havosi xizmat qiladi. Tashqi izolyatsiyaga elektr qurilmalarining tashqi atmosfera havosi bilan bevosita aloqada bo‘lgan tok o‘tkazuvchi qismlarini izolyatsiya qilishga mo‘ljallangan qattiq dielektrlardan yasalgan izolyatorlar kiradi. Tashqi izolyatsiyaning asosiy xususiyati uning elektrik mustahkamligining barometrik bosimga, tashqi atrof-muhit haroratiga, havoning namligiga (≈ 20 g/m³), havoning zich-

ligiga, hamda qattiq dielektriklar sirtining ifloslanishiga bog'liqligidir. Bosimning dengiz sathiga nisbatan balandlikka bog'liq ravishda o'zgarishini quyidagi formula orqali topamiz:

$$P = P_0(1-10^{-4}h). \quad (1.6)$$

Bu yerda h - dengiz sathiga nisbatan balandlik; P_0 -normal atmosfera bosimi (760 mm sim. ust)

Solishtirish uchun yuqori kuchlanish texnikasida foydalaniluvchi gazlarning nisbiy elektr mustahkamligi 1.1 -jadvalda keltirilgan.

Har doim elektr qurilmalarini o'rnatishda ularni dengiz sathiga nisbatan qanday balandlikda joylashishini e'tiborga olish tavsiya etiladi. Dengiz sathiga nisbatan har 100 m balandlikda atmosfera bosimi 1% kamayib boradi. Normal atmosfera sharoitidan farq qiladigan sharoitda havoning zichligi quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$\delta = \frac{T_0}{P_0} \frac{P}{T} = 0,386 \frac{P}{T}.$$

1.1- jadval. Elektr qurilmalarida foydalaniluvchi gazlarning xarakteristikalar.

Gazlar	Kimiyoviy tarkibi	Havoga nisbatan elektrik mustahkamligi	Suyulish harorati
Havo	-	1,0	-
Vodorod	N ₂	0,6	-
Azot	N ₂	1,0	-
Elegaz	SF ₆	2,5	-52
Freon	CCI ₂ F ₂	2,5	-30
Trixlorflormetan	SCI ₃ F	4,5	+49
Tetraxlormetan	SCI ₄	6,3	+76

1.1- jadvaldan ko'rinadiki, trixlorflormetan va tetraxlormetan kimiyoviy birikmalarning elektr mustahkamligi qolgan gazlarga qaraganda ancha yuqori. Ammo bu birikmalarda ionlashish jarayonida uglerod ajralib chiqishi natijasida o'tkazuvchan qatlam hosil bo'lishi mumkinligi sababli ularni elektrenergetikada qo'llab bo'lmaydi. Elektr o'tkazuvchanliklari bir xil va suyulish harorati nisbatan past bo'lgan kimyoviy inert gazlar, freon va elegaz elektr sistema elementlarining izolyatsiyasida keng qo'llaniladi. Bu gazlarning umumiy kamchiligi ularning tannarxining boshqalarga nisbatan yuqoriligidir.

Misol uchun qalinligi 0,5 sm bo'lgan atmosfera havosining normal atmosfera sharoitida elektrik mustahkamligi 17 kV ga teng bo'lsa, havo-

ning bosimini 15 atmosferaga yetkazganimizda uning elektrik mustahkamligi 190 kVga tenglashadi. Solishtirish uchun toza transformator moyining shu qalinlikdagi qatlamining elektrik mustahkamligi 160 kV ga teng ekanligini olishimiz mumkin.

Gazlarda neytral molekuladan bitta erkin elektronni ajralib chiqish jarayoniga **ionlanish** deyiladi. Ionlanish jarayonini amalga oshirish uchun ma'lum ish bajarish zarur. Bu ishni bajarish uchun sarflanadigan energiyaga **ionlanish energiyasi** deyilib, u potentsiallar ayirmasi yordamida o'lchanadi. Potentsiallar ayirmasini kesib o'tishda elektron ionlanish energiyasiga teng energiyani o'zida yig'adi va bu energiyaga **ionlanish potentsiali** deyiladi. U son jihatdan ionlanish energiyasiga teng va elektronvolda ifodalanadi. Bu energiya potentsiallar ayirmasi 1 V bo'lgan elektr maydonida elektronni ko'chirish uchun elektr maydonining bajargan ishiga tengdir.

Ayrim gazlarning ionlanish va qo'zg'alish potentsiallari 1.2- jadvalda keltirilgan

1.2- jadval. Turli gazlarning ionlanish va qo'zg'alish potentsiallari.

Gaz	U_i , V	U_q , V	Gaz	U_i , V	U_q , V
Havo	15.4	11.2	Geliy N_2	24.6	19.8
Azot N_2	15.8	6.1	Seziy Ss	3.88	1.38
Kislorod O_2	12.5	7.9	Simob	10.4	4.86

Agar gaz molekulasiga beriladigan energiya ionlanish energiyasidan kichik bo'lsa, elektron molekulaning tashqi qobig'ini tark etmasdan Nils Bor nazariyasiga ko'ra yuqoriroq energetik sahtga o'tadi, ya'ni qo'zg'atiladi. Molekula qo'zg'atilgan holatda juda qisqa vaqt – taxminan 10^{-8} sekund davomida bo'lib, so'ngra o'z-o'zidan boshlang'ich normal holatiga qaytadi. Musbat ionlar ham qo'zg'atilgan holatga o'tishi mumkin, lekin ularning qo'zg'atish energiyasi neytral molekulanikiga nisbatan kattaroqdir.

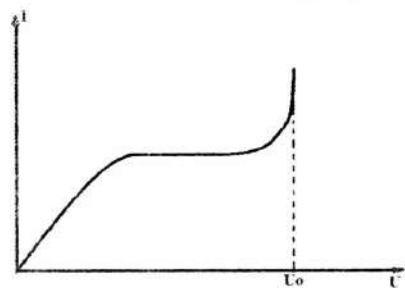
Real gazlarda doimo har xil tashqi ta'sirlar natijasida qandaydir bir qism ionlar va elektronlar mavjud bo'lib, ular gazda ma'lum darajada o'tkazuvchanlik hosil qiladi. Agar yassi elektrodli gazli oraliqqa qo'yilgan kuchlanishni oshirib borsak ionlarning maydon kuch chiziqlari yo'nalishi bo'ylab harakatlanishidan tashqi zanjirda paydo bo'ladigan tokning qiymati ham oshib boradi. Buning sababi rekombinatsiyalanmay elektrodlanga yetib borayotgan ionlar sonining oshishidir. Keyinchalik

elektron bulutning paydo bo'lishi natijasida to'yinish sodir bo'lib, kuchlanishning ma'lum bir qiymatidan boshlab tok yana o'sa boshlaydi, chunki gazda yana ionlanish jarayoni rivojlana boshlaydi. Elektrodlar orasiga qo'yilgan kuchlanishning ma'lum bir qiymatida gazlarda ionlanish jarayoni keskinlashib, tok cheksiz o'sib ketadi va razryadlanish mustaqil rivojlana boshlaydi. Kuchlanishning bu qiymatiga gaz oralig'ining razryadlanish kuchlanishi deyiladi. Razryadlanish kuchlanishida gaz o'zining dielektriklik xossasini to'la yo'qotadi va o'tkazgichga aylanadi (1.4- rasm).

Elektr maydonida zaryadlangan zarrachalarga (ionlar va elektronlar) ta'sir etuvchi kuch quyidagicha aniqlanadi:

$$F = eE, \quad (1.7)$$

bu yerda e – zarachaning zaryadi; E - elektr maydoni kuchlanganligi.



1.4- rasm. Gazdagi tokning elektrod-
lar orasiga qo'yilgan kuchlanishga
bog'liqligi.

Ionlanish jarayonida paydo bo'lgan elektronlar erkin holatda qolishi yoki neytral atomlar bilan qo'shilib manfiy ion hosil qilishi mumkin. Manfiy ionning paydo bo'lishi gaz atomining tuzilishiga bog'liqdir. Musbat ion yerkin elektron yoki manfiy ion bilan to'qnashganda rekombinatsiyalashi- shi natijasida olingan energiya hisobiga o'zidan ma'lum chastota va to'lqin uzunlikdagi nur tarqatadi.

Nurlanish chastotasi quyidagicha aniqlanadi:

$$h\nu = W_I + \Delta W_k,$$

bu yerda ΔW_k - to'qnashuvda qatnashayotgan zarrachalarning to'qnashuvdan oldingi va keyingi kinetik energiyalarining farqi. h – Plank doimiysi va u $6,6 \times 10^{-27}$ ergsekga teng.

Gazlarda ionlanish jarayonining quyidagi turlari mavjud:

- zarbaviy ionlanish;
- hajmda fotoionlanish;
- termik ionlanish;
- elektrodlar sirtida ionlanish.

Zarbaviy ionlanish. Massasi m bo'lgan zarracha (elektron, ion yoki neytral molekula) elektr maydon ta'sirida v tezlik bilan

harakatlanib, neytral atom yoki molekula bilan to'qnashib, unga ionlanish yoki qo'zg'alish uchun zarur bo'lgan energiyani beradi.

Gaz zarrachalari doimo xaotik harakatda bo'lib, bir-biri bilan o'zaro to'qnashuvda bo'ladi. Zarrachaning 1 sm yo'ldagi to'qnashuvlari soni N zarrachalar konsentratsiyasi Z ga bog'liq:

$$N = \frac{P}{kT}, \quad (1.8)$$

bu yerda P - gaz bosimi; T - gaz harorati; k - Boltsman doimiysi, $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = 8.62 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$.

Zarrachalar konsentratsiyasiga teskari proporsional bo'lgan kattalik zarrachaning o'rtacha erkin yugurish yo'li deyiladi va u quyidagicha topiladi: $\lambda = \frac{1}{Z}$.

Agar zaryadlangan zarachalarning to'qnashuv chastotasi γ , uning impulsi $m\vartheta$ (m - zarachaning massasi; ϑ - ion yoki elektronning elektr maydonida ko'chish tezligi) bo'lsa, u holda impuls $m\vartheta\gamma$ Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra zarrachaga ta'sir etayotgan kuch bilan kompensatsiyalanadi:

$$m\vartheta\gamma = eE, \quad (1.9)$$

Zarrachaning ketma-ket to'qnashuvi orasidagi vaqt:

$$\tau = \frac{\lambda}{\vartheta}. \quad (1.10)$$

Zarachaning o'rtacha arifmetik tezligi:

$$\vartheta = \frac{e}{m\vartheta} E = \frac{e\tau}{m} E = \frac{e\lambda}{m\vartheta} E = KE, \quad (1.11)$$

Elektr maydonida tezlashtirilgan elektron neytral molekula bilan to'qnashishida yerkini elektron yoki zaryadlangan zarrachaning paydo bo'lishiga olib keladi. Kuchlanganligi E bo'lgan elektr maydonida elektron X_I masofani yugurib o'tishda $W_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = EX_I$ ga teng bo'lgan kinetik energiyani yig'adi va quyidagi shart bajarilsagina ionlanish jarayoni kuzatilishi mumkin:

$$\frac{m\vartheta^2}{2} \geq W_I. \quad (1.12)$$

Zarbaviy ionlanish jarayoni ko'p pag'onali rivojlanib, quyidagi ketma-ketlikda boradi:

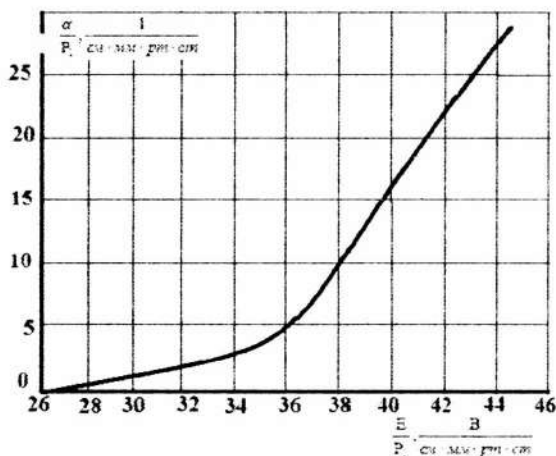
a) Energiyasi ionlanish energiyasidan kichik bo'lgan elektron atom bilan to'qnashganda uni qo'zg'atilgan holatga o'tkazadi. Uning

izidan uchib kelayotgan elektron qo'zg'atilgan atom bilan to'qnashib, unga ionlanishi uchun yetarli energiyani beradi.

b) Qo'zg'atilgan atom elektron bilan to'qnashganidan so'ng o'zi normal holatga o'tadi va ajralgan energiyasini elektronga beradi natijada elektron keyingi to'qnashuvda ionlantirish imkoniga ega bo'ladi:

$$A = AP \exp\left(\frac{BP}{E}\right), \quad B = \frac{AW_I}{e}, \quad (1.13)$$

bu yerda A va B gazning harakteristikasiga va haroratiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas bo'lib, har bir gaz uchun atrof-muhit holati uchun eksperiment yo'li bilan aniqlaniladigan $\frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right)$ bog'lanishning elektr maydon kuchlanganligi va bosimga bog'liqligidan topiladi (1.5- rasm).



1.5- rasm. Havo uchun $\frac{\alpha}{P}$ ning $\frac{E}{P}$ ga bog'liqligi.

Tajriba yo'li bilan olingan bog'lanishga ko'ra $\frac{E}{P} = 20 \div 150$ V/sm bo'lgan havo uchun bu funksional bog'lanish quyidagi empirik formula yordamida ifodalanadi:

$$\frac{\alpha}{P} = 8,5 \exp\left(-\frac{250 \cdot P}{E}\right). \quad (1.14)$$

Zarbaviy ionlanish jarayonining kechishi zaryadlangan zarrachaning erkin yugurish yo'lining uzunligiga bog'liq. Erkin yugurish yo'li

$X_I = \frac{U_I}{E}$ ifodadan topiladi.

Gazning **zarbaviy ionlanish koeffitsienti** deyilganda maydon kuch chiziqlari bo'ylab harakatlanayotgan elektron 1 sm masafani o'tishda gaz molekulari bilan to'qnashib, erkin elektronni hosil qilishlari soni tushuniladi.

Zaryadlangan zarachaning x masofani to'qnashmasdan bosib o'tish ehtimoli $e^{-\frac{x}{\lambda}}$ ga teng. To'qnashishlar sonini uning to'qnashish ehtimoliga

ko'paytirsak 1 sm yo'lda ionlashtirishlar sonini, ya'ni zarbaviy ionlanish koeffitsientini hosil qilamiz:

$$\alpha = A e^{\frac{-I_0}{kE}}.$$

Bu koeffitsient Taundsen formulasi bo'yicha quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{A_0 U_1}{E} \right) \delta \quad (1.15)$$

Gaz muhitida fotoionlanish jarayoni. Fotoionlanish gazlarda yerkin elektron paydo bo'lishining ikkinchi manbai hisoblanadi. Gazni qisqa to'liqliq bilan nurlantirish hisobiga kechadigan ionlashish jarayonida juda katta miqdorda qo'zg'atilgan elektronlar paydo bo'ladi va ular o'zining dastlabki energetik sathiga o'tishida o'zidan fotonlar (kvantlar) nurlantiradi. Agar fotonning energiyasi ionlashish energiyasidan katta, ya'ni

$$h\nu > W_{it} \quad (1.16)$$

bo'lsa (γ - nur tarqatish chastotasi; h - Plank doimiysi), ionlanish jarayoni kechadi. Atom yoki molekula foton energiyasini yutishi natijasida yerkin elektronni ajralib chiqishi jarayoniga gazlarda fotoionlanish deyiladi.

Bu jarayonda molekula ma'lum to'liqliq uzunlikda nurlanuvchi foton va kvant energiyalarini yutadi.

Gaz ν chastotali, $\lambda = c/\nu$ uzunlikdagi to'liqligida nurlantirilsa, ionlanish jarayoni sodir bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$h\nu \geq W_I,$$

bu yerda c - yorug'lik tezligi.

Gazlardagi razryadlanishda ionlantirishga moyil bo'lgan fotonlar manbai nafaqat tashqi nurlantirgich ta'sirida, balki gazlardagi razryadlanishda qo'zg'atilgan molekulaning pastroq energetik sohaga o'tishida tarqatadigan nurlari yordamida ham amalga oshirilishi mumkin.

Termik ionlanish. Gazning harorati bilan bog'liq bo'lgan barcha ionlanish jarayoniga termik ionlanish deyiladi. Yuqori haroratda ionlanishning quyidagi ko'rinishlari mavjud:

a) harorat gazlarda yerkin elektron va molekulaning xaotik harakatdagi kinetik energiyasining o'lchami hisoblanadi. Yuqori haroratda katta tezlik bilan harakatlanayotgan zarrachaning kinetik energiyasi shuncha-

lik darajada oshadiki, to'qnashish natijasida ionlashish jarayoni kechishi mumkin;

b) qizdirilgan gazning issiqlikdan nurlanishi hisobiga fotoionlanish.

Molekulaning ionlashishi uchun zarur bo'lgan energiya ushbu ifoda yordamida aniqlanadi:

$$W_K = \frac{3}{2} kT_0, \quad (1.17)$$

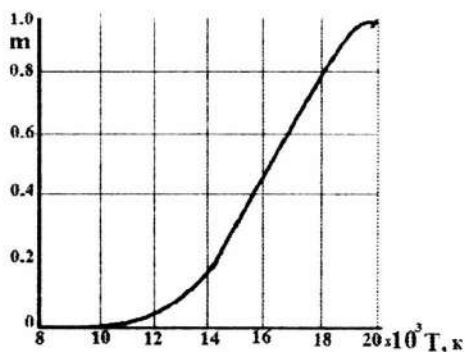
bu yerda W_K – molekulaning issiqlikdan harakatlanish energiyasi; k – Boltsman doimiysi.

Ionlanish bilan bir vaqtda erkin elektronning musbat ion tomonidan yutilishi tufayli rekombinatsiya jarayoni kechadi. Bunda ionlantirilgan molekulaning umumiy molekulalar soniga nisbati ionlantirish darajasi deyilib, u hind olimi Saxa tomonidan taklif etilgan formula yordamida topiladi:

$$\frac{m^2}{1-m^2} = 2.4 \cdot 10^{-4} \frac{T^{2.5} w_i}{P} e^{\frac{W_i}{kT}}, \quad (1.18)$$

bu yerda $m = \frac{N_i}{N}$ - ionlanish darajasi.

Ionlanish jarayonining haroratga bog'liqligi 1.6-rasmda keltirilgan.



1.6- rasm. Havoning ionlanish darajasini haroratga bog'liqlik grafiği

Ionlantirish natijasida paydo bo'lgan zarachalar maydon kuch chiziqlari bo'ylab harakatlanishi natijasida hajmiy zaryadning taqsimlanishiga olib keladi. Kuchlanganligi E bo'lgan elektr maydonida zaryadlangan zarrachaga doimiy tezlanish beruvchi kuch ta'sir etadi, lekin u to'qnashuvlar ta'sirida olingan tezlik $\vartheta = kE$ ni asta-sekin yo'qotadi.

Normal atmosfera sharo-

itida zarrachalarning harakatchanlik daraja-si: musbat ion uchun $K_1=1,6 \frac{sm / sek}{V / sm}$, manfiy ion uchun $K_2=2,2 \frac{sm / sek}{V / sm}$, elektron uchun $K_e = 5 \cdot 10^3 \frac{sm / sek}{V / sm}$.

Gaz zarrachalarining katta qismini ionlashgan holatiga **plazma** deyiladi. Plazmada musbat va manfiy zaryadlangan zarachalarning soni deyarli teng bo'ladi.

Elektrodlar sirtida ionlanish. Metalldan elektron ajralib chiqishi uchun ma'lum miqdorda energiya sarflanishi kerak, bu energiyaga chiqish energiyasi deyiladi. Bu energiya elektronga har xil usullar vositasida berilishi mumkin. Uning qiymati metal, ya'ni elektrodlar sirtining holatiga bog'liq. 1.3-jadvalda ayrim metallardan elektronlarning chiqish energiyasi keltirilgan.

1.3- jadval. Ayrim metallardan elektronning chiqish energiyasi.

Metal	Chiqish energiyasi (ev)	Metal	Chiqish energiyasi (ev)
Alyuminiy	1,8	Platina	3,6
Mis	3,9	Simob	4,5
Mis oksidi	5,34	Seziy	0,7
Temir	3,9	Bariy oksidi	1,0
Kumush	3,1		

Nazorat savolari

1. Yuqori kuchlanish texnikasida gazli izolyatsiya.
2. Gazlarda kechadigan ionlanish turlari.
3. Ionlanish potentsiali va energiyasi va ularning birliklari.
4. Metallarda sirtiy ionlanish shartlari.
5. Metallarda sirtiy ionlanish – chiqish energiyasini tushintiring.

1.3. Dielektrlarda kechadigan razryadlanish jarayonlari

Ionlashish jarayonida elektrodlar orasida musbat ionlar paydo bo'lib u katodga tomon harakatlanadi. Elektronlar va ionlar harakatchanligidagi farq oqibatida elektronlar ko'chkisining anodgacha harakatlanish vaqtida musbat ionlar o'zining paydo bo'lgan joyida qoladi. Ma'lumki, tabiatda juda ko'p ionlashtirgichlar (kosmik zarrachalar, yerning radioaktiv nurlanishi, qo'yoshning ultrabinafsha

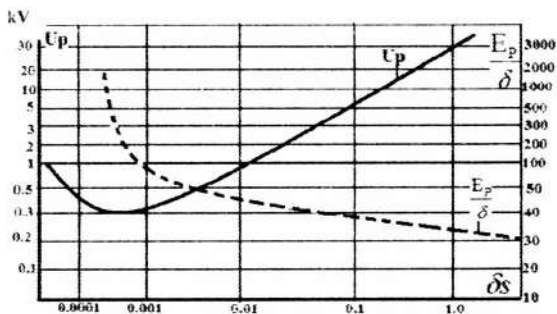
nurlanishi) hisobiga elektrodlar orasida uzluksiz erkin elektronlar paydo bo'lib turadi. Elektrodlar oralig'iga qo'yilgan kuchlanish ta'sirida esa uzluksiz elektronlar ko'chkisi paydo bo'ladi. Zaryadlangan zarrachalarning elektrodlar oralig'idagi harakati razryad tokini hosil qiladi. Kuchlanishning qandaydir U_0 dan kichik qiymatida elektrodlar orasidagi gaz orqali elektr toki oqib o'tishini ta'minlash uchun unga tashqi ionizator qo'llash lozim. Tashqi ionizatorning ta'siri tugagandan so'ng elektrodlar orasida tok oqishi ham to'xtaydi, bunda kechadigan razryadlanish jarayoni mustaqil bo'lmaydi. Gazlarning eng yuqori elektr o'tkazuvchanligi, uning plazma holatida kuzatiladi, chunki plazmaning o'tkazuvchanligi ionlashgan ionlar soniga bog'liqdir.

Elektr o'tkazuvchanlik gaz, qattiq va suyuq ko'rinishdagi dielektrlarda ham kuzatiladi. Dielektrlarda faqat kuchli maydonlarda razryadlanish jarayoni boshlanishi uchun shart-sharoit hosil qilinadi. Gazlarda nisbatan katta o'tkazuvchanlik toki paydo bo'ladi.

Real dielektrlarda elektr maydonlar ta'sirida o'tkazuvchanlik toki paydo bo'ladi. Ammo dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi metallarnikiga qaraganda juda past. Dielektrlarning elektr o'tkazuvchanligi ayrim salbiy oqibatlarni keltirib chiqaradi. Birinchidan, dielektrikning o'tkazuvchanlik toki ularga elektr maydoni ta'sir etganda bo'layotgan energiya isrofining (dielektrik isrofning) sababchisi bo'lsa, ikkinchidan, bu isrof dielektrikning qo'shimcha qizishi natijasida elektr maydon kuchlanganligining ma'lum qiymatida uni issiqlikdan teshilishga olib kelishi mumkin.

Gazning zichligi katta bo'lganda kuchlanishning ortish effekti siqilgan gaz ishlatiladigan qurilmalarda (masalan, kabellar va kondensatorlarda) qo'llaniladi. Gazning zichligi past bo'lganda kuchlanishni ortish effekti esa, vakuumli izolyatsiyali qurilmalarda (masalan, yuqori kuchlanishli elektron nurli trubkada, lyuministset lakmpalarda, vakuumli o'chirgichlarda) qo'llaniladi.

Elektrodlar o'rtasidagi oraliq, ya'ni izolyatsiyaning qalinligi kamayishi bilan razryadlanish elektr maydon kuchlanganligi E_p ortib boradi. Bunday bog'lanishning fizik ma'nosi shundan iboratki, oraliq s ning kamayishi, ya'ni ko'chkining harakatlanish yo'li uzunligining kamayishi bilan to'qnashishlar soni ham kamayib boradi. Shuning uchun izolyatsiya oralig'ida to'qnashishlar sonini va ionlanish ehtimolini ko'paytirish uchun elektr maydon kuchlanganligini oshirish talab etiladi. Bu bog'lanish grafigi 1.7- rasmda keltirilgan.



1.7- rasmi. Havo uchun $U_p = f(\delta_s)$ va $\delta = 1$ bo'lganda $E_p = f(s)$ (punktir chiziqli) bog'lanishlar

Gazlarda kechadigan razryadlanish jarayonlari quyidagi ko'rinishlarda bo'ladi:

- burqsima razryadlanish;
- uchqunli razryadlanish;
- yoyli razryadlanish;
- tojlanish razryadi.

Burqsimon razryadlanish. Siyraklashtirilgan gazlarda har bir ko'chki keyingi ko'chkiga turtki beruvchi boshlang'ich elektronlar sonining oshishiga olib keladi. Razryadlanishning bu turi elektrodlar orasidagi past bosimlarda (10-20 mm sim. ust) paydo bo'lib, u elektrodlar orasini butunlay qoplaydi, ya'ni plazma paydo bo'ladi. Plazmada gaz molekulalarining ancha qismi ionlashgan bo'ladi va u gazning barcha hajmi bo'yicha kvazineytral hisoblanadi ($N_+ = N_-$). Plazmaning elektr o'tkazuvchanligi ancha kam bo'lganligidan u orqali oqayotgan tokning absolyut qiymati va zichligi uncha katta bo'lmaydi (20-50 mA/sm²). Razryadlanishning bu turidan foydalanuvchi qurilmalarga, masalan, lyuministsent lampalar, gaz nurli trubkalar kiradi.

Uchqunli razryadlanish. Elektr tarmoqlarida uchqunli razryadlanish kommutatsiya yoki atmosfera o'takuchlanishi impulsi ta'sirida havo izolyatsiyasining teshilishi natijasida paydo bo'ladi. Impulsning frontida tokning o'sishi bilan plazma kanali qiziydi va kengayadi. Plazma kanalining kengayishi silindrik ko'rinishdagi zarbaviy to'lqin ko'rinishida amalga oshadi. Boshlang'ich fazada kanalning kengayishi xuddi portlashdagidek ovoz chiqaradi. Uchqunli razryad ta'sirida yog'och tayanchlar sinib ketsa, temirbeton tayanchlar shikstlanishi mumkin. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, elektr maydon kuchlanganligining $E_{ishchi} < E_{kr}$ shartni qanoatlantiruvchi qiymatida gazlarda uchqunli razryadlanish rivojlanmaydi. Uchqunli razryadlanishning yoyli razryadga aylanishi esa, ehtimolli xarakterda bo'ladi.

Uchqunli razryad boshqariladigan termoyadro reaksiyasini amalga oshirishda yetakchi rol o'ynaydi. Bu masalada birinchi fikrlar akademik Kurchatov dokladida bildirilgan. Bunday reaksiya natijasidagi ortiqcha

energiya ΔA atrof muhitga λ to'liqin uzunligiga ega bo'lgan nurlanish orqali sochiladi. Bunda

$$\lambda = \frac{K}{\Delta A} = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{\Delta A},$$

K – hisobiy koeffitsient; ΔA – nurlanish energiyasi, (eV).

Uchqunli razryadlanish elektrodlar orasidagi masofaning va gaz bosimining yetarlicha katta qiymatlarida paydo bo'ladi va rivojlana-yotgan razryad elektrodlar oralig'ini to'larligicha egallamay, balki ma'lum tor kanalni egalaydi. Bu kanalni to'ldirayotgan plazmada ionlarning konsentratsiyasi yetarlicha katta bo'lib, u orqali oqayotgan tokning qiymati yetarli darajada katta bo'lishi mumkin. Oqayotgan tokning qiymati manbaning quvvati bilan belgilanadi.

Yoyli razryadlanish – bu uchqunli razryalanishning keyingi ko'rinishi bo'lib, u manbaning quvvati yetarlicha katta bo'lgandagina paydo bo'ladi. Yoyli razryadlanish yuqori elektr kuchlanishli elektr qurilmalarning elektrodleri oralig'ida ishchi kuchlanish ostida elektr maydon kuchlanganligining $E_{kr} > E_{ishchi}$ shartni qanoatlantiruvchi qiymatida uchqunli razryaddan so'ng paydo bo'ladi. Yoyli razryad elektrodlar ustiga yonib ketuvchi o'tkazgich tushganda paydo bo'ladi. Yoyli razryadlanishda tokning zichligi $250 - 500 \text{ A/sm}^2$ bo'lganda u erkin yoy, $6 - 18 \text{ kA/sm}^2$ bo'lganda esa purkaluvchan yoy deyiladi. Bu holda elektrodlar orasidagi kanal bo'yicha katta tok oqib o'tib, u kanalni qizdiradi va uning o'tkazuvchanlik xususiyatini yanada oshirishi natijada tokning yanada oshishi yuz beradi. Yoy kanalda tokning oshishi bilan yoydagi kuchlanish pasayadi, chunki tokning oshishi yoy kanalining kesimining oshishiga va gazning termoionlashishiga, hajm qizdirilgan katod sirtida termoelektron emissiyaga olib keladi.

Normal sharoitda elektrodlar oralig'idagi masofa $1-100 \text{ sm}$ bo'lganda yoyning yonishini ta'minlaydigan kuchlanish quyidagi bog'lanishdan topiladi:

$$U_{yoy} = 62 + I(11,4 + \frac{32,6}{i}), \quad (1.19)$$

bu yerda i – yoy kanali orqali o'tayotgan tok, l – yoyning uzunligi.

O'zgaruvchan tok kuchlanishida hosil bo'lgan yoy tokning noldan o'tishida so'nib qayta yonishi mumkin. Bu elektrodlar oralig'ining elektr mustahkamligi E_t ning tiklanish tezligiga va tiklanayotgan kuchlanish hosil qilayotgan elektr maydon kuchlanganligi E ning o'sishiga bog'liq. Agar $E_t > E$ bo'lsa, yoy so'nadi.

Yoy oralig'ining elektr mustahkamligini tez kattalashishi o'yiqlarda yoki qizigan plazmaning sovuq havo bilan aralashishida kuzatiladi. Bu prinsip nayli razryadlagichlar, moyli o'chirgichlar va havoli purkash ishlatiladigan yuqori kuchlanish o'chirgichlarida qo'llaniladi.

Tojli razryadlanish – bu razryadlanish keskin bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlarda paydo bo'lib, mustaqil razryadlanishning bir ko'rinishi hisoblanadi. Ionlashish jarayoni elektrodlanga yaqin, uncha katta bo'lmagan maydonda sodir bo'lib, gazlarning bosimidan qat'iy nazar o'tkazuvchan razryadlanish kanali hosil qilmaydi. Tojlanish gazlarning izolyatsiyalovchi xossasining butunlay yo'qolishini bildirmaydi.

Ishchi kuchlanish ta'sirida tojlanish jarayonida elektr uzatish liniyasi o'tkazgichlari yoki har qanday egrilik radiusi kichik bo'lgan elektrod sirtida rivojlanadigan razryadlanishga tojlanish razryadi deyiladi. Tojlanish o'tkazgich sirti yaqinida (simda) ko'kish olovning paydo bo'lishi, chisirlash ovozinig tarqalishi, azonning paydo bo'lishi va yuqori chastotali to'siqning ta'siri bilan xarakterlanadi.

Tojlanishning paydo bo'lishi elektr maydonning keskin bir jinsli bo'lmaganliga va tojlanish rivojlanayotgan elektrod sirtida hajmiy va sirti ionlanish jarayonining rivojlanishi uchun yetarli bo'lgan elektr maydon kuchlanganligi borligidan dalolat beradi. Elektr maydon kuchlanganligining bunday qiymatiga elektr maydon kuchlanganligining kritik qiymati deyiladi.

Misol uchun R radiusli silindr o'qi bo'ylab joylashtirilgan r radiusli silliqlangan sim uchun $R \gg r$ bo'lgan holda elektr maydonning kritik kuchlanganligi quyidagi empirik formula bo'yicha aniqlaniladi:

$$E_{kr} = 31\delta \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{r\delta}}\right), \quad (1.20)$$

$$U_{kr} = E_{kr} r \ln \frac{R}{r}. \quad (1.21)$$

Bir-biridan $S \gg r$ masofada joylashgan ikkita r radiusli o'tkazgich uchun yoki tekislikdan $h = \frac{S}{2}$ balandlikdan o'tuvchi o'tkazgich uchun qo'yidagi formulalar o'rinalidir:

$$E_{kr} = 31\delta \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r\delta}}\right), \quad (1.22)$$

$$U_{kr} = E_{kr} r \ln \frac{S}{r}. \quad (1.23)$$

Bu yerdagi (1.20) va (1.22) hamda (1.21) va (1.23) lar nafaqat strukturasi bo'yicha bir-biriga juda o'xshash, balki ular bo'yicha olingan natijalar ham juda yaqin bo'ladi.

Elektr uzatish liniyasining o'tkazgichlarida tojlanish razryadining rivojlanishi o'tkazgichlar orasida sirg'ish tokining oqib o'tishi va energiya isrofining yuzaga kelishi orqali texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarining yomonlashuviga olib keladi. O'zgarmas tok kuchlanishida tojlanishga bo'layotgan isrofni aniqlash uchun tojlanishning volt-ampere harakteristikasini ($I = f(U)$)ni aniqlash kerak. U holda liniyaning birlik uzunlikdagi quvvat isrofi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$P = Uf(U). \quad (1.24)$$

O'zgarmas tok kuchlanishida tojlanishga bo'luvchi isrof quyidagicha topiladi:

$$P = AU^2(U - U_{kr}). \quad (1.25)$$

Bu yerda A - elektrodlar oralig'ining geometrik shakliga bog'liq bo'lgan koeffitsient.

O'zgaruvchan tok elektr uzatish liniyalarida o'tkazgichlarning qutblanishi doimo o'zgaruvchan bo'ladi. Har bir o'tkazgichning qutblanishi o'zgarishida hajmiy zaryad birinchi yarim davrda uzoqlashsa, ikkinchi yarim davrda esa yaqinlashadi.

Agar $r_{max}^2 \gg r^2$ bo'lsa, tojlanish razryadi rivojlanayotgan r radiusli o'tkazgichning o'qidan hajmiy zaryadning uzoqlashuvini quyidagi formula yordamida baholashimiz mumkin:

$$r_{max} \approx \sqrt{kTE_{kr}r}. \quad (1.26)$$

O'zgaruvchan tok kuchlanishida tojlanishga bo'layotgan isrofni aniqlash uning volt-kulon harakteristikasini hisoblashga keltiriladi. O'zgaruvchan tok kuchlanishida tojlanishga bo'layotgan isrof amerikalik injener Pik tavsiya etgan empirik formula orqali topiladi:

$$P = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (U_f - U_0)^2 10^{-5}, \quad (1.27)$$

bu yerda δ -havoning nisbiy zichligi; D - o'tkazgichlar orasidagi o'rtacha geometrik masofa; r - o'tkazgichning radiusi; f - chastota; U_f - faza kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati; U_0 - kritik kuchlanishga yaqin bo'lgan hisobiy kuchlanish bo'lib, u quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$U_0 = 21,2r \ln \frac{S}{r} m_1 m_2, \quad (1.28)$$

bu yerda m_1 , m_2 - o'tkazgichning sillqlik va ob-havo koeffitsienti deyiladi. Koeffitsient m_1 o'tkazgich sirtining holatini xarakterlab, real o'tkazgichlar uchun bu koeffitsient $0,85 \div 0,9$ oralig'ida bo'ladi. O'tkazgich sirtidagi notekisliklar bu koeffitsientning qiymatini yanada kamayishiga olib keladi. Koeffitsient m_2 tojlanishga bo'layotgan isrofning yomg'irli va tumanli ob-havo sharoitlariga bog'liq holda o'zgarishini hisobga oladi. Tojlanishga bo'layotgan isrofn kamaytirishning asosiy maqsadga muvofiq usullaridan biri o'tkazgichning diametrini kattalashtirish hisoblanadi.

$m_1 m_2 = 0,8$, havoning nisbiy zichligini $\delta = 1,0$, yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari uchun o'rtacha $\ln \frac{S}{r} = 6,5$ deb qabul qilib, ochiq ob-havo sharoiti uchun faza kuchlanishini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = 21,2 \cdot 0,86 \cdot 6,5r \approx 110r.$$

Ishlatish sharoitlarida elektr uzatish liniyasidagi kuchlanish o'zining nominal qiymatidan 10% gacha ortiq bo'lishi mumkin. U holda minimal diametr ($d_{min} = 2r$) uchun quyidagi shartni hosil qilamiz:

$$d_{min} = 1,15 \cdot 10^{-2} U_{li}.$$

Bu yerda d_{min} santimetrda ifodalansa, U_n esa kV larda ifodalanadi.

Yuqori va o'ta yuqori elektr uzatish liniyalarida faza o'tkazgichlarida parchalashlar qo'llanilganda ularning ekvivalent diametrining qiymati ushbu munosabatdan kelib chiqqan holda aniqlanadi:

$$r_E = \sqrt[n]{ra^{n-1}} \quad \text{yoki} \quad r_E = \sqrt[n]{rD_1 \dots D_{n-1}}, \quad (1.29)$$

bu yerda a – fazani parchalashlar qadami bo'lsa, $D_1 \dots D_{n-1}$ fazadagi ixtiyoriy o'tkazgichdan qolgan o'tkazgichlargacha bo'lgan maso.

Fazalari parchalangan liniyaning sig'imini bilgan holda har bir o'tkazgichda joylashgan zaryadni aniqlash mumkin. Agar zaryad o'tkazgichlar sirtida tekis taqsimlanganda, u o'tkazgich sirtida hosil qiladigan elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha aniqlanar edi:

$$E_{or} = \frac{U_f}{nr \ln \frac{S}{r}}. \quad (1.30)$$

Amalda fazadagi qolgan boshqa o'tkazgichlarning ta'sirida o'tkazgich sirti bo'ylab maydonning taqsimlanishi tekis bo'lmaydi. Chunki, silind-

rik o'tkazgichlar hosil qilayotgan maydonning kuchlanganligi o'tkazgichlar orasidagi masofaga proporsional ko'rinishda o'zgarib boradi va real liniyalarda $S \gg D$.

Fazalari parchalangan elektr uzatish liniyasida o'tkazgichlar sirtidagi elektr maydon kuchlanganligining maksimal va minimal qiymatini quyidagi formulalar yordamida aniqlashimiz mumkin:

$$E_{\max} = E_{o,r} + 2\Delta E = E_{o,r} \left(1 + \frac{2r}{D}\right), \quad (1.31a)$$

$$E_{\min} = E_{o,r} - 2\Delta E = E_{o,r} \left(1 - \frac{2r}{D}\right). \quad (1.31b)$$

Tojlanishga bo'ladigan quvvat isrofni Mayr formulasi bo'yicha hisoblashda quyidagicha aniqlanuvchi ekvivalent elektr yurituvchi kuchdan foydalaniladi:

$$E_j = \frac{E_{\max} + E_{\min}}{2}.$$

O'tkazgichlar sirtida paydo bo'ladigan maksimal elektr yurituvchi kuchning ular o'rtasidagi masofaga bog'liqligi 1.8- rasmda keltirilgan.

Hozirgi davrda tojlanishga bo'layotgan isrofnı aniqlash uchun Mayr tomonidan taklif etilgan formula qo'llaniladi:

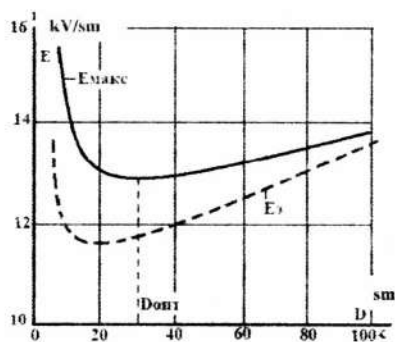
$$P = nkfr^2 E_j (E_j - E_{kr}) \left(2.3 \frac{1350 E_j}{fr} - 1\right) \cdot 10^{-5}, \text{ kVt/km} \quad (1.32)$$

bu yerda, n - fazadagi o'tkazgichlar soni; f - chastota, Gts; r - o'tkazgichning radiusi, sm; E_{kr} - maydonning kritik kuchlanganligi,

kV/sm; E_c - maydonning ekvivalent kuchlanganligi, kV/sm; $E_j = \frac{E_{\max} + E_{\min}}{2}$, kV/sm- ekvivalent kuchlanganlik.

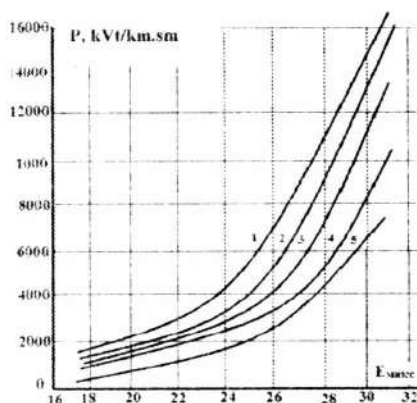
Formuladagi koeffitsientlar: yaxshi ob-havo uchun $K=44$; $E_{kr}=17$ kV/sm, yomon ob-havo uchun $K=31,5$; $E_{kr}=11$ kV/sm qabul qilinadi. Mayr formulasi bo'yicha taxminiy hisoblashlarda yomon ob-havo 10% ni, yaxshi ob-havo esa 90% ni tashkil etadi deb qabul qilinadi. Ob-havoning bunday bo'linishi shartli bo'lib,

Mayr formulasi yillik isrofnıg o'rtacha taxminiy qiymatini beradi.



1.8- rasm. Parchalangan o'tkazgich sirtidagi maksimal va ekvivalent elektr yurituvchi kuchining o'tkazgichlar orasidagi masofaga bog'liqligi.

Tabiiyki, har xil konstruksiyali tayanchlarda har xil klimatik sharoitlar uchun tojlanishga bo'ladigan quvvat isrofini tajriba (eksperiment) yo'li bilan aniqlashga imkoniyat yuq. Tojlanishga bo'layotgan isrofning elektr maydon kuchlanganligiga bog'liqligi 1.9- rasmda keltirilgan. Bu rasmda bittalik o'tkazgich sirtida tojlanishga bo'layotgan quvvat isrofning ob-havo sharoitiga va manbaining elektr yurituvchi kuchiga bog'liqligi ifodalangan.



1.9- rasm. Yakka o'tkazgichda tojlanishga bo'luvchi o'rtacha isrofning ($r = 1$ sm) o'tkazgich sirtidagi maksimal maydon kuchlanganligiga bog'liqligi (1-

Kostroma, 2- Sankt-Peterburg, 3- Moskva, 4 - Volgograd, 5 - Lugansk)

Nazorat savolari

1. Gazlarda razryadlanish jarayonining rivojlanishi.

2. Gazlarda kechadigan razryadlanish turlari.

3. Bir jinsli maydonlarda razryadlanish jarayonining kechishi.

4. Tojlanish razryadlanish jarayonini tushuntiring.

5. Razryadlanish jarayonining boshlanishini ta'minlovchi elektr maydon kuchlanganligi.

6. Razryadlanish jarayonida quvvat isrofini aniqlovchi Pik formulasini izohlab tushuntiring.

7. Mayr va Pik formulalarini solishtirib tushuntiring.

2. DIELEKTRIKLARDA KECHADIGAN RAZRYADLANISH JARAYONINING MUSTAQILLIGI

2.1. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlarda razryadlanishning mustaqilligi

Elektrodlarga kuchlanish qo'yilganda ular orasida elektr maydoni hosil bo'ladi. Bu maydon elektrodlar shakliga bog'liq holda bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan maydonlarga bo'linadi. Bir jinsli maydon shunday xususiyatga egaki, uning kuch chiziqlari bo'ylab elektr maydon kuchlanganligi bir tekis taqsimlangan va o'zgarmasdir. Masalan, tekis taqsimlangan elektr maydon kuchlanganligining maksimal qiymati izolyatsiya oralig'ining o'rtasida bo'ladi. Bir jinsli bo'lmagan maydonlarda esa elektr maydon kuchlanganligi maydon kuch chiziqlari yo'nalishi bo'ylab notekis taqsimlanadi. Bir jinsli bo'lmagan maydon notekislik darajasi bo'yicha kuchsiz bir jinsli bo'lmagan va keskin bir jinsli bo'lmaganga bo'linadi. Bu ularda razryadlanishning rivojlanishi har xil kechishini bildiradi.

Elektr maydonining notekislik darajasi ko'p jihatdan elektrodlar shakliga bog'liq. Masalan «shar – shar» ko'rinishdagi elektrodlar orasidagi elektr maydoni kuchsiz bir jinsli bo'lmagan bo'lsa, «tekislik – sterjen (sterjen)» va «Sterjen – sterjen» elektrodleri orasidagi maydon keskin bir jinsli bo'lmagan maydon hisoblanadi. Elektrodlar orasidagi elektr maydon kuchlanganligining maksimal qiymati egrilik radiusi o'tkir bo'lgan elektrod tomon siljiydi

Maydoning bir jinsli bo'lmaganlik darajasi maydon kuchlanganligining maksimal qiymati E_{maks} ning, uning o'rtacha qiymati $E_{o'r}$ ga nisbati bilan aniqlanadi:

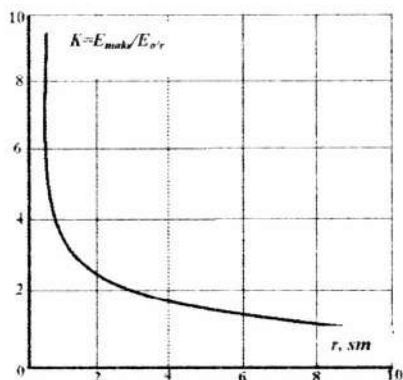
$$K = \frac{E_{maks}}{E_{o'r}}, \quad (2.1)$$

bu yerda $E_{o'r} = \frac{U}{S}$.

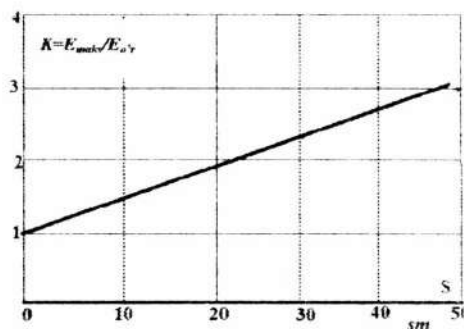
Bir jinsli maydonlar uchun bu koeffitsient 1 ga teng. Bir jinsli bo'lmagan maydonlarda elektrodlar orasidagi masofaning kattalashishi va elektrodlar egrilik radiusining kichiklashishi bilan bu koeffitsient kattalashib boradi. Chunki, maydonning bir jinsli bo'lmaganligi razryadning rivojlanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Misol sifatida 2.1- rasmda silindrik kondensatorning tashqi silindr radiusi o'zgaras bo'lganda elektr maydonining bir jinsli bo'lmaganlik koeffitsientini ichki silindr radiusiga bog'liqligi keltirilgan.

Ikkita «shar – shar» ko'rinishidagi elektrodlar orasidagi elektr maydonning bir jinsli bo'lmaganlik koeffitsientini sharlar o'rtasidagi masofaga bog'liqligi 2.2- rasmda tasvirlangan.



2.1- rasmda Silindrik kondensatorning tashqi radiusi 10 sm va o'zgaras bo'lganda bir jinsli bo'lmaganlik koeffitsienti K ning silindrning ichki radiusi r ga bog'liqligi.



2.2- rasmda Diametri 20 sm bo'lgan sharlar orasidagi elektr maydon bir jinsli o'lmaganlik koeffitsientining sharlar orasidagi masofaga bog'liqligi.

Elektrodlar orasida elektronlar ko'chkisi rivojlanishi uchun bitta erkin elektronning paydo bo'lishi yetarli hisoblanadi. Bu elektron elektr maydon kuchlanganligi ta'sirida $\vartheta = kE$ ga teng tezlikni olib ma'lum kinetik energiyani o'zida jamlaydi. Elektronlar ko'chkisining paydo bo'lishi va uning elektrodlar orasini kesib o'tishi elektrodlar orasidagi razryadlanishning mustaqilligini bildirmaydi. Elektrodlar orasidagi razryadlanish jarayonining mustaqil rivojlanishi uchun boshlang'ich elektron uzliksiz ravishda hosil qilinishi kerak. Agar boshlang'ich elektron ko'chkining o'zida kechayotgan jarayon hisobiga hosil qilinsa, razryadlanish jarayoni mustaqil hisoblanadi. Ko'chki ta'sirida paydo bo'ladigan elektronlarga ikkilamchi elektronlar deyiladi.

Ikkilamchi elektronlar quyidagi jarayonlar ta'sirida hosil qilinadi:

- katodni musbat ionlar ko'chkisi bilan bombardimon qilish;

b) boshlang'ich ko'chki jarayonida hosil qilingan nurlanish natijasida katodda fotoionlanish;

v) boshlang'ich elektron ko'chkisi hisobidan nurlantirish tufayli hajmda fotoionlanish.

Elektrodlar orasidagi gazlarda rivojlanadigan razryadlanish jarayoni gazlarning bosimiga bog'liq, uning bosimi o'zgarishi bilan bu jarayoning paydo bo'lish ehtimoli har xil bo'ladi.

Birinci usul bilan razryadlash jarayonining rivojlanishi uchun zarur bo'lgan bitta elektronning paydo bo'lishi uchun katodni o'nlab ionlar bilan bombardimon qilishni talab etiladi. Ammo normal atmosfera bosimida bu jarayon sekin kechadi, chunki ionlarning ko'pchiligi ko'chkining bosh qismida joylashgan, katodda ionlashish boshlanishi uchun u oraliqni kesib o'tishi zarur. Misol uchun elektronning elektrodlar orolig'i $S=1$ sm bo'lgan masofani kesib o'tishi uchun nominal maydon kuchlanganligida va normal atmosfera bosimida 5 mksek talab etiladi. Elektr maydon kuchlanganligi o'zgarmas bo'lganda bosim pasayishi bilan ionlar tezligi oshishi natijasida oraliqni kesib o'tish uchun zarur bo'lgan vaqt kamayadi.

Katodda fotoionlashish jaryonning rivojlanishi uchun uncha katta vaqt talab etilmaydi, chunki fotonlar yorug'lik tezligi bilan harakatlanadi. Gazlarning bosimi oshishi bilan ularda sodir bo'ladigan fotoionlanish effekti kamayadi, chunki fotonlarning anchagina qismi gazlarda yutiladi va atrof-muhitga sochiladi.

Uchinchi usulda hajmda fotoionlantirishda qatnashayotgan ionlarning ichki energiyasi oldingi usullardagidan ancha katta bo'lishi talab etiladi. Ionlanish jarayonining amalga oshishi uchun ko'chkidagi hajmiy zaryadlar elektr maydonining shakli buzilishini va elektr maydon kuchlanganligining katta qiymatini talab etadi.

Demak, past bosimlarda katoddagi past kuchlanishda boshlanadigan jarayon asosiy hisoblansa, yuqori bosimlarda esa hajmda fotoionlanish asosiy rolni bajaradi.

Avvalo bosimning pasaygan sharoitida razryad mustaqil razryadga aylanishini ko'rib o'tamiz. Bu holda razryad tashqi ionlashtirgichga bog'liq bo'lmaydi. Katodda ionlanish faqat musbat ionlar tomonidan amalga oshiriladi. Buni son jihatidan ifodalovchi parametr sirtiy ionlanish koeffitsienti γ bo'lib, bu qiymat o'rtacha bitta ionning katodga urilishida katoddan urib chiqariladigan elektronlar sonini bildiradi.

Boshlang'ich ko'chki S masofani kesib o'tganda unda $e^{\alpha x}$ ta elektron va $e^{\alpha x} - 1$ ta ion bo'lsin. Barcha ionlar katodga kelib urilishida katodda bitta yangi elektronning paydo bo'lishiga olib keladigan shart bajarilishi kerak:

$$\gamma(e^{\alpha x} - 1) = 1. \quad (2.2)$$

Ma'lum $X = S$ masofani kesib o'tgan ko'chkidagi elektronlar sonini aniqlash uchun

$$dn = \alpha n dx \quad (2.3)$$

tenglamani integrallaymiz:

$$\int_1^N \frac{dn}{n} = \int_0^S \alpha dx, \quad (2.4)$$

Natijada ko'chkidagi elektronlar va ionlar sonini aniqlaymiz:

$$\ln N = \alpha S \text{ yoki } N = e^{\alpha S}. \quad (2.5)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, elektrodlar orasidagi masofaning o'sishi bilan ko'chkidagi elektronlar soni ham oshib boradi. Ko'chkada paydo bo'lgan elektron va ionlar elektr maydoni ta'sirida katod va anodga tomon yo'naladi.

Bu shart past bosimlarda bir jinsli maydon uchun razryadlanishning mustaqilik sharti hisoblanadi. Bu shartga ko'ra ikkilamchi jarayonlar natijasida paydo bo'lgan boshlang'ich ko'chki elektrodlar orasini kesib o'tganda katodda yana yekin elektronning paydo bo'lishi va ionlanish jarayonining tashqi ionizatorsiz oldingiday davom etishini bildiradi.

Faraz qilaylik, ionizator ta'sirida katodning 1 sm^2 yuzasidan har sekunda N_0 ta ozod elektronlar chiqayotgan bo'lsin. Bu elektronlar fazoda qoldirgan musbat ionlar katodga yetib kelib qo'shimcha ΔN elektronlarni urib chiqaradi va musbat ionlar sonining oshishiga ham olib keladi:

$$N_I = N_0 + \Delta N,$$

Agar katoddan N_0 elektron uchib chiqqan bo'lsa, ulardan anodga

$$N_a = N_I e^{\alpha x}$$

tasi yetib keladi va elektrodlar oralig'ida bo'lgan ionlar soni $N_I(e^{\alpha x} - 1)$ ga teng bo'ladi.

Shunday qilib, anodga yetib kelgan elektronlar soni:

$$N_a = \frac{N_0 e^{\alpha x}}{1 - \gamma(e^{\alpha x} - 1)}.$$

Bu tenglamaning har ikkala tomonini elektron zaryadiga bo'layotgan, elektrodlar orasida oqayotgan tokning zichligini hosil qilamiz:

$$I_a = \frac{I_0 e^{\alpha s}}{1 - \gamma(e^{\alpha s} - 1)},$$

bu yerda I_a - to'yinish rejimiga mos keluvchi tashqi ionizator hosil qilgan tok zichligi. Yuqorida olingan formuladan ko'rinadiki, razryadlanish jarayonining mustaqillik sharti bajarilishi bilan tashqi ionizatorning ta'siridan qat'iy nazar tokning zichligi cheksiz o'sib ketadi. Musbat zaryadlar yig'ilgan joyda plazma bilan to'ldirilgan kanal hosil bo'ladi. Strimer kanali chetlarida kuchaygan maydon kuchlanganligidan davom etayotgan fotoionlanish jarayoni kuchli maydon tomon yo'nalgan yangi ko'chkilarning paydo bo'lishiga va bu yangi ko'chkilarni o'ziga tortuvchi strimer bosh qismida musbat ionlarning paydo bo'lishiga, hamda kanalning musbat ionlar bilan to'lishiga olib keladi. $e^{\alpha s} \gg 1$ shart izolyatsiya oralig'ining teshilishiga olib keluvchi shart hisoblanadi. Past gaz bosimlarida razryad mustaqilligini quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$\gamma e^{\alpha s} \approx 1$$

Yuqori bosimlarda razryadlanishning shakllanishi boshqacha ko'rinishda bo'ladi. Katoddagi sirtiy ionlashtirish o'zining yetakchi (aniqllovchi) ahamiyatini yuqotadi va ikkilamchi elektronlarning paydo bo'lish manbai gaz hajmidagi fotoionlashtirish hisoblanadi. Agar elektr maydon kuchlanganligi yetarli darajada katta bo'lsa, hajmiy zaryad sezilarli qiymatga ega bo'ladi.

Shuni ta'kidlash lozimki, $\gamma(e^{\alpha s} - 1)$ kattalik elektrodlar orasidagi kuchlanish va elektr maydon kuchlanganligi o'zgarganda juda tez o'zgaradi. Masalan $\gamma = 0,02$ va $S = 1$ sm bo'lsa $\alpha = \frac{1}{S} \ln(1 + \frac{1}{\gamma}) = 4,0$, $\alpha =$

$A \exp \frac{Bp}{k}$. Bu yerda A - gazning turi va haroratsiga bog'liq bo'lgan koeffitsient; $B = AU_p$. Bu ifodadagi A va B koeffitsientlar ionlashish darajasining ko'p pog'oniligini bildirib, har xil qiymatga ega bo'ladi.

$E = \frac{U}{S}$ bog'lanishni hisobga olsak,

$$A p \exp \frac{B p U}{k} = \ln \frac{1}{\gamma}$$

yoki

$$U_0 = \frac{Bps}{\left(\frac{Aps}{\ln \frac{1}{\gamma}} \right)}.$$

Elektr maydonining kritik kuchlanganligi:

$$E = \frac{BP}{\ln \frac{AP}{\alpha}}. \quad (2.6)$$

Shuni nazarda tutish lozimki, koeffitsient γ turli bosimlarda har xil qiymatlarni qabul qilmasdan, balki har xil fizik ma'noga ega. Bu koeffitsient past bosimlarda katod sirtidagi ikkilamchi ionlanishni bildirsa, yuqori bosimlarda ikkilamchi fotoionlanishni bildiradi.

Elektr maydon kuchlanganligi o'zgarmas $E = \text{const}$, ionlanish koeffitsienti o'zgarmas $\alpha = \text{const}$ va $S = X$ bo'lgan holat uchun $\ln N = \alpha S$ ni hosil qilamiz.

Hajmiy zaryad bilan to'lgan bo'shliqda elektr maydon kuchlanganligi uncha katta qiymatga ega emas. Bu o'z navbatida bo'shliqqa kiradigan elektronlar sonining oshishiga va ularning manfiy ionga aylanishiga olib keladi. Musbat hajmiy zaryad joylashgan joyda plazma bilan to'lgan kanal paydo bo'ladi. U strimer deyiladi. Strimer kanalining o'tkazuvchanligi kanaldagi birlik hajmdagi ionlar soniga bog'liq bo'lib, uning oxirida elektr maydon kuchlanganligining o'sishi kuzatiladi. Bir jinsli maydonda strimerning paydo bo'lish, ya'ni dielektrikning teshilish shartini quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$e^{\alpha S} = \text{const}. \quad (2.7)$$

Bu tenglik past bosimlar uchun oldin yozilgan razryadlanishning mustaqillik sharti bilan shaklan o'xshash:

$$e^{\alpha S} = \frac{1}{\gamma}; \quad \alpha S = \ln \frac{1}{\gamma}.$$

Bir jinsli tekis taqsimlangan maydon uchun razryadlanish jarayonining mustaqillik shartini ko'chkida bo'ladigan ionlantirishlar soni $N - I = e^{\alpha S} - I$, ya'ni $e^{\alpha S} - I$ ta ionning katodga urilishidan bitta yangi elektronning paydo bo'lish sharti ko'rinishida belgilaymiz:

$$\gamma(e^{\alpha S} - I) \geq 1.$$

Bu shartga ionlantirishning mustaqillik sharti deyiladi. Bu shartni boshqacha yozib olishimiz mumkin:

$$\alpha S = \ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) = \text{const.} \quad (2.8)$$

Normal sharoitda atmosfera havosi uchun $\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) = 20$, ya'ni $\alpha S = 20$. Agar ikkilamchi razryadlanish koeffitsientini $\gamma = 0,02$ va $S = 1$ sm deb olsak, u holda razryadlanish jarayonining rivojlanishi uchun zarbaviy ionlanish koeffitsienti $\alpha = \frac{1}{S}\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) = 4,0$ ga teng bo'lishi kerakligi kelib chiqadi.

Hisobiy va eksperiment natijalarini solishtirganimizda ularning amaliyot uchun yetarli bo'lgan aniqlikdagi holatini olamiz. Bir jinsli maydonda normal atmosfera sharoitida razryadlanish kuchlanishi ko'p faktorlarga, jumladan, gazning bosimiga, katod sirtining holatiga, bosim bilan elektrodlar orasidagi masofaning ko'paytmasiga, atrof-muhit haroratiga bog'liq. 2.1-jadvalda elektrodlar orasidagi masofa $S = 1, 2$, va 3 sm bo'lganda normal atmosfera sharoiti uchun $\ln \frac{1}{\gamma}$ koeffitsientlarning har xil qiymatlari uchun razryadlanish kuchlanishining qiymatlari keltirilgan. Hisoblash ishlarini bajarishda A va B ning qiymatlari quyidagicha qabul qilingan:

$$A = 8,5 \frac{1}{\text{sm} \cdot \text{mm} \cdot \text{sim.ust.}}, \quad B = 20 \frac{V}{\text{sm} \cdot \text{mm} \cdot \text{sim.ust.}}$$

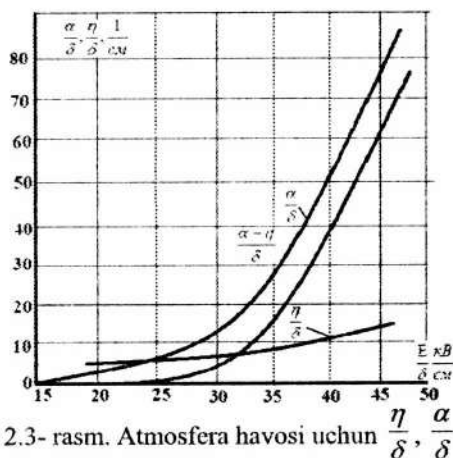
2.1- jadval. Hisobiy va tajriba asosida aniqlangan razryadlanish kuchlanishining elektrodlar o'rtasidagi masofaga bog'liqligi.

S, sm	Hisobiy razryadlanish kuchlanishi, kV.				Ulchangan razryadlanish kuchlanishi, kV	Razryadlanish elektr maydon kuchlanganligi kV/sm
	$\ln \frac{1}{\gamma}$ koeffitsientining qiymati					
	10	15	20	25		
1	29.5	31.3	32.8	34.2	31.5	31.35
2	53	56	58.5	61	58.7	29.5
3	75	79.5	83	86	85.8	28.6

Hisobiy va tajriba natijalarini solishtirganimizda barcha keltirilgan masofalar uchun $\ln \frac{1}{\gamma} = 20$ qoniqarli darajada mos kelishini ko'ramiz. Bu $\alpha S \approx 20$ razryadlanish sodir bo'lishi uchun talab etiladigan minimal kuchlanish U_0 ga mos keladi. Kuchlanish U_1 gacha oshganda ($X_K < S$)

strimer boshlanadi. Ko'chkining yugurish masofasi x_k ni $x_k \alpha_{1k} = 20$ dan aniqlaymiz. Bu yerda $\alpha_1 - U_1$ kuchlanishga mos keladigan ionlashish koeffitsienti. Formulani funksional bog'lanish $\frac{\alpha}{\delta} = f\left(\frac{E}{\delta}\right)$ bilan (2.3-rasm) birgalikda qaraganimizda, zarur bo'lgan maydonning kritik kuchlanganligi E_{kr} ni hisoblashimiz mumkin.

Siyraklashtirilgan gazda har bir ko'chki boshlang'ich elektronlarning va natijada ionlanishlar sonining o'sishiga olib keladi. Bu jarayon elektrodlar oralig'i oldingi ko'chki natijasida qolgan musbat ion va keyingi ko'chkidagi elektronlardan tashkil topgan yaxshi o'tkazuvchan qatlam plazma bilan to'lmaguncha eksponenta qonuniyati bo'yicha o'zgaradi. Gaz siyraklashganligidan ikkilamchi ionlantirish rolini yangi elektronlar hosil qiluvchi katod yuzasidan fotoionlanish bajaradi. Shuning uchun razryadlanish kuchlanishiga katod materiali sezilarli ta'sir ko'rsatadi.



2.3- rasm. Atmosfera havosi uchun $\frac{\eta}{\delta}, \frac{\alpha}{\delta}$ qiymatlarning $\frac{E}{\delta}$ ga bog'liqligi.

Demak, past bosimlarda razryadlanish elektrodlar orasidagi bo'shliqni bata-mom to'ldirsa, yuqori bosim-larda esa elektrodlar orasini kesib o'tuvchi tor kanal ko'-rinishida rivojlanadi.

Razryadlanish jarayoni-ning boshlanishi uchun

$$U_0 = A p e^{-\frac{B p \delta}{U_0}} \ln \frac{1}{\gamma}, \quad U_0 = \frac{B p \delta}{A p \delta} \ln \frac{1}{\gamma}$$

kuchlanish ta'minlanishi za-rur. Razryadlanish kuchla-nishi grafigida minimumning mavjudligini gazlarda razr-

yadlanish nazariyasi asosida tushuntiriladi. Buning asosida razryadlanishning mustaqillik shartini bajarilishi uchun elektron elektrodlar ora-lig'ini o'tishda ma'lum sonda ionlashtirishni bajarishi va zarbaviy ion-lashish formulasiga ko'ra elektron S masofani o'tishda to'qnashuv ion-lanish bilan tugashi ehtimoli $e^{-\frac{B p}{U_0}}$ ga teng bo'lishi ma'lum bo'ladi. To'qnashuvlar soni $p \delta$ kupaytma oshishi bilan monoton o'sib boradi.

Nazorat savollari

1. Qanday maydon bir jinsli maydon deb yuritiladi?
2. Qanday maydon bir jinslimas maydon deb yuritiladi?
3. Bir jinslimas maydonlar qanday turlarga bo'linadi?
4. Elektr maydonining bir jinsli bo'lmaganlik koeffitsienti qanday aniqlanadi? Bir jinsli maydon uchun bir jinsli bo'lmaganlik koeffitsienti nimaga teng?
5. Elektrodlar orasidagi gazda razryadlanish jarayonining rivojlanishi uning bosimiga bog'liqmi? Sababini tushuntiring.
6. Gazlarning razryadlanish jarayonida ko'chkidagi elektronlar soni qanday aniqlanadi? U nimalarga bog'liq?
7. Razradlanish kuchlanishi nima? U elektrodlar orasidagi masofaga qanday darajada bog'liq?

2.2. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlar uchun Pashen qonuni va razryadlanish vaqti

Razryadlanish 50 Gts bilan o'zgaruvchan kuchlanishning yarim davridan ancha kichik bo'lgan vaqt ichida rivojlanadi, shuning uchun havo oralig'ining razryadlanish kuchlanishi o'zgarmas va o'zgaruvchan kuchlanishlarda deyarli bir xil bo'ladi.

Strimer nazariyasi asosida $L = X_{kr}$ bo'lganda minimal razryadlanish kuchlanishida razryadning rivojlanishini sifat jihatdan qaraymiz. Tashqi ionizator ta'sirida katoddan bitta yerkin samarali elektron urib chiqarilgan bo'lsin. Anod tomon yo'nalgan elektronlar ko'chkisi paydo bo'ladi. Oraliqdagi elektr maydoni buziladi va ko'chkining frontida kuchayadi va musbat ionlar ta'siri natijasida katodda ko'chkining izi elektronlar ko'chkisi tomonidan kuchsizlanadi. Ko'chki o'sadi va uning frontida elektr maydon kuchlanganligi yanada kuchayadi. Natijada gazlarda fotoionlanishning rivojlanishiga imkoniyat tug'iladi.

Elektrodlar oralig'iga qo'yilgan kuchlanish oraliqni tesbish uchun kerak bo'lgan minimal kuchlanishdan ortiqroq bo'lgan qiymatida ko'chkining kritik uzunligi elektrodlar oralig'ining uzunligidan ancha kichik bo'ladi. Bu holda strimerning katod tomonidan rivojlanishiga imkon tug'iladi.

Razryadlanish kuchlanishi qiymatining elektrodlar oralig'i uzunligiga va gazning bosimiga bog'liqligini razryadning mustaqillik shartidan foydalanib hosil qilishimiz mumkin, ya'ni bir jinsli maydonlar uchun razryadlanish kuchlanishini aniqlashda quyidagi tartibda razryadning mustaqillik sharti $\alpha S = \ln \frac{1}{\gamma}$ dan, elektronlarning hajmiy ionla-

nish koeffitsientining analitik ko'rinishi $\alpha = Ape^{-\frac{Up}{E}}$ dan, hamda kuchlanish va maydon kuchlanganligi orasidagi bog'lanish $E = \frac{U}{S}$ dan foydalanamiz:

$$U_0 = \frac{BpS}{ApS} \cdot \ln \frac{1}{\gamma}, \quad (2.9)$$

bu yerda ApS - umumiy to'qnashuvlar soni.

Razryadlanish kuchlanishi bilan bosim va elektrodlar oralig'ining uzunligi ko'paytmasining bog'liqligi birinchi bo'lib tajriba yo'li bilan Fridrix Pashen (1865 – 1947) tomonidan aniqlanganligi sababli (2.9) formula Pashen qonunining analitik ifodasi hisoblanadi.

Pashen qonuni quyidagicha ifodalanadi: Atrof-muhit harorati o'zgarmas bo'lganda bir jinsli maydonda gazlarning teshilish kuchlanishi bosim bilan elektrodlar oralig'i kupaytmasinig fuksiyasi hisoblanadi.

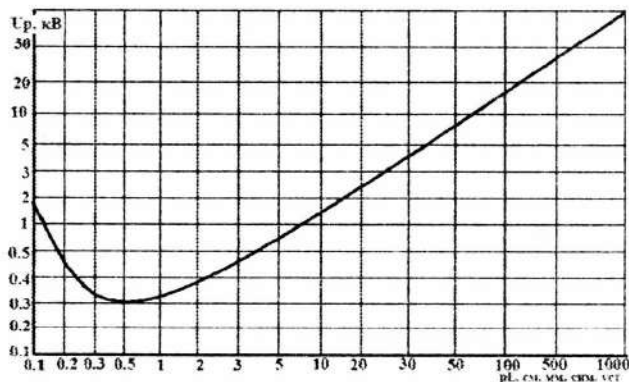
2.4-rasmda atmosfera havosi uchun elektrodlar oralig'ining uzunligi o'zgarmas bo'lgan holat uchun bu funksional bog'lanishning grafigi keltirilgan. Grafikdan ko'rinadiki $L = const$ bo'lganda bosim pasaygani sari elektronlarning gaz zarrachalari bilan to'qnashuvi kamayib boradi, bosim oshganda esa ionlanishning ehtimoli pasayadi. Suning uchun u yoki bu holatda razryadlanishning mustaqillik sharti $\alpha L = K$ bajarilishi uchun oraliqqa qo'yilgan kuchlanishni ko'paytirish zarur. Pashen egri chizig'i bo'yicha razryadlanish kuchlanishining minimal qiymatiga α ning optimal qiymati mos keladi.

Bir jinsli elektr maydonida havo oralig'ining razryadlanish kuchlanishini hisoblash uchun qulay bo'lgan formulani α ning

$\alpha_{ef} = \frac{0.2}{\delta} (E - 24,5\delta)^2$ ifodasidan razryadlanishning mustaqillik shartida

$K=8,2$ qabul qilib, quyidagini hosil qilamiz:

$$U_p = 24,5\delta L + 6,4\sqrt{\delta L}. \quad (2.10)$$



2.4- rasmi. Bir jinsli elektr maydonida havo oralig'i uchun Pashen egri chizig'i $U_p = f(pL)$.

Yuqoridagi formulalardagi γ koeffitsientni tajriba yo'li bilan aniqlash biroz qiyinroq, chunki u muhit haroratiga, gaz bosimiga va maydon kuchlanganligiga hamda past bosimlarda katod materialiga ham bog'liq. Past bosimlarda γ ni tajriba va nazariy yo'l bilan topilgan tokning (tok zichliklarini) qiymatini solishtirish yo'li bilan aniqlanadi. Bu ikkala usul bir-biriga yaqin natijani beradi va havo uchun $\gamma = 0,02-0,025$. Yuqori bosimlarda tajriba asosida va hisoblab topilgan razryadlanish kuchlanishini solishtirish asosiy usul hisoblanadi.

Tajriba va hisobiy natijalarni solishtirish yo'li bilan ularning $\alpha S = 20$ da qoniqarli darajada bir-biriga mos kelishi aniqlangan. Bu razryadlanish, ya'ni teshilish kuchlanishining minimal qiymatini beradi. Normal atmosfera va yuqori bosimlar uchun razryadlanish jarayonining mustaqillik sharti $\alpha S = 20$ ko'rinishda olinadi.

O'zgarmas meteriologik sharoitda tashqi izolyatsiyaning – havo oralig'i va izolyatorlarning razryadlanish kuchlanishiga razryadning paydo bo'lishi bilan bog'liq bo'lgan har xil tasodifiy faktorlar ta'sir ko'rsatadi.

Misol: $S=2$ sm, $U_0=58,5$ kV bo'lganda, kuchlanishning 25% ga ko'payishi bilan razryadlanishning mustaqillik sharti boshlang'ich ko'chkning $X_i=0,2S$ masofani yugurib o'tishi bilan amalga oshadi. Yuqoridagi jadvaldan ko'rinadiki normal atmosfera sharoitida bir jinsli maydonda $E = \frac{U_0}{S} = 30$ kV/sm ga teng bo'lsa, elektrodlar orasidagi masofaning kattalashishi bilan kamayib boradi. Kuchlanganlikning kamayishi

o'z navbatida razryadlanishning mustaqilligini natijasidir. Bu elektron o'z yo'lida 20 marta ionlashtirishni bajarishini bildiradi.

Yuqorida keltirilgan (2.10) ifoda eksperiment yo'li bilan aniqlangan Pashen qonunining matematik ifodasi hisoblanadi.

Pashen qonuni: Atrof muhitning harorati o'zgarmas bo'lganda bir jinsli maydonda razryadlanish kuchlanishi – gaz bosimi bilan elektrodlar orasidagi masofa kupaytmasining funksiyasidir, ya'ni

$$U_o = f(PS) . \quad (2.11)$$

Bu funksional bog'lanishning grafigi 2.5- rasmda keltirilgan.

Grafikdan ko'rinadiki PS ning kamayishi bilan razryadlanish kuchlanishi oldin kamayib, keyin o'sib boradi. Razryadlanish kuchlanishi grafigidagi minimumni gazlardagi razryadlanish nazariyasidan tushinish mumkin. Gazlardagi razryadlanishning mustaqillik shartiga ko'ra elektron elektrodlar orasidagi masofani kesib o'tishda $\alpha S = \ln \frac{1}{\gamma}$ ta ionlashtirishni bajarishi kerak. Ikkinchi tomondan esa zarbaviy ionlashtirish

koeffitsientiga ko'ra elektronning ionlashtirish soni $\alpha S = A P e^{-\frac{BP}{U_o}}$ ga teng.

Bu yerda Ap - umumiy to'qnashuvlar soni bo'lsa, $e^{-\frac{BP}{U_o}}$ - to'qnashuvning ionlanish bilan tugash ehtimolidir. Bu formulalarga ko'ra PS ning o'sishi bilan razryadlanish kuchlanishi monoton o'ssa, ionlanish ehtimoli esa kamayib boradi.

Agar razryadlanish kuchlanishiga atrof-muhit haroratining o'zgarishini e'tiborga olsak quyidagi ifodani olamiz:

$$\frac{1}{\lambda} = A_1 \frac{P}{T} = A T_0 \frac{P}{T} ,$$

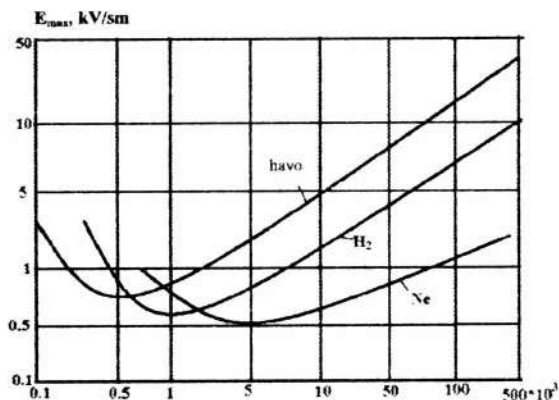
bu yerda $T = 293 \text{ K}$ (20°C).

Oldingi hisoblarda o'zgarmas hisoblangan B o'rniga $B_1 = \frac{BT_0}{T}$ olinadi. U holda razryadlanish kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_o = \frac{\frac{BT_0}{T} \frac{PS}{A T_0 \frac{PS}{T}}}{\ln \frac{1}{\gamma}} \quad \text{yoki umumiy holda} \quad U_o = f\left(\frac{PS}{T}\right) . \quad (2.12)$$

Razryadlanish kuchlanishi bosim o'zgarishida qanday o'zgarsa, harorat o'zgarishida ham shunday o'zgaradi. $\frac{P}{T}$ gaz zichligiga propor-

sional bo'lgan kattalikdir. Agar gaz zichligini normal atmosfera bosimida birga teng deb qabul qilsak, gazning har qanday boshqa atmosfera sharoitidagi nisbiy zichligi: $\delta = 0,386 R/T$.



2.5- rasm. Bir jinsli maydonda har xil gazlar uchun razryadlanish kuchlanishining PS ga bog'liqligi

ning uchun, agar normal atmosfera sharoitidagi razryadlanish kuchlanishi U_{on} aniq bo'lsa, uning boshqa atmosfera sharoiti uchun qiymatini quyidagicha topish mumkin:

$$U_0 = U_{on}\delta.$$

Bir jinsli bo'lmagan elektr maydonining shakli elektrodlar shakli, ularning o'zaro joylashuvi va izolyatsiya muhitlarining chegara sohalarini joylashish o'rni hamda ularning dielektrik harakteristikalariga bog'liq.

Kuchsiz bir jinsli bo'lmagan maydonlarda razryadlanish kuchlanishi elektrodlar orasidagi masofani havoning nisbiy zichligiga ko'paytmasining hamda elektrodlar geometrik o'lchamining ular orasidagi masofaga nisbatining funksiyasidir:

$$U_0 = f(\delta S, \frac{K_1}{S}, \frac{K_2}{S}). \quad (2.13)$$

Silindrik kondensatorda uning uchta o'lchami (tashqi silindr radiusi R va ichki silindr radiusi r , hamda elektrodlar orasidagi masofa S) dan har qanday ikkita o'lchami doimo asosiy aniqlovchi hisoblanadi. Shu sababli, razryadlar o'xshashligi qonunining yozilishi quyidagi ko'rinishlarda bo'ladi:

Yuqoridagilarga ko'ra $U_0 = f(\delta S)$. Bu holda **Pashen qonuni** quyidagicha ifodalanadi: Bir jinsli maydonda razryadlanish kuchlanishi elektrodlar orasidagi masofani gazning nisbiy zichligiga ko'paytmasining funksiyasidir.

Gaz zichligining juda kam o'zgarishlarida uning grafigi to'g'ri chiziqli bo'ladi. Shu-

$$U_o = f(\Delta S, \frac{R}{S}); \quad U_o = f(\Delta S, \frac{R}{r}) \quad (2.14)$$

Agar elektrodlar o'lchami va ular orasidagi masofa o'zgarishi bilan elektr maydon konfiguratsiyasi va asosiy o'lchamlar nisbati o'zgarmay qolsa, razryadlanish kuchlanishi faqat havo nisbiy zichligini elektrodlar oralig'iga ko'paytmasining funksiyasi hisoblanadi:

$$U_o = f(\Delta S) \quad (2.15)$$

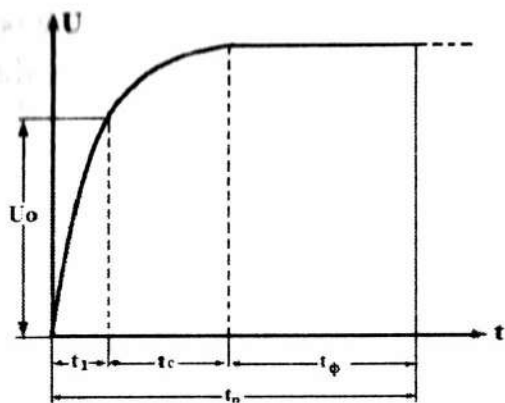
Bundan ko'rinadiki ikkala holatda ham razryadning mustaqillik sharti bir xil kuchlanishda bajariladi.

Agar keskin bir jinsli bo'lmagan maydon sifatida "sterjen-tekislik" ko'rinishidagi elektrodlar orasidagi maydonni qarasak, ionlanish jarayoni avvalo maydon kuchlanganligi katta bo'lgan elektrod yuzasiga yaqin joyda (ya'ni sterjen yaqinida) rivojlana boshlaydi.

Misol uchun, ikkita geometrik o'xshash silindrik kondensatorni qaraydigan bo'lsak, ularning o'lchamlarini nisbati a ($\frac{r_1}{r_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{S_1}{S_2} = a$) va gaz bosimlarining nisbati ularning o'lchamlari nisbatiga teskari proporsional bo'lsa ($\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{a}$), u holda $P_1 S_1 = P_2 S_2$ va $E_1 = \frac{E_2}{a}$ ekanligi kelib chiqadi.

Bir jinsli bo'lmagan maydonlar uchun razryadlanishning rivojlanishi elektrodlar qutbiga bog'liq. Agar «sterjen-tekislik» oraliqda sterjen musbat zaryadli bo'lsa, oraliqda paydo bo'lgan elektron sterjen tomon harakatlanib, kuchli elektr maydon ta'siriga tushishi natijasida ionlanish jarayoni boshlanib, elektronlar ko'chkisini hosil qiladi. Elektrodlar orasidagi kuchlanishni asta-sekin oshira borsak tojlanish boshlanmasdan (mustaqillik sharti bajarilgunga qadar) oraliqda bir qancha ko'chkilar paydo bo'ladi. Ko'chki elektronlari anodga ketib, oraliqda qolgan musbat ionlar sekin qarama-qarshi elektrod (katod)ga tomon harakatlanib, musbat sterjen yaqinida hajmiy zaryad hosil qiladi. Natijada sterjen yaqinida bo'ladigan ionlanish jarayoni kuchsizlanadi va razryadning mustaqillik shartining bajarilishini, ya'ni tojlanishni qiyinlashtiradi.

Faraz qilaylik, ixtiyoriy gaz muhitidagi elektrodlar orasiga qo'yilgan kuchlanish ma'lum tezlik bilan 0 dan U_{max} gacha oshib, keyinchalik o'zgarmasdan qolsin. Kuchlanish U_o ga yetganda (t_1 vaqtda) razryadlanishning mustaqillik sharti bajariladi, unga qadar oraliqda hech qanday razryadlanish jarayoni sodir bo'lmaydi (2.6- rasm).



2.6- rasm. Razryadlanish vaqtining tashkil etuvchilari

Shunday qilib, elektrodlar oralig'ida razryadning rivojlanishi vaqtning t_1 lahzasida emas, balki $t_2 = t_1 + t_c$ paytda boshlanishi mumkin. Bu yerda t_c - statik kechikish vaqti deb yuritilib, u razryadlanish boshlanishi uchun zarur bo'lgan birinchi effektiv elektron paydo bo'lishning kechikish vaqti hisoblanadi. To'la teshilish uchun yana qandaydir t_ϕ vaqt

o'tadi. Bu vaqt razryadning shakllanish vaqti deyiladi.

Demak, razryadlanish vaqti quyidagicha aniqlanadi:

$$t_p = t_1 + t_c + t_\phi; \quad t_K = t_c + t_\phi. \quad (2.16)$$

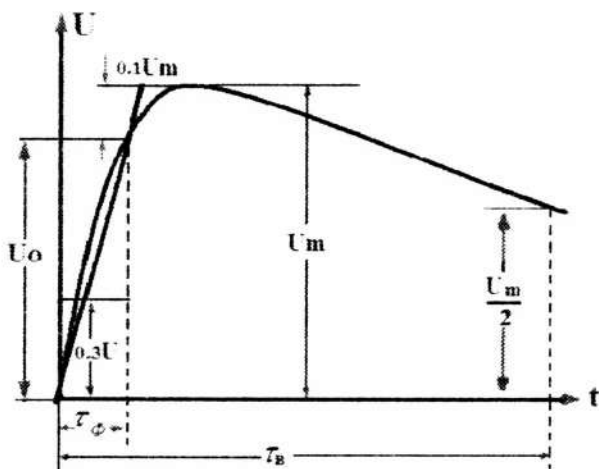
Bu yerda t_K - razryadning kechikish vaqti.

Effektiv elektronni kutish vaqti razryaddan - razryadgacha o'zgarganligi tufayli, o'rtacha statik kechikish vaqti degan tushinchani kiritamiz. Tajriba shuni ko'rsatadiki t_f juda kichik bo'lib, kechikish vaqti - birinchi effektiv elektronni kutish vaqtiga teng. O'rtacha statik kechikish vaqti ko'pgina faktorlarga - tashqi ionizatorning intensivligiga, katod materialiga va uning sirtining holatiga hamda elektrodlar orasidagi kuchlanishga bog'liqdir.

Razryadning kechikish vaqtining ikkala tashkil etuvchisi qo'yilgan kuchlanishga bog'liq. Razryadlanish vaqtining qo'yilgan kuchlanishga bog'liqligiga uchqun oralig'ining volt - sekund xarakteristikasi (VSX) deyiladi. Lekin razryadlanish vaqti faqat qo'yilgan kuchlanish qiymatigagina bog'liq bo'lmasdan, balki uning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatiga ham bog'liq.

Tajriba yo'li bilan oraliqning volt - sekund xarakteristikasini aniqlashda barcha sinashlar uchun bir xil bo'lgan kuchlanish to'lqinining standart shaklini kiritamiz. Atmosfera va kommutatsiya impulsariga elektr jihozlari va apparatlarining tashqi izolyatsiyasini elektrik mustahkamligini sinashda 50 Gts chastotali o'zgaruvchan standart kuchlanish impulsdan foydalaniladi. Ma'lum qisqa vaqt ichida noldan

maksimumgacha (impuls fronti) oshgan standart kuchlanishni va sekin nolgacha pasayishi qismiga kuchlanish to'liqining dumi deyiladi (2.7-rasm).



2.7- rasm. Standart impuls to'liqining va frontining uzunligini aniqlash

Tajriba yo'li bilan volt-sekund xarakteristikasini aniqlashda kuchlanish to'liqining standart shakli degan tushuncha va kattalik kiritamiz. Impulsning standart shaklida, kuchlanish noldan maksimal qiymatgacha tez o'sib, keyinchalik sekin o'zgarib yana nolgacha tushadi. Impuls to'liqining o'sish vaqti t_ϕ , ya'ni kuchlanishning noldan maksimumgacha o'sishi uchun ketadigan vaqt va to'liq uzunligi, ya'ni kuchlanish to'liqini uzunligining maksimumdan yarim amplitudagacha kamayishi uchun ketgan vaqt bilan xarakterlanadi (2.7- rasm).

Elektr qurilmalarning volt-sekund xarakteristikasi (VSX) ularni o'rnatishda katta ahamiyatga ega. Chunki, ikkita VSX har xil bo'lgan oraliqlar uchun VSXsi past bo'lgani himoyalovchi rolini bajaradi.

VSXni aniqlashda ikkita qiymatdan kelib chiqiladi. Ulardan biri 50% li razryadlanish kuchlanishi bo'lib u VSXning gorizontali qismiga to'g'ri keladi. Ikkinchi xarakterli qiymat razryadlanish vaqti 2 mksek bo'lgan va standart to'liqining maksimumiga to'g'ri keladigan razryadlanish kuchlanishidir. Razryadlanish kuchlanishining uzunligi 2 mksek bo'lgan impulsini 50% li razryadlanish kuchlanishiga nisbati impuls koeffitsienti deyiladi. Bu koeffitsient keskin bir jinsli bo'lmagan

maydonda birdan katta bo'ladi. Bu standart shakl bo'lib, barcha tekshirilayotgan izolyatsiyalar uchun bir xil kuchlanish olinadi. Uning front uzunligi 1,2 mksek $\pm 30\%$ va to'liq uzunligi 50mksek $\pm 20\%$ bo'lishi kerak.

Nazorat savollari

1. Bir jinsli maydon uchun Pashen qonunini tushuntiring.
2. Bir jinsli bo'lmagan maydon uchun Pashen qonunini tushuntiring.
3. Razryadlanish vaqti nima? U nimalarga bog'liq?

2.3. Razryadlanish vaqti va havo oralig'ining volt–sekund harakteristikasi

Qisqa muddatli impulslarda razryadlanish kuchlanishining qiymati impulsning ta'sir etish vaqti davomiyligiga bog'liq. Agar elektrodlar oralig'iga uning teshilishi uchun yetarli bo'lgan kuchlanish qo'yilgan bo'lsa, havo oralig'ida razryadning rivojlanishi va tugallanishi uchun ma'lum razryadlanish vaqti deb ataladigan t_p vaqt zarur bo'ladi.

Mustaqil razryadlanishning rivojlanishi oraliqda boshlang'ich effektiv elektronning paydo bo'lishi bilan boshlanadi va u tasodifiy hodisa hisoblanadi. Effektiv elektronni kutish vaqti statistik kechikish vaqti deb ataladi. Bu razryadlanish vaqtining birinchi tashkil etuvchisi hisoblanadi. Ikkinchi tashkil etuvchi ham statik harakterga ega bo'lib, unga razryadning shakllanish vaqti deyiladi t_ϕ . U boshlang'ich elektronning paydo bo'lish paytidan oraliqning teshilish vaqtigacha bo'lgan orliqni o'z ichiga oladi. Impuls frontning yetarlicha davom etishida salt vaqt t_x ham ma'lum ahamiyatga ega, chunki u kuchlanishning nominal qiymatgacha ko'tarilishi uchun ketgan vaqtni bildiradi. Shunday qilib, umumiy holda razryadlanish vaqti quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$t_p = t_x + t_c + t_\phi.$$

Agar oraliqqa qo'yilgan impulsning davom etish vaqti razryadlanish vaqtidan kichik bo'lsa, u holda quyilgan kuchlanish yetarlicha bo'lsa ham oraliqning teshilishi ro'y bermaydi, teshilish faqat

qo'yilgan impulsning ta'siri ma'lum vaqt davom etgandagina kuzatilishi mumkin.

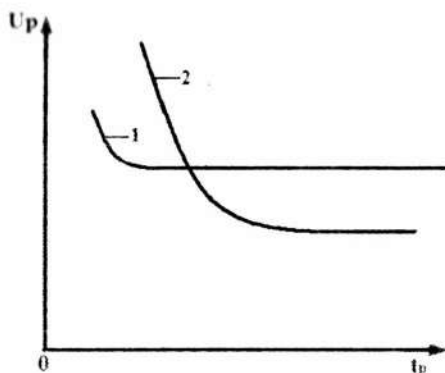
Maksimal razryadlanish kuchlanish impulsining ta'sir etish vaqtiga bog'liqliligini ko'rsatuvchi bog'lanish izolyatsiyaning volt-sekund xarakteristikasi deyiladi. Ionlanish jarayoni rivojlanishining boshlanishi va tezligi kuchlanishning qiymatiga va volt-sekund xarakteristikasiga muvofiq ta'sir etayotgan impulsning shakliga bog'liq.

Sinashni unifikatsiyalash va izolyatsiya konstruksiyalarini solishtirish maqsadida chaqmoqning standart impuls shakli 1,2/50 o'rnatilgan. Volt-sekund harakteristikasini tajriba yo'li bilan aniqlash uchun tekshirilayotgan oraliqqa standart shakldagi impuls beriladi. Har bir impuls kuchlanishining maksimal qiymatida tajribalar seriyasi o'tkaziladi. Shuning uchun statik chetlashishlarga moyillik borligi tufayli volt-sekund harakteristikasi nuqtalar sohasi ko'rinishida tasvirlanadi va u uchun o'rtacha egri chiziq va razryadlanish vaqtining chetlashish chegarasi ko'rsatiladi.

Volt-sekund harakteristikasining ko'rinishi oraliqdagi elektr maydonining bir jinsli bo'lmaganlik darajasiga bog'liq. Bir jinsli va zaif bir jinsli bo'lmagan elektr maydoni uchun volt-sekund harakteristikasi abstsissa o'qiga parallel to'g'ri chiziqni ifoda etadi. (2.7-rasm, egri chiziq 1). Razryadlanish vaqtining 1 mks va undan kam vaqti ichida razryadlanish kuchlanishi ko'payib boradi. Buning sababi bunday oraliqlarda razryadlanish kuchlanishning boshlang'ich qiymatida juda kam vaqt ichida shakllanish bilan bog'liq. Volt-sekund xarakteristikasining qayd etilgan xususiyati shar-shar elektrodlar orasidagi masofa ularning radiuslaridan kichik bo'lganda oraliqni amalda bir jinsli maydon hosil qiladigan oraliq ko'rinishida qarash imkonini beradi.

Keskin bir jinsli bo'lmagan maydonli oraliqning volt-sekund harakteristikasi (2.7- rasm, egri chiziq 2) yetarlicha katta egrilikka ega, chunki bunday oraliqlarda shakllanish vaqti qo'yilgan kuchlanishga bog'liq holda keskin o'zgaruvchan bo'ladi. Bunday oraliqlar uchun chaqmoqli impulslarda razryadlanish kuchlanishi U_{-50} Gts chastotada o'zgaruvchan kuchlanishga qaraganda juda katta qiymatga ega. Razryadlanish kuchlanishning bu kuchlanishga nisbati impuls koeffitsienti deb yuritiladi:

$$K_{um} = \frac{U_p}{U_{-50}}$$



2.7- rasm. Bir jinsli (1) va keskin bir jinsli bo'lmagan (2) elektr maydonli (chaqmoqli impuls) oraliq uchun volt–sekund xarakteristikasining ko'rinishi

Kommutatsiya impulsleri razryad impulsining frontida amalga oshadi. Impulsning har xil qiyalanishida olingan volt–sekund xarakteristikasi minimum nuqtasiga ega. Kommutatsiya impulsi paytida razryadlanish kuchlanishi U_0 dan past bo'lishi mumkin. Bu muhim sharoit elektr qurilmalarida izolyatsiya oraliq'ining masofasini aniqlashda hisobga olinadi.

Standart egri chiziq effekti chaqmoqli impulslarda 2–4% ni tashkil etsa, kommutatsiya impulslerida esa taqsimlanish standarti boshqa turdagi kuchlanishga nisbatan balandroq bo'lib, u 4–8% deb baholanadi.

Ikkita shar orasidagi uchqun oraliq'i zaif bir jinsli bo'lmagan maydonning klassik ko'rinishi hisoblanadi. Bir jinsli bo'lmaganlik darajasi sharlar orasidagi masofaning ularning diametriga bo'lgan nisbatini o'sib borishi bilan oshib boradi.

Shuni ta'kidlash joizki, butun jahon amaliyotida “shar-shar” elektrodli oraliqdan iborat bo'lgan qurilma o'zgaruvchan, o'zgarmas va impuls kuchlanishlarining amplitudasini o'lchaydigan umumiy tan olingan o'lchash asbobi hisoblanadi. Shu sababli ko'pchilik mamlakatlarda razryadlanish kuchlanishini eksperimental aniqlashga katta ahamiyat beriladi.

Uchqun oraliqli sharli razryadlagichlarni o'lchov qurilmasi qilib tanlab olinishiga sabab uning quyidagi xususiyatlari bilan aniqlanadi:

a) Sharlar orasidagi uchqun oraliq'ining volt–sekund xarakteristikasi katta intervallarda gorizontal to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'lganligi sababli oraliqning razryadlanish kuchlanishi qo'yilgan

kuchlanishning ta'sir etish vaqtiga va uning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatiga bog'liq emas.

b) Barcha uchqun oraliqlari ichida eng oson bajariladigani ham sharli uchqun oralig'i hisoblanadi.

Tajriba asosida olingan natijalarni qayta ishlash natijasida radiusi r bo'lgan ikkita shar orasidagi razryadlanish kuchlanishini aniqlashning quyidagi empirik formulasi hosil qilingan:

$$U_0 = 27.2\delta r \frac{(1 + \frac{0.54}{\sqrt{\delta r}}) \frac{S}{r}}{0.25[\frac{S}{r} + 1 + \sqrt{(\frac{S}{r} + 1)^2 + 8J}}]}. \quad (2.17)$$

Chaqmoqli va kommutatsiya impulslarida, xuddi shunday o'zgarmas tok kuchlanishida ham eng past razryadlanish kuchlanishi «sterjen–tekislik» ko'rinishidagi havo oralig'iga to'g'ri keladi va bunda sterjen musbat qutblangan deb qabul qilinadi.

Razryadlanish kuchlanishi o'zining boshlang'ich qiymatiga tenglashganda sterjen tomonidan bir o'ram strimer rivojlanadi. Bunda paydo bo'lgan hajmiy zaryad q sterjen oldida elektr maydon kuchlanganligining kamayishiga olib keladi, oqibatda razryadlanishning rivojlanishi tugaydi. Oraliqda kuchlanish o'sib ketadi, va biroz vaqtdan keyin strimerning yangi charaqlashi sodir bo'ladi. Strimerning rivojlanish sohasida havoning qizishi natijasida lider kanali tashkil topadi. Lider elektrod bilan bevosita aloqada bo'ladi. Strimerning keyingi chaqnashlari liderning oxiridan boshlanib uning uzunlashishiga olib keladi. Bir muncha vaqtdan boshlab strimerning chaqnashi uzliksiz bo'lib, razryadlanish rivojlanadi.

Strimer tekislikka yetib kelganida razryadlanish «teshik faza» ko'rinishida rivojlanadi. Bu fazada razryadlanish toki keskin o'sib ketadi va manbaining ichki qarshiligida kuchlanishning pasayishining ortishi natijasida oraliqda kuchlanishning kamayishi kuzatiladi.

«Sterjen–tekislik» elektrodleri orasida razryadlanish kuchlanishining qiymatini baholash quyidagi formula yordamida amalga oshiriladi:

$$U_r = E_L l_L + E_a l_a, \quad (2.18)$$

bu yerda l_L va l_a - liderning va razryadning o'yi fazasi o'rnatilgan paytdagi ionlanish sohasining uzunliklari; E_L - o'yi faza boshlanishi

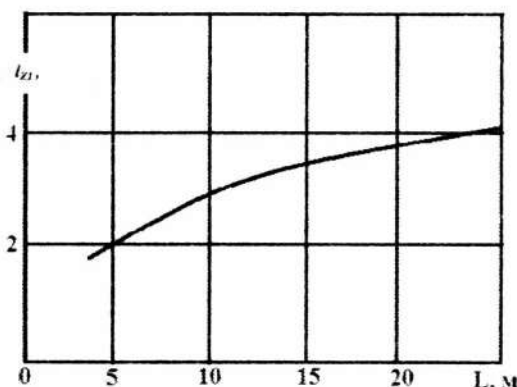
paytida lider kanalidagi o'rtacha elektr maydon kuchlanganligi; $E_{\text{zl}}=5$ kV/sek.

Uzun havo oralig'ida razryadlanishda ionlanish zonasi deyarli strimerlar bilan to'lgan bo'ladi. Ko'pincha uni strimer zonasi deb ham atashadi, uning uchun o'rtacha qiymat $E_{\text{or}} = E_{\text{zl}} = 5$ kV/sm.

Chaqmoqli impulsda ionlanish zonasining uzunligi (strimer zonasi) deyarli elektrodlar orasidagi masofaning uzunligi L ga teng. Yuqoridagi (2.18) ifodaga mos ravishda uzun oraliqlarning 50% li razryadlanish kuchlanishi chaqmoqli razryadlanishda quyidagi ifoda bo'yicha baholanishi mumkin:

$$U_p \approx 5L \quad (2.19)$$

Uzun havo oralig'larining razryadlanish kuchlanishini baholash uchun o'yiq fazaning o'rnatilish paytidagi ionlanish zonasining uzunligi va E_L ning qiymatini bilishimiz kerak. l_{zl} ning tajriba yo'li bilan topilgan qiymatining elektrodlar oralig'ining uzunligiga bog'liqligi 2.8- rasmda keltirilgan.



2.8- rasm. O'yiq faza boshlanishidagi strimer zonasi uzunligining «sterjen – tekislik» elektrodleri orasidagi masofaga bog'liqligi

Bu bog'liqlik quyidagi empirik formula orqali ifodalanishi mumkin

$$l_{\text{zl}} \approx l_c = a_0 \left(1 + \ln \frac{L}{a_0}\right), \quad (2.20)$$

bu yerda a_0 - o'zgarimas kattalik; l_c - strimer zonasining uzunligi. «Sterjen – tekislik» oraliq uchun $a_0=1$ m, «o'tkazgich–tekislik» uchun esa $a_0=1,5$ m.

Tajriba yo'li bilan olingan natijalar liderdagi bo'ylama kuchlanganlikni uning uzunligiga bog'liqligini quyidagicha ifodalash imkonini beradi:

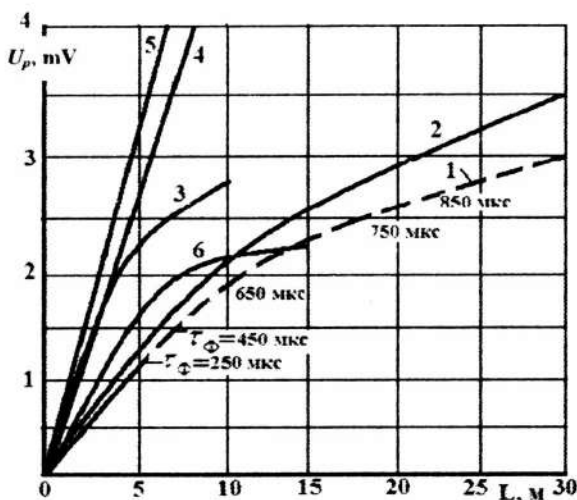
$$E_L = E_{L0} \frac{a_0}{L_L} \ln\left(\frac{L}{a_0} - \ln \frac{L}{a_0}\right), \quad (2.21)$$

bu yerda $L_L = L - l_c$, $E_{L0} = 1,5$ kV/sm- lider kanalidagi boshlang'ich kuchlanganlik.

(2.20) va (2.21) ifodalarni (2.18) ifodaga qo'yib, E. Lemke volt-sekund xarakteristikasining minimal sohasidagi uzun havo oraliqlari uchun 50% li razryadlanish kuchlanishini aniqlash formulasini hosil qilamiz:

$$E_{\text{min}} = E_c a_0 \left(1 + \ln \frac{L}{a_0}\right) + E_{L0} \ln\left(\frac{L}{a_0} - \ln \frac{L}{a_0}\right), \quad (2.22)$$

bu yerda E_c - strimer zonasidagi o'rtacha elektr maydon kuchlanganligi.



2.9- rasm. Havo oralig'ining razryadlanish kuchlanishi. Musbat qutbli kommutatsiya impulsi: 1 – “sterjen – tekislik” oralig'i uchun 50% li razryadlanish kuchlanishining eng kam qiymatida; 2 – “sterjen–tekislik” oralig'i uchun impuls frontining davom etish vaqti $\tau_\Phi = 250$ mks bo'lganda; 3 – “sterjen–sterjen” oralig'i uchun $\tau_\Phi = 2500 - 3000$ mks bo'lganda. Chaqmoqli impulslar 1,2/50 mks: 4 – sterjen – tekislik musbat qutbli; 5- sterjen – tekislik manfiy qutbli; 6 – 50 Gts bilan o'zgaruvchi kuchlanish.

Ionlanish sohasining nisbiy uzunligi (strimer zonasi) oraliqning uzunligi ko'payishi bilan kamayadi (2.9- rasm), liderdagi o'rtacha kuchlanganlik ionlashish sohasidagi kuchlanganlikdan sezilarli darajada kam bo'ladi. Natijada elektrodlar orasidagi masofaning ko'payishi bilan razryadlanish kuchlanishining nisbiy o'sishini kamayishi kuzatiladi.

Juda uzun razryadlanish oraliqlarida (10 – 15 m va katta) kommutatsiya impulsi va 50 Gts chastotali o'zgaruvchi kuchlanishda elektr maydonining o'rtacha kuchlanganligi (1,5 – 1,0 kV/ sm gacha) pasayadi. Bu lider kanali yetarlicha kuchsiz elektr maydonlarida ham rivojlanishi mumkinligini ko'rastadi. Bunday razryadlar uchun yuqori kuchlanishdagi elektrodda strimerning liderga aylanishi muhim hisoblanadi.

Tajriba yo'li bilan o'rnatilganki, 1,5 – 2,0 mV kuchlanishlarda elektrod oldida hosil bo'lgan strimer amalda doimo liderga aylanadi. Yanada yuqoriroq kuchlanishda strimerning liderga o'tish ehtimoli sezilarli darajada pasayadi va ko'pchilik holatlarda paydo bo'lgan strimer oraliqning teshilishi bilan tugallanadi. Masalan 2.0 mV kuchlanishda o'tkirlangan uchli shar bilan uzunligi 8 m bo'lgan tekislik orasidagi izolyatsiya oralig'ida strimerning paydo bo'lish ehtimoli 0,45 ga teng, uning liderga aylanish ehtimoli taxminan 0,05 ga, oraliqning teshilish ehtimoli esa 2,25% ni tashkil etadi.

Lider kanalining paydo bo'lish imkoniyati strimer zonasining (ionlanish zonasining) kritik oraliq uzunligi deb nomlanadigan $l_{c,krit}$ uzunligi bilan bog'liq. Chunki, strimerning $l_{c,qan}$ uzunligida lider kanalining asosi orqali uni qizdirish va undagi kuchlanganlikni pasaytira oladigan, ya'ni strimerni liderga o'zgartiradigan tok oqib o'tadi.

Bir jinsli elektr maydonida izolyatsiya oralig'ining elektr mustahkamligi o'zgarmas va o'zgaruvchan tok kuchlanishlari uchun bir xil bo'ladi va u yetarlicha aniqlikda quyidagi empirik formula bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$U_0 = 6,66\sqrt{\delta S} + 24,55\delta S, \quad (2.23)$$

bu yerda S - elektrodlar orasidagi masofa, sm; δ - havoning nisbiy zichligi.

Formula (2.23) Pashen qonuniga to'la mos keladi, chunki uning tarkibida δ va S ko'paytma ko'rinishida qatnashadi. Ammo, tajriba natijalari ayrim hollarda bu qonuniyatdan chetlashish kuzatilishini ko'rsatadi.

Nazorat savollari

1. Razryadlanish vaqti va razryadning shakllanish vaqtini ta'riflang.
2. Izolyatsiyaning volt-sekund xarakteristikasi nima? U qanday aniqlanadi?
3. Izolyatsiyaning volt-sekund xarakteristikasining ko'rinishi nimalarga bog'liq?
4. Zaif va keskin bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlarida izolyatsiyaning volt-sekund xarakteristikalarini ko'rinishi bir-biridan nima bilan farq qiladi? Buning sababini tushuntiring.
5. Uchqun oraliqli sharli razryadlagichlarni o'lchov qurilmasi qilib tanlab olinishiga sabab nimalardan iborat?

2.4. Bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlarda dielektriklar sirtida gazlarda razryadlanish. Sirpanuvchan razryad

Har qanday izolyatsiyalovchi konstruksiyada qattiq dielektrik gazli, aynan atmosfera havosi bilan chegaralanadi. Elektr qurilmalarining tok o'tkazuvchi qismlarini bir-biridan ajratuvchi qattiq dielektrik chegaralangan o'lchamli bo'lib, izolyatsiyalovchi muhitda joylashadi (atmosfera havosi yoki transformator moyi). Tok o'tkazuvchi qismlarning potentsiallari ayirmasi ta'sirida izolyatsiyalovchi muhitda elektr maydoni hosil bo'ladi. Bu elektr maydonining kuchlanganligi vektorini, maydonning har bir nuqtasida shartli ravishda dielektrik sirtiga nisbatan normal va tangensial tashkil etuvchilarga ajratish mumkin. Ulardan normal tashkil etuvchisi izolyatsiyalovchi muhitlar ajralgan sirtga nisbatan perpendikulyar bo'lsa, ikkinchisi esa urinma ko'rinishida yo'nalgan bo'ladi.

Har qanday izolyatsiya konstruksiyasida qattiq dielektrik gazli yoki moyli izolyatsiya bilan chegaralangan bo'lib, bu chegarada razryad qattiq dielektrik sirti bo'yicha yoki qattiq dielektrikka yopishgan atmosfera havosi va gazli qatlam bo'ylab rivojlanishi mumkin.

Agar ikkala izolyatsiyalovchi muhitni ajratuvchi chegara elektr maydon kuch chiziqlariga nisbatan normal joylashmagan bo'lsa elektr maydon kuchlanganligi vektori bir izolyatsiyalovchi muhitdan ikkinchisiga o'tayotganda sinadi. Buni tushish burchagi α_1 ning sinish burchagi α_2 ga nisbati muhitlarning nisbiy dielektrik singdiruvchan-

liklarining nisbatlari ko‘rinishida ifodalash mumkin. Bu holda muhitlar elektr maydon kuchlanganlik vektorlarining tangensial tashkil etuvchilari ($E_{1t} = E_{2t}$) va bunga mos holda normal tashkil etuvchilari ham o‘zaro bir-biriga teng bo‘ladi:

$$\frac{E_2 n}{E_1 n} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} . \quad (2.24)$$

Elektr maydonning normal tashkil etuvchisi qattiq dielektrikning teshilishini sababchisi bo‘lsa, uning tangensial tashkil etuvchisi esa, dielektrikning qoplanishiga sababchi bo‘ladi. Shuni ta’kidlash zarurki, qoplanish izolyatsiyaning yemirilishiga emas, balki qisqa muddatga izolyatsiyalovchi xususiyatini yo‘qotishiga olib keladi.

Tekis taqsimlanmagan maydonda izolyatsiyaning qoplanishi uchun elektr maydonining o‘rtacha kuchlanganligini 0,1 – 0,2 kV/mm ga tengligi yetarli bo‘lsa, tekis taqsimlangan maydon uchun 0,6 – 0,8 kV/mm maydon kuchlanganligi talab etiladi. Agar qoplanish sirt bo‘ylab rivojlanayotgan bo‘lsa, u holda elektr maydonning qoplanish kuchlanishi quyidagi formuladan topiladi:

$$U_{qop} = \int_0^l E_t dl = E_{qop} l . \quad (2.25)$$

Tajriba shuni ko‘rsatadiki, elektrodlar oralg‘iga qattiq dielektrik kiritilishi elektr maydon shaklidan qat’iy nazar havo oralg‘ining elektr mustahkamligini pasaytiradi. Bu holda elektr razryadi elektrodlar oralgidagi maydonda, emas balki qattiq dielektrik sirti bo‘ylab rivojlanadi.

Elektr maydon shakliga bog‘liq ravishda razryadlanishning rivojlanishiga ko‘p faktorlar ta’sir ko‘rsatadi, shulardan, ayniqsa, ahamiyatlisi qattiq dielektrik sirtining holati va uning namlanganligi hisoblanadi.

Dielektrikning atmosfera havosi bilan izolyatsiyalangan elektrodlar oralg‘iga kiritilishi uning razryadlanish kuchlanishini sezilarli darajada o‘zgartirib yuboradi. Bunda razryadlanish kuchlanishiga dielektrikning materiali, razryadlanish rivojlanayotgan sirtining holatiga va elektrodlar orasidagi maydonning shakliga sezilarli darajada ta’sir etadi.

Dielektrik elektrotexnik qurilmalar barcha izolyatsiyalovchi konstruksiyalarda elektrodlar orasidagi maydonda uchta xarakterli ko‘rinishda joylashishi mumkin.

1. Bir jinsli maydonda dielektrikning sirti maydon kuch chiziq-larining yo‘nalishiga parallel joylashtirilgan va maydonni deyarli bir

jinsli deb qabul qilishimiz mumkin. Bu real izolyatsiya konstruksiyasida kam uchraydi va ko'pincha dielektriklar sirti bo'ylab rivojlanayotgan razryadlanishni o'rganish uchun laboratoriyalarda qo'llaniladi (2.10, a-rasm).

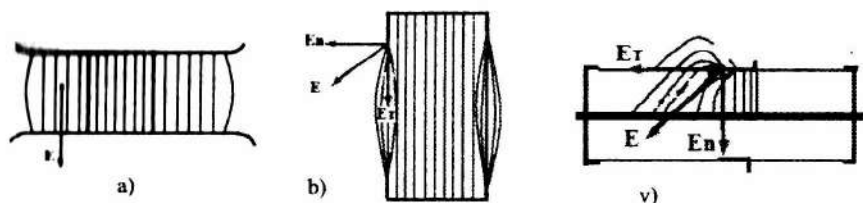
Bu holda elektrodlar oralig'iga qattiq dielektrikning kiritilishi maydon shaklining buzilishiga va dielektriklar sirtida yig'ilayotgan zaryadlarning maydon shaklini sezilarli darajada buzilishiga va razryadlanish kuchlanishining pasayishiga olib keladi. Elektrodlar oralig'i razryadlanish kuchlanishining ancha sezilarli darajada pasayishi elektrod bilan dielektrik orasida ma'lum qatlam mavjudligi hisoblanadi. Qattiq dielektrik bilan gazning dielektrik singdiruvchanliklarining farqidan elektr maydon kuchlanganligining mahalliy o'sishi tufayli ionlanish jarayonining avvalo bu qatlamda, keyinchalik esa butun izolyatsiyalovchi oraliqda rivojlanishiga olib keladi. Gazli qatlamda zaryadning qattiq dielektrik sirtidan elektrodga oqishi kuchsiz uchqunlanishga keyinchalik esa butun oraliqning teshilishiga olib keladi (2.25).

Izolyatsiya konstruksiyasida oraliqning elektrik mustahkamligini dielektrik kiritilganida kamayishining sababi dielektrik bilan elektrod orasidagi mikrooraliqda va dielektrik sirtida namlikning yig'ilishi hisoblanadi. Barcha jismlarning sirti nam havoda yupqa qatlamli suv bilan qoplangan. Bu yupqa qatlamda hosil bo'ladigan ionlar elektr maydon ta'sirida elektrodlar tomon siljiydi. Natijada, bu maydon yoki dielektrik sirtidagi mikroyoriq dielektrik va suv qatlamining dielektrik singdiruvchanligining farqidan elektr maydon kuchlanganligining ko'payishiga olib keladi. Mikroyoriqlarda elektr maydon kuchlanganligining ortishi unda ionlanish jarayonining boshlanishiga olib keladi. Natijada ionlar va elektronlarning asosiy oraliqqa tushishi mahalliy maydonning kuchayishiga va qoplanish kuchlanishining pasayishiga olib keladi.

Razryadlanish kuchlanishiga dielektriklar sirtida adsorbirlangan namlik sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Chunki adsorbirlangan namlik hosil qilayotgan kuchsiz o'tkazuvchanlik dielektrik sirtida zaryadning qayta taqsimlanishiga va elektr maydonning buzilishiga olib keladi. Masalan, bakalizlangan qog'ozdan yasalgan dielektriklarda adsorbirlangan namlikning yuqoriligidan razryadlanish kuchlanishi anchagina pasayadi.

Elektrodlar oralig'ining razryadlanish kuchlanishini oshirish uchun kam gigroskopik bo'lgan dielektriklar yoki elektrodni suv bug'lari

bilan kontaktga kirmasligini ta'minlash uchun kam gigroskopik material bilan qoplash va dielektrik bilan elektrod orasidagi mikroyoriqni sement yoki elastik material bilan muhkamlash va jips joylashtirish lozim.



2.10- rasm. Dielektrikning elektrodlar oralig'idagi elektr maydonda joylashishi:

- a) dielektrik sirti maydon kuch chiziqlariga parallel joylashgan; b) dielektrik sirtining barcha nuqtalarida maydon kuchlanganligining tangensial tashkil etuvchisi uning normal tashkil etuvchisidan katta; v) dielektrik sirtining barcha nuqtalarida maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi uning tangensial tashkil etuvchisidan katta.

2. Dielektrik keskin bir jinsli bo'lmagan elektr maydonda shunday joylashtirilganki, uning sirtini ko'p nuqtalarida maydon kuchlanganligi asosan tangensial tashkil etuvchidan iborat (2.10,b- rasm). Bunga elektr qurilmalarining tayanch izolyatorlari misol bo'ladi. Bu holda ham elektrodlar oralig'ining elektr mustahkamligi toza havo bilan muhitida nisbatan past bo'ladi. Bu esa o'z navbatida razryadlanish kuchlanishi-ni pasayishiga olib keladi. Elektrodning bunday joylashishida ham mikroyoriqlarning va adsorblangan namlikning ta'sir yuqorida ko'rilgan-dagidek bo'ladi. Bu izolyatsion konstruksiyada elektr maydoni kuchlan-ganligining yetarlicha katta qiymatida bu oraliqda toza havodagi kabi tojlanish razryadi rivojlanishi mumkin va azot oksidi hamda paydo bo'lgan azot kislotasi qattiq dielektrikka ta'sir ko'rsatadi. Bir xil bo'lganda razryadlanish kuchlanishi birinchi holatdagidan ancha past bo'ladi. Bu jarayonda dielektrikning xo'llangan sirti busiz ham keskin bir jinsli bo'l-magan maydonning bir jinsli bo'lmaganlik darajasiga sezilarli ta'sir ko'r-satmaydi. Shuning uchun dielektrikning gigroskopik xususiyati may-donning razryadlanish kuchlanishiga uncha ta'sir ko'rsatmaydi. Umu-man, bir jinsli bo'lmagan maydon tayanch va har xil ko'rinishdagi shitrli izolyatorli izolyatsiya konstruksiyalarida va yuqori kuchlanish elektr qurilmalarining izolyatsiyalovchi korpuslarida uchraydi. Shuni ta'kid-lash lozimki, tojlanish razryadi polimer izolyatsiyalarga juda katta havf tug'diradi (ayniqsa, razryadlanish strimer shaklida rivojlansa). Strimer kanalida harorat yetarlicha yuqori va uning dielektrik sirtiga tegishi

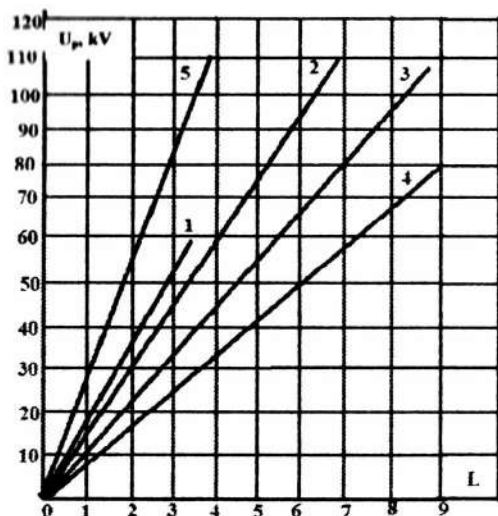
uning termik yemirilishiga va dielektrik sirtida kuygan izning paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin. Bu izning (trekning) uzunligi vaqt o'tishi bilan asta-sekin kattalashadi va oqibat natijada dielektrikning qoplashiga, dielektrikning vaqtinchalik dielektriklik xususiyatini yo'qotishga olib keladi.

3. Dielektrik keskin bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida joylashtirilgan bo'lib, uning sirtini barcha nuqtalarida maydonning normal tashkil etuvchisi uning tangensial tashkil etuvchisidan katta (2.10, v-rasm).

Elektr maydoni kuchlanganligining normal tashkil etuvchisining tangensial tashkil etuvchisidan ancha kattaligi strimerni dielektrik sirtiga yanada yaqinlashishiga va dielektrikning shikastlanish ehtimolining yanada oshishiga olib keladi. Bu konstruksiyaning elektrik mustahkamligi oldingi konstruksiyaga nisbatan yanada past bo'ladi. Dielektrik sirti bo'ylab rivojlanayotgan strimer kanalining sig'imi tangensial tashkil etuvchi katta bo'lgandagi strimer kanalining dielektrikka nisbatan sig'imidan ancha katta. Shu sababli, strimer kanali bo'ylab katta tok oqib o'tadi. Elektrodga qo'yilgan kuchlanishning ma'lum bir qiymatida strimer kanalining harorati termik ionlanish uchun yetarli bo'ladi. Elektr maydonining normal tashkil etuvchisi katta bo'lgan dielektrik sirti bo'ylab rivojlanayotgan termik ionlashtirish razryadining bu ko'rinishiga sirpanuvchan razryad deyiladi.

Razryadlanish kuchlanishining havo namligiga bog'liqligi katta ahamiyatga ega. Namlikning 100% qiymatida dielektrikning sirti butunlay xo'llanganligi sababli undagi razryadlanish deyarli turg'un bo'ladi. Dielektrik materialining gigroskopikligi tufayli unda adsorbiyangan namlikdan uning qarshiligi yetarlicha katta bo'ladi. Ionlar harakati juda sekinligidan oldin elektrodlar yaqinidagi zaryadlar elektrodga ketib ularning oldida ishoralari elektrod ishorasiga mos bo'lgan ionlar yig'ilib qoladi (2.11- rasm).

Elektrodlar yaqinida ortiqcha ionlarning paydo bo'lishi elektr maydon shaklining buzilishiga olib keladi. Elektrodlar yaqinida ortiqcha ionlarning paydo bo'lishi maydonning bir jinsliliğini buzilishiga va razryadlanish kuchlanishning kamayishiga olib keladi. Agar kuchlanishning elektrodlar sirtida taqsimlanishini qarasak, ularning notekisligini ko'ramiz. Elektrodlar sirtida razryadning rivojlanishi va razryad kuchlanishi uning namligiga, ya'ni materialning gigroskopligiga bog'liq.



2.11-rasm. Namunalar sirti bo'ylab razryadlanish kuchlanishining elektrodlar orasidagi masofaga bog'liqligi. Oraliqning konstruksiyasi (2.10- rasm): 1 – toza havo oralig'i; 2 – elektrexnik chinni; 3 – shisha; 4- shisha va chini dielektriklarning elektrodiga jips joylashmagan holatida.

razryadlanishning paydo bo'lishi ham shunchalik yengillashadi. Solishtirma sirtiy sig'im qancha katta bo'lsa, strimerning o'tkazuvchanligi ham shuncha o'sib, strimer tokining qiy-mati ham kattalashadi va razryadlanish kuchlanishi pasayadi.

Izolyatorlar sirti bo'ylab quruq razryadlanish kuchlanishini sezilarli darajada oshirishga erishish uchun uning sirtini qovurg'ali qilib yasaladi. Qovurg'a elektrodga qancha yaqin joylashsa shuncha effektli bo'ladi, chunki elektr maydon kuchlanganligi elektrodga yaqinida maksimal darajada bo'ladi. Shu bilan birga qovurg'a u joylashgan joyda sirtiy sig'imni kamaytiradi. Strimer rivojlanishini oldini olish uchun to'siqlardan foydalaniladi. Qovurg'aning borligida razryad qisman qattiq dielektrik sirti bo'yicha bo'lsa, qisman esa havo bo'yicha rivojlanadi. Izolyator sirtida chiqib turgan qovurg'alar soni qancha ko'p bo'lsa, razryadning havo bo'yicha rivojlanish ehtimoli shunchalik katta bo'ladi. Razryadning bunday rivojlanishi shunday xususiyatga egaki, impuls

Ko'pgina izolyatsiya konstruksiyalarida dielektriklar sirtidagi gazli razryadlanish ko'pincha keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda kechadi. Izolyator sirtida maydonning joylashishi va uning sirti buylab strimerning rivojlanishi 2.10-rasmda keltirilgan. Bu sirt bo'ylab elektr maydonning taqsimlanishi elektrod bilan dielektrik orasidagi sirtiy solishtirma sig'im qancha katta bo'lsa, maydonning taqsimlanishi ham shuncha notekis bo'ladi. Bunga mos holda elektr maydon kuchlanganligining bo'ylama tashkil etuvchisi ham o'sib boradi va natijada izolyator sirtida

qoplanishdan keyingi kuchli yoy izolyator sirtiga tegmaydi va uni kuydirmaydi.

Sirti razryadlanish kuchlanishini ko'paytirishga izolyator sirti bo'ylab maydonni tekislash orqali ham yerishish mumkin. Maydonni tekislash usullariga ekran yoki izolyator sirtini yarim o'tkazgich bilan qoplash, elektrodga tojlantiruvchi elektrod ulash kabilar kiradi. Oxirgi usulga ko'ra tojlanish natijasida elektrod yaqinida izolyator sirti buylab yarim o'tkazuvchan qoplash rolini bajaradigan past o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan plazma hosil qilinadi

Izolyatorlar sirtining ho'llanishi yomg'ir, qor, shudring va tumanning paydo bo'lishida kuzatiladi. Elektrodlar oralig'i butunlay qoplanganda uning o'tkazuvchanligiga bog'liq bo'lgan tok oqib o'ta boshlaydi. Suvli qatlamning qalinligi va suvning solishtirma o'tkazuvchanligiga bog'liq bo'lgan tokning qiymati 5-100 mA oralig'ida o'zgaradi. Egrilik radiusi kichik bo'lgan elektrod yaqinida (osuluvchan izolyatorlarning pastida yoki shtirli izolyatorning shtirida) tokning zichligi ancha katta bo'lib konsentratsiyalangan holatda issiqlik ajralib chiqadi. Bu nuqtalarda sirtining 1 sm^2 yuzasida ajralib chiqayotgan issiqlik energiyasi izolyator sirtidagiga nisbatan o'nlab-yuzlab marta katta bo'ladi. Konsentratsiyalangan issiqlik ta'siri izolyator sirtini qurita boshlaydi, bu esa izolyator sirtining quritilgan qismining qarshiligi kattalashishi, kuchlanish tushishining keskin o'sib ketishiga olib keladi. Bunda yoyning tayanch nuqtasi suvli plyonkaning chetida joylashgan bo'lib sirtning qurishi jarayonida siljib turadi.

Zanjirning tenglamasi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$E_{yoy}(i_{sr})l + i_{sr}R = U_0, \quad (2.26)$$

bu yerda $E_{yoy}(i_{sr})$ - kuchlanish gradienti bo'lib, u yoy orqali oqayotgan i_{sr} tokning funksiyasidir; L - taxminan quritilgan sohaning kengligiga teng bo'lgan yoyning uzunligi; $R = f(L_{sr}-1)$ - suvli plyonka bilan qoplanmagan qismining aktiv qarshiligi; L_{sr} - sirg'ish toki oqayotgan yoyning uzunligi.

Agar $\frac{di_{sr}}{dl} > 0$ bo'lsa, quritilayotgan qismning uzunligi ko'payishi bilan yoydagi tok oshib boradi va izolyatsiyalovchi oraliq to'liq qoplanmaguncha tayanch nuqta qarama-qarshi tomondagi elektrod tomon

siljiy boshlaydi. Agar $\frac{di_{sr}}{dl} < 0$ bo'lsa, quritilgan uchastka yana ho'llangan zahoti yoy so'nadi. Bu jarayon bir necha marta takrorlanadi.

Izolyator sirtida yomg'ir ta'sirida razryadlanish kuchlanishiga — *xo'l razryadlanish kuchlanishi* deyiladi. Izolyatorning sirg'ish toki oqayotgan yo'lidagi suv plyonkasining qarshiligi qancha kichik bo'lsa, ho'l razryadlanish kuchlanishi ham shuncha past bo'ladi. Yo'ylar paydo bo'lgunga qadar bu qarshilik quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$R_{sr} = \rho_c \int_0^{l_{sr}} \frac{dl}{\pi D(l) \delta(l)} = \rho_c F, \quad (2.27)$$

bu yerda ρ_c - suv plyonkasining sirtiy solishtirma qarshiligi; l_{sr} - sirg'ish toki oqayotgan yo'lning uzunligi; dl - sirg'ish toki oqayotgan qismning elementar bo'lagi uzunligi; $D(l)$ - izolyatorning l masofaga to'g'ri keluvchi diametri; $\delta(l)$ - suv qatlamining qalinligi; F - izolyatorni harakterlovchi shakl koeffitsienti.

Ma'lumki, izolyatorning diametri kattalashgani sari shakl koeffitsienti F va ho'l razryadlanish kuchlanishi U_{hp} ham pasayib boradi. Demak, izolyatorning diametri qancha katta bo'lsa, uning ho'llangan qismidagi ho'l razryadlanish kuchlanishi ham shunchalik past bo'ladi. Izolyatorlar sirtidagi suv qatlami maydonning bir jinsli bo'lmaganligini oz darajada oshiradi va shu sababli razryadlanish kuchlanishiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatmaydi.

Dielektrikning sirtida elektr maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi qancha katta bo'lsa (2.10,v- rasm), uning razryadlanish kuchlanishining ancha pasayishi va razryad harakterining o'zgarishi shuncha sezilarli bo'ladi. Ionlanish har doim elektrodlar orasidagi masofa kichik bo'lgan elektr maydon kuchlanganligining absolyut qiymati juda katta bo'lgan nuqtadan boshlanadi. Shu sababli kuchlanishning uncha katta bo'lmagan qiymatida elektrodning chetida to'planish razryadining yallig'izi paydo bo'ladi. Kuchlanishning ko'payishi bilan nuqta qarama-qarshi elektrod tomon yo'nalgan yallig'lanuvchi ipga aylanadi. Bu ipning uzunligi taxminan elektrodlar oralig'iga qo'yilgan kuchlanishga proporsional ravishda kattalashib boradi. Kuchlanishning ma'lum aniq qiymatida razryadlanish kanali yanada yorug'lashib va uzunligi tezroq o'zgarayotgan ip kattalashib, elektrodlar oralig'ini batamom qoplaydi. Razryadlanishning oxirgi bosqichiga «Sirpanuvchan razryad» deb nomlanadi. Haqiqatdan ham

razryadlanish kanali dielektrik sirtiga ilashganday va elektrodlar oralig'ining butun uzunligida undan ajralmaganday ko'rinadi.

Sirpanuvchan razryadlarning hosil bo'lishini quyidagicha tushintirish mumkin. Razryadning ikkinchi bosqichida alohida iplarning kanallari bo'yicha zarbaviy ionlanish natijasida hosil qilingan ionlar harakatlanadi. Dielektrik sirtida elektr maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi katta bo'lganligidan bu ionlar dielektrik sirtini uzluksiz bombardimon qilish natijasida mahalliy qizish sodir bo'ladi. Haroratning ma'lum bir qiymatida termik ionlashish paydo bo'lishi mumkin. Termik ionlashish ta'sirida razryadlanish kanalidagi ionlar soni keskin o'sib ketishi natijasida kanalning qarshiligini keskin kamayishi kuchlanish tushishining kamayishiga va kanalning oxirida elektr maydon kuchlanganligining ko'payishi razryadlanish kanalidagi ipning intensiv uzunlashishiga olib keladi. Chunki, sirpanuvchan razryad kanalining o'tkazuvchanligi strimer kanalining o'tkazuvchanligiga nisbatan ancha katta. Shuning uchun sirpanuvchan razryad kanalida kuchlanishning tushishi kichik bo'lib, dielektrikning qoplanmagan qismida esa strimer kanalidagidan ancha katta bo'ladi. Elektrodlar oralig'ining qoplanmagan qismi kuchlanishining ko'payishi sirpanuvchan razryadning uzunlashishiga olib kelib, elektrodlar oralig'ining butunlay qoplanishi natijasida o'tkazuvchan iz paydo bo'ladi.

Razryadlanish kanali bo'yicha oqayotgan tok keyinchalik qarama-qarshi elektrodga nisbatan sig'imi tutashuv hosil qiladi. Shuning uchun tokning qiymati, harakatlanayotgan ionlar soni va dielektrik sirtida ular hosil qilayotgan qizish darajasi bu sig'imga va elektrodlar oralig'iga qo'yilgan kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarish tezligiga bog'liq kuchli darajada bog'liq. Razryadlanish kanalining sig'imi qarama-qarshi elektrodga nisbatan sirtning birlik sig'imiga propolrtsional bo'lib, unga solishtirma sirti sig'im deyiladi.

Sanoat chastotasida sirpanuvchan razryad paydo bo'lishi uchun yetarli bo'lgan kuchlanish quyidagi empirik formula bo'yicha aniqlanadi, kV:

$$U_{ur} = \frac{1.36 \cdot 10^{-4}}{C_0^{0.44}}, \quad (2.28)$$

bu yerda S_0 – dielektrik sirtining solishtirma sig'imi (f/sm^2) bo'lib, u ko'p jihatdan elektrodlar shakliga bog'liq.

Formula yordamida topilgan kuchlanishning qiymati solishtirma sig'imning $C > 0,25 \cdot 10^{-12} \text{ f/sm}^2$ qiymatida tajriba yo'li bilan topilgan kuchlanish qiymatiga juda mos keladi.

Sirpanuvchan razryadning razryadlanish kanalining uzunligi uning o'tkazuvchanligiga, ya'ni razryadlanish kanali buyicha oqayotgan tokka bog'liq. O'z navbatida tok elektrodlar oralig'iga qo'yilgan kuchlanishga, strimer kanali kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarishiga va qarama-qarshi elektrodga nisbatan sirtiy solishtirma sig'imga bog'liq. Bu taxminiy funksional bog'lanish Tepler tomonidan tavsiya etilgan formula yordamida aniqlanadi:

$$L_{sr} = \chi C' U^4 \sqrt{\frac{dU}{dt}}, \quad (2.29)$$

bu yerda L_{sr} - sirpanuvchan razryadlanish kanali uzunligi, sm; U - elektrodlar orasiga qo'yilgan kuchlanish (amplituda qiymati); C' - sirtiy solishtirma sig'im, f/sm^2 (qarama-qarshi elektrodga nisbatan razryad rivojlanayotgan elektrod sirtining sig'imi); $\frac{dU}{dt}$ - elektrodlar oralig'iga quyilgan kuchlanishning o'zgarish tezligi; $\chi = 39 \cdot 10^{15}$ - musbat va $\chi = 33 \cdot 10^{15}$ - manfiy impulslar uchun. Bu koeffitsient tajriba yo'li bilan aniqlanadi

Agar (2.29) ifodadagi L_{sr} o'rniga dielektriklar sirti bo'ylab elektrodlar oralig'ining uzunligi S qo'yilsa, dielektrikning sirti qoplanishi uchun zarur bo'lgan razryadlanish kuchlanishining qiymatini aniqlash formulasi hosil bo'ladi. Buning uchun biz $C = \frac{\epsilon \epsilon_0}{d}$ deb qabul qilganimizda, d - dielektrik qalinligi va $\frac{dU}{dt}$ - elektrodlar oralig'iga qo'yilgan kuchlanishning o'zgarish tezligi bo'lib, bundan o'zgarmas va tarmoqdagi chastotani deyarli o'zgarmas deb qabul qilganimizda razryadlanish kuchlanishini aniqlaymiz:

$$U_p = \chi L^{0.2} \left(\frac{d}{\epsilon \epsilon_0} \right)^{0.4}. \quad (2.30)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, izolyator uzunligining o'sishi razryadlanish kuchlanishining juda kam qiymatga o'sishiga olib keladi. Shuning uchun o'tuvchan izolyatorlarning razryadlanish kuchlanishini kamaytirish uchun izolyatorning razryad boshlanadigan flantsdagi diametrini kattalashtirish natijasida sirtiy solishtirma sig'imni

kamaytirishga erishiladi. Bunga erishishning yana bir yo'li flantsga yarim o'tkazuvchan qoplashdan iborat.

O'zgarmas tok kuchlanishini olib qaraydigan bo'lsak, sirtiy solishtirma sig'im amalda razryadlanishning rivojlanishiga ta'sir ko'rsatmaydi. Razryadlanish kuchlanishining qiymati esa elektrodlar oralig'idagi toza havodagi razryadlanish kuchlanishiga juda yaqin.

Nazorat savollari

1. Muhitning dielektrik singdiruvchanligi va nisbiy dielektrik singdiruvchanligini ta'riflang.
2. Havo oralig'iga dielektrik kiritilganda uning elektr mustahkamligi qanday o'zgaradi? Sababini tushuntiring.
3. Dielektrik sirtida razryadlanishning rivojlanish jarayonini tushuntiring.
4. Dielektriklarning sirtida razryadlanish jarayoniga ta'sir etuvchi asosiy faktorlar nimalardan iborat?
5. Dielektriklar sirtida razryadlanishning qanday turlari mavjud? Ularni ta'riflang.
6. Quruq razryadlanish va ho'l razryadlanishni ta'riflang.
7. Sirpanuvchan razryad nima va u qanday hosil bo'ladi?
8. Sanoat chastotasida sirpanuvchan razryadning paydo bo'lishi uchun yetarli bo'lgan kuchlanish qanday aniqlanadi?

3. IZOLYATORLARNING ELEKTRIK VA MEXANIK XARAKTERISTIKALARI

3.1. Osmo, tayanch va o'tuvchi izolyatorlarning elektrik xarakteristikalari

Tajriba ko'rsatadiki, izolyatorlarni tanlash uchun asosiy mezon ularning har xil ekspluatatsiya sharoitlarida (tuman, shudring, sekin maydalab yog'ayotgan yomg'ir va izolyator sirtining ifloslanishi bilan birgalikda) uning ishonchli ishlashini ta'minlash hisoblanadi.

Izolyatorlarning razryadlanish kuchlanishining keskin kamayishiga atmosfera sharoiti yomg'irli yoki shudringli bo'lganda izolyator sirtidagi ifloslanishni ho'llanishi sabab bo'ladi. Izolyatorlarni tanlashda izolyator sirtining ifloslanishi hisobga olinadi.

Atmosferaning barcha ifloslanish manbailari: sanoat korxonalari, issiqlik elektr stansiyalari, sho'rlangan tuproq, tuzli suv havzalari ta'sirida ifloslanish darajasi «Ifloslangan atmosferada izolyatsiyani tanlash va ekspluatatsiya qilishga bo'lgan yo'riqnomadan» foydalanib topiladi. Ifloslanish darajasi buyicha hududlarni quyidagilarga bo'lishimiz mumkin.

Birinchi ifloslanish darajasiga qishloq xo'jalik rayonlari, yaylov, o'rmon, botqoqliq va tundra kiradi.

Ikkinchi ifloslanish darajasiga tuproqning yerroziyasi tufayli chang-to'zonli yerlar, ximik o'g'itlar va gerbitsidlar va sanoat shaharlari kiradi.

Sanoat korxonalariga yaqin bo'lgan rayonlarning ifloslanish darajasi bu korxonalarning ishlash smenasiga va ular ishlab chiqarayotgan mahsulotning turiga qarab tanlanadi. Bu holda himoyalash zonasining o'lchami 300 – 900 metrgacha bo'lishi mumkin. Himoyalash zonasining chegarasidan keyingi hududlar II va I ifloslanish darajasiga ega deb qabul qilinadi. Himoya intervali chegarasida esa manbagacha bo'lgan masofaga qarab III – IV ifloslanish darajasi o'rnatiladi.

Agar ikkita ifloslanish manbaidan himoyalash intervali ustma-ust tushadigan bo'lsa, ya'ni ikkita manbaidan himoyalash intervali IV bo'lsa umumiy holda himoya intervali V himoyalash darajasiga tegishli bo'ladi.

Sirg'ish toki oqadigan yo'lining effektiv solishtirma uzunligi atmosferaning ifloslanish darajasiga va qurilmaning nominal kuchlanishiga bog'liq holda meyorlanadi. Sirg'ish toki oqadigan yo'lining effektiv solishtirma uzunligining meyorlangan qiymati 3.1- jadvalda keltirilgan.

3.1- jadval. Sirg'ish toki yo'li uzunligining meyorlangan qiymatlari.

Atmosferaning ifloslanish darajasi	$\lambda_{ef}, \text{sm} / \text{kV}$				
	Nominal kuchlanishi 35 kV bo'lgan HEUL			Nominal kuchlanishda ochiq taqsimlovchi qurilmalar uchun, kV	
	35	110–220	330–750	35	110 – 750
I	1,7	1,3	1,3	1,7	1,5
II	1,9	1,6	1,5	1,7	1,5
III	2,25	1,9	1,8	2,25	1,8
IV	2,6	2,25	2,25	2,6	2,25*
V	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0**
VI	4,0	3,5	3,5	4,0	3,5**
* 750 kV kuchlanishdan tashqari.					
** 500 va 750 kV kuchlanishdan tashqari					

Jadvaldan ko'rinadiki, ifloslanish darajasi o'sgani sari λ_{ef} qiymati ko'payadi. Neytrali izolyatsiyalangan holda ishlovchi 35 kV kuchlanishli tarmoq uchun λ_{ef} ning qiymati kuchlanishi 110 kV va undan yuqori bo'lgan tarmoqdagiga nisbatan muhim ahamiyatga ega. Chunki, bu tarmoq bir fazali yerga qisqa tutashuvda ham uzoq vaqt ishlashi mumkin. Dengiz sathiga nisbatan 1000 – 2000 m balandlikda izolyatorlar shodasi uchun sirg'ish toki yo'lining meyorlashtirilgan uzunligi 5% ga, a 2000 – 3000 m balandlikda esa 10%, balandlikning 3000 – 4000 qiymatida esa 15%ga ko'paytirish talab etiladi. Ishchi kuchlanishda izolyatorning ishonchli ishlash xarakteristikasi sirg'ish tokining oqish yo'li uzunligining quyidagicha topiluvchi solishtirma effektiv qiymati hisoblanadi:

$$\lambda_{ef} = \frac{L_{ef}}{U_{o.katod}} \quad (3.1)$$

Elektr qurilmalarning har xil potentsiali alohida qismlarini (masalan har xil fazalarning o'tkazgichlari va shinalar fazalari) bir-biridan ma'lum masofaga siljitib havo orqali izolyatsiyalashdan tashqari ularni yerdan va

zaminlangan konstruksiyalardan izolyatsiyalash uchun, hamda ularni mahkamlash uchun tayanch izolyatorlari ko'pincha elektrotexnik chinni va shishadan yasalgan izolyatorlardan foydalaniladi.

Izolyatorning elektrik mustahkamligining buzilishi (shikastlanishi) ko'pincha qattiq dielektrikning teshilishi yoki izolyator sirtidagi havoda razryadlanish (qoplanish) ta'siri tufayli ro'y berishi mumkin. Birinchi holda dielektriklar o'zining elektrik mustahkamligini butunlay yo'qotishi va bundan tashqari mexanik yemirilishi natijasida ishdan chiqadi. Ikkinchi holda elektr yoyining issiqligi ta'siridan dielektrikning sirtidagi sirlar orilib qisman shikastlansada, butunlay ishdan chiqmaydi, chunki rele himoyasi ta'sirida kuchlanish olingandan so'ng yoy so'nadi va uning elektrik xarakteristikasi qisman tiklanadi. Shuning uchun izolyatorlar shunday kilib yasaladiki ularning teshilish kuchlanishi, uning koplani kuchlanishidan katta bo'lishi kerak.

Shunday qilib, izolyatorning elektrik mustahkamligi uning qoplanish va razryadlanish kuchlanishi bilan xarakterlanadi. Izolyatorlarning elektrik mustahkamligini va qoplanmasdan chidash beradigan kuchlanishni baholash quyidagi uchta xarakteristika asosida amalga oshiriladi:

- sanoat chastotasidagi quruq razryadlanish kuchlanishi (QRK);
- sanoat chastotasidagi ho'l razryadlanish kuchlanishi (HRK);
- kuchlanishning standart to'loqida olingan volt-sekund xarakteristikasi (VSX).

Sanoat chastotasidagi razryadlanish kuchlanishi izolyatorlarning ichki o'ta kuchlanishga elektrik mustahkamligini baholash mezonini hisoblanadi. VSX izolyatorlarning atmosferadagi o'ta kuchlanishga bo'lgan elektr mustahkamligini aniqlaydi.

Yer sharning ko'p nuqtalarida uzoq davom etadigan ob – havo quruq ob – havo hisoblanadi. Shuning uchun izolyatorning quruq sirti bo'ylab razryadlanishni o'rganish uning yil davomida ekspluatatsiya davrida qanday tutishini mulohaza qilishga imkon beradi. Shu maqsadda tashqi yuqori kuchlanish izolyatsiyasining barcha meyor va standartlari razryadlanish (chidash beradigan) kuchlanishi quruq izolyatorlar sirtiga sanoat chastotasidagi kuchlanish ta'sir etayotgan holat uchun o'lchanadi. O'lchangan kuchlanishni qisqartirib, quruq razryadlanish (U_{QRK}) va quruq chidash beradigan (U_{QChB}) kuchlanish deyiladi. Ular o'zaro $U_{QChB} = 0,9U_{QRK}$ munosabatda bog'langan.

Ko'pchilik izolyatsiya konstruksiyalarida sirtiy gazli razryadlanish keskin bir jinsli bo'lmagan maydonlarda kechadi. Elektr maydon kuch chiziqlarining tipik izolyatsiya konstruksiyalarida taqsimlanishi sirtiy solishtirma sig'im C_0 ga bog'liq. Sirtiy solishtirma sig'im qancha katta bo'lsa, maydon shunchalik notekis bo'ladi. Maydonning notekisligi ko'payishi bilan uning elektr maydon kuchlanganligining bo'ylama tashkil etuvchisi elektrod yaqinida qanchalik darajada katta bo'lsa, sirtiy razryadlanishning paydo bo'lishi shuncha yengillashadi.

Bundan tashqari, sirtiy solishtirma sig'im C_0 gazli razryadlanishning kechish xarakteriga ham ta'sir ko'rsatadi. Elektr maydon kuchlanganligining bo'ylama tashkil etuvchisi ta'sirida oqayotgan strimer toki sig'imdagi siljish toki $C_0 \Delta S$ (ΔS - strimerning boshi ostidagi maydoncha) bilan tutashadi. Bu sirtiy solishtirma sig'im qancha katta bo'lsa, strimer tokining qiymati ham shunchalik katta qiymatga yerishishi mumkin. Demak, strimerning o'tkazuvchanligi va strimer boshi tagidagi potensial o'sadi va bu razryadlanishning rivojlanishiga yordamlashadi. Shunday qilib, sirtiy solishtirma sig'imning o'sishi sirt bo'ylab razryadlanish kuchlanishining pasayishiga olib keladi.

Solishtirma sig'im C_0 ning razryadning kechishiga ta'siri shunchalik sezilarliki, agar tokning chastotasi qancha katta bo'lsa, sig'imiy o'tkazuvchanlik $\omega C_0 \Delta S$ ham shuncha katta bo'ladi. Elektrodlar oralig'iga qo'yilgan kuchlanishning chastotasini oshira borganimiz sari strimer dielektrik sirtiga yopishishga intiladi.

Sanoat chastotasi bilan o'zgarayotgan QRK yopik xonalarda qo'llaniladigan qurilmalar izolyatorlarining (ichki o'rnatiladigan elektr qurilmalarining) asosiy va bosh xarakteristikasi hisoblanadi. Izolyatorning QRK toza va quruq sirtlar uchun aniqlaniladi. Razryadlanish kuchlanishini solishtirishni yengillashtirish maqsadida u meyor I atmos-fera

sharoitiga $\delta = 0,386 \frac{P}{T}$ mos keladigan nisbiy zichlikka keltiriladi. Shuning uchun izolyatorlarning itxtiyoriy nisbiy zichlik uchun aniqlangan QRK havoning meyoriy zichlikdagi kuchlanishiga keltiriladi:

$$U_{QRK} = \frac{U}{\delta} \quad (3.2)$$

Sanoat chastotasidagi QRK havoning namligi oshib borgani sari kattalashadi. Ma'lum namlikda aniqlangan QRK meyorini namlikka (11 g/sm^2) keltirish uchun razryadlanish kuchlanishini nomogrammadan

aniqlanadigan K koeffitsientga ko'paytirish kifoya. U holda meyoriy atmosfera sharoitiga keltirilgan quruq razryadlanish kuchlanishini quyidagi formula orqali aniqlaymiz:

$$U_{QPK} = U \frac{K}{\delta}. \quad (3.3)$$

Bu yerda U_{QPK} - meyoriy nisbiy zichlik $\delta=1$ dagi quruq razryadlanish kuchlanishi.

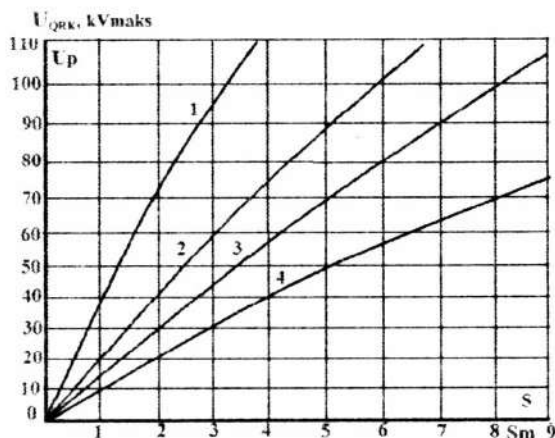
Elektrodlar oralig'iga quyilayotgan kuchlanishning maksimal qiymati 141 kV dan kam bo'lsa, tuzatish koeffitsienti kuchlanishga proporsional bo'ladi. Kuchlanish impulsida razryadlanish vaqti 10 mksek bo'lgan holda tuzatish koeffitsienti protsentlarda razryadlanishdan oldingi vaqtga nisbatan kamayadi.

Bir qator izolyatsiya konstruksiyalarida izolyatorning sirti bir jinsli elektr maydonining kuch chiziqlari yo'nalishida joylashgan. Bu holda izolyator elektr maydonini buzmasada, izolyatsiya konstruksiyasining razryadlanish kuchlanishini sezilarli darajada pasaytiradi. Razryadlanish kuchlanishining pasayishini sabablaridan biri izolyatsiya materiallarining gigroskopligidir. U izolyator sirtida namlikning mikroskopik yupqa qatlamining paydo bo'lishiga olib keladi. Bunday yupqa qatlam razryadlanish kuchlanishining pasayishiga sabab bo'ladi. Izolyatsiya materialining gigroskopligi oshishi bilan izolyatsiya konstruksiyasining razryadlanish kuchlanishi kamayib boradi (3.1- rasm).

Elektr qurilmalarini eksplutatsiya qilish tajribasi shuni ko'rsatadiki, izolyatorning ho'l razryadlanish kuchlanishi ifloslantirayotgan qatlamning xarakteristikasiga: qatlam qalinligi va solishtirma qarshiligiga bog'liq. Bir xil ifloslanishlarda esa u elektrodlar orasidagi minimal masofani bildiradigan sirg'ish toki oqayotgan kanalning uzunligi L_{sr} ga proporsionaldir. Izolyatorlar turkumida (izolyatorlar shodasi va izolyatorlar ustuni) esa, u alohida izolyatorlarning sirg'ish toklarini oqish yo'li uzunliklarining yig'indisiga teng.

Ochiq muhitda izolyatorlar sirtlarining ho'llanishi yomg'ir, qor, tuman, shudring va qirov ta'sirida yuz beradi. Shuning uchun u tashqi muhitda o'rnatiladigan elektr qurilmalari izolyatori uchun katta ahamiyatga ega. Agar elektrodlar oralig'ida butunlay uzluksiz yomg'ir suvining qatlami paydo bo'lsa, suv qatlamining qalinligiga va uning elektr o'tkazuvchanligiga bog'liq holda sirg'ish tokining qiymati 5 mAdan 100 mAgacha o'zgaradi. Elektr maydon kuchlanganligining va

tok zichligining katta qiymatlarida radiusi kichik bo'lgan elektrod yonida katta issiqlik energiyasi ajralib chiqadi.



3.1-rasm. Tekis taqsimlangan maydonda sirt bo'ylab quruq razryadlanish kuchlanishining elektrodlar orasidagi masofaga bog'liqligi: 1 – havo oralig'i; 2 – chinni; 3 – shisha (chinniga nisbatan ko'proq gigroskopik); 4 – chinni va shisha dielektrikning elektrodلarga jips joylashmagan holat.

Razryad izolyatorning alohida qismlarida izolyator sirti bo'ylab rivojlansa, ayrim qismlarda esa u izolyator sirtidan butunlay ajralib havo bo'yicha rivojlanadi. Bundan tashqari izolyator sirti notekis ho'llanishi va ifloslanishi mumkin. Buning natijasida ho'l razryadlanish kuchlanishi ekspluatatsiya sharoitida sirtning uzunligi

L_{ur} ga emas, balki bu yo'l-ning effektiv uzunligiga proporsionaldir:

$$L_{ef} = \frac{L_{ur}}{K} \quad (3.4)$$

Bu yerda $K \geq 1$ bo'lib, u izolyatorning effektivligini bildiradigan tuzatish koeffitsientidir. Bu koeffitsientning qiymati tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Agar tajriba natijalari aniq bo'lmasa, likopsimon osma izolyatorlar uchun bu koeffitsientning qiymati quyidagi empirik formula bo'yicha baholanishi mumkin:

$$K = 1 + 0,5 \left(\frac{L_{osm}}{D} - 1 \right). \quad (3.5)$$

Bu yerda D – osma izolyatorning diametri.

Elektr sistemani ekspluatatsiya qilish tajribasi shuni ko'rsatadiki, likopsimon osma izolyatorlar uchun bu koeffitsientning qiymati 1,0 – 1,3 chegarasida yotadi.

Elektr qurilmalarining tashqi izolyatsiyasi va ochiq taqsimlovchi qurilmalarning tayanch izolyatorlari uchun bu koeffitsientning qiymati 3.2 jadvalda keltirilgan.

HRK asosan tashki muhitda o'rnatilgan elektr qurilmalari izolyatorlarining xarakteristikalarini o'rganishda asosiy rol o'ynaydi. HRK ning qiymati yomg'irning kuchiga, uning yo'nalishiga va oqim tezligiga, hamda yomg'ir suvining qarshiligiga bog'lik. HRK ni solishtirish uchun u standartlanadi. Bizda HRK ni aniqlash uchun yomg'ir kuchi 3mm/min, nisbiy qarshiligi $\approx 10^{-4} \text{ Om}\cdot\text{sm}$ ($t=20^{\circ}\text{S}$ da) va yomg'ir suvi oqimining yo'nalishi izolyator o'qiga nisbatan 45° deb qabul qilinadi. Bu shuni bildiradiki, yomg'ir suvining oqimi tomchi strukturasiga ega.

3.2- jadval. Izolyator effektivligini ko'rsatuvchi tuzatish koeffitsienti.

$\frac{L_{sr}}{H}$	1,5 – 2,0	2,0 – 2,3	2,3 – 2,7	2,7 – 3,2	3,2 – 3,5
K	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

H – izolyatsiya konstruksiyasining qurilish uzunligi (balandligi)

Izolyatorning HRK havo namligiga va bosimiga ham bog'liq. Tajriba shuni ko'rsatadiki, HRK ning havo bosimiga qarab o'zgarishi barcha izolyatsiya konstruksiyalari uchun bir xil bo'lmaydi. Razryadning rivojlanishi yo'lida havo oralig'i qancha katta bo'lsa, unga atmosfera bosimining ta'siri shuncha sezilarli bo'ladi. Amalda razryadlanish yo'lining yarmi havo oralig'idan iborat deb qabul qilinadi. Meyorda atmosfera bosimidagi HRK ixtiyoriy bosimdagi HRK bilan o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$U = U_{HRK} \left[0,5 \left(1 + \frac{760}{P} \right) \right]. \quad (3.6)$$

Izolyator sirtida yoychalarning paydo bo'lishiga qadar bo'lgan aktiv qarshilik quyidagi formula yordamida topiladi:

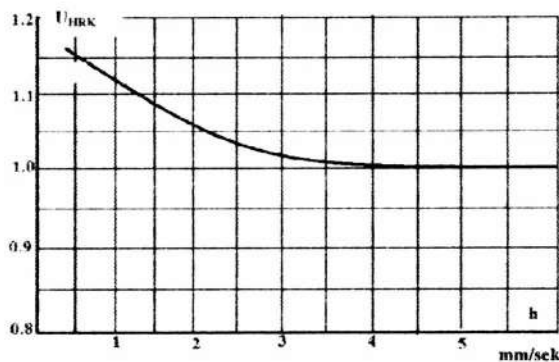
$$R_{sr} = \rho_H \int_0^{L_{sr}} \frac{dl}{\pi D(l) \delta(l)} = \rho_c F, \quad (3.7)$$

bu yerda ρ_c - suv qatlaminin (pardasining) sirtiy solishtirma qarshiligi; L_{sr} - sirg'ish toki yo'lining uzunligi; dl - sirg'ish toki oqish yo'lining elementar bo'lagi; $D(l)$ - l masofaga to'g'ri keladigan izolyatorning diametri; $\delta(l)$ - suv qatlaminin qalinligi; F - izolyatorni xarakterlovchi shakl koeffitsienti.

Diametrning o'sib borishi bilan shakl koeffitsienti va shu bilan birga U_{HRK} ham kamayib boradi. Sirg'ish tokining oqish yo'li uzunlashib borgani sari razryadlanish kuchlanishi shunchalik o'sib boradi. Ho'l

razryadlanish kuchlanishining yomg'ir intensivligi h ga bog'liqlik grafigi 3.2- rasmda keltirilgan. Grafikdan ko'rinadiki yomg'irning kam intensivligida ho'l razryadlanish kuchlanishining sezilarli darajada o'sishi kuzatiladi.

VSX izolyatorlarning sirti toza va quruq bo'lgan holat uchun olinadi. Chunki, yomg'ir izolyatorlarning elektr mustahkamligini impuls kuchlanishlari uchun ozgina bo'lsada ($2\div 3\%$ ga) kamaytiradi. Xarakteristika standart to'liqin uzunligining musbat va manfiy qutblari uchun 1,5/40 mksek rusumli impulsda olinadi. Impuls razryadlanish kuchlanishining meyorlari atmosfera sharoitida (3.5) ifoda orqali aniqlanadi. Kesilish vaqti 10 mksek dan kam bo'lgan kuchlanish to'liqini quyilganda tuzatish koeffitsienti razryadlanish vaqtiga proporsional ravishda kamayadi. Masalan, kesilish vaqti 5 mksek bo'lgan to'liqin uchun tuzatish koeffitsient 1,06 ga teng bo'lib, tuzatish 0,06 ga teng.



3.2- rasm. Yomg'ir intensivligining ho'l razryadlanish kuchlanishiga ta'siri.

qarama-qarshi elektroddan ko'chuvchi qisman yoylanish orqali amalga oshiriladi. Lekin, razryadlanishdan oldingi vaqtni qancha qisqartirsa, ho'llangan izolyatorning suvli qatlamida ajralayotgan issiqlik energiyasi shunchalik tez kamayib boradi. Bir necha metr ga teng bo'lgan izolyatsiya oralig'ida sirpanuvchan razryad butun oraliqni kesib o'tishga ulgurmaydi va kommutatsiya impulslarda razryadlanish kuchlanishi quruq razryadlanish kuchlanishiga yaqinlashib boradi. Xuddu shu

Quruq sirtli
izolyatorga kommutatsiya impulsi ta'sir etganda qoplanish jarayonining shakllanishi yuqorida keltirilgan mexanizm bo'yicha rivojlanadi.

Ho'llangan izolyatorga $t_f = 0,5 - 5 \text{ mksek}$ bo'lgan kommutatsiya to'liqini ta'sir etganda uning qoplanishi tayanch nuqtasi

singari quruq razryadlanish va ho'l razryadlanish kuchlanishlari ham bir-biriga yaqinlashadi.

Kommutatsiya impulsida razryadlanish kuchlanishi quyidagicha ifodalanadi:

$$U_{HR, kom} = K_r U_{HR}.$$

K_r koefitsientning qiymati qancha birga yaqinlashsa, kommutatsiya o'takuchlanishining ta'sir etish vaqti shunchalik kattalashadi va ho'l va quruq razryadlanish kuchlanishlari bir biriga yaqinlashadi.

Nazorat savollari

1. Atmosferaning ifloslanganlik darajasi nechtaga bo'linadi? Ularga qanday hududlar kiradi?.
2. Izolyatsiya orqali sirg'ish toki oquvchi yo'lining uzunligi nimalarga bog'liq holda meyorlanadi?.
3. Havo liniyasi izolyatorining elektrik mustahkamligi nima bilan belgilanadi?
4. Izolyatorning quruq razryadlanish kuchlanishi va ho'l razryadlanish kuchlanishini ta'riflang.
5. Ho'l razryadlanish kuchlanishining havoni namligi va bosimiga bog'liqligini tushuntiring.

3.2. Osmo, tayanch va o'tuvchi izolyatorlarning mexanik xarakteristikallari

Izolyatorlarning mexanik mustahkamligiga bo'lgan talab uning ishlatish davrida ish sharoiti bilan aniqlanadi.

Elektr uzatish liniyasining o'tkazgichlarini izolyatsiya qilishga mo'ljallangan izolyatorlar tortish va o'tkazgichning og'irligi hosil qiladigan yukning ta'siri bilan xarakterlanadi. Bu yuklarning qiymati bir qancha faktorlarga, jumladan, qo'llanilayotgan o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasiga va tayanchlar orasidagi masofaga bog'liq. Bundan tashqari unga atrof muhit haroratsi, yon tomondan esayotgan shamolning kuchi va muz qoplashning mavjudligi ham ta'sir ko'rsatadi. Liniyada qo'llaniladigan bo'rtma (shtirli) uchun asosiy kuch egish kuchi hisoblanadi. Osmo izolyatorlar shodada sharnirli bog'lanishda bo'lganligida ular faqat cho'zuvchan kuch ta'sirida bo'ladi

Taqsimlovchi qurilmalarning va apparatlarning tayanch va o'tuvchi izolyatorlari eguvchi yuk ta'siriga uchraydi. Bu eguvchi kuchlar ekspluatatsiya sharoitida sodir bo'ladigan qisqa tutashuv natijasida paydo bo'ladigan elektrodinamik kuchlar va ajratkichlarning ishlashida paydo bo'ladigan mexanik kuchlar, o'tkazgichlarning tortishi va yon tomondan esayotgan shamolning ta'sirida bo'ladi.

Tayanch, o'tuvchi va liniyaning shtirli izolyatorlari uchun egishga bo'lgan mexanik mustahkamlik meyorlashtirilsa, osma izolyatorlar uchun esa cho'zish kuchiga bo'lgan mexanik mustahkamlik meyorlashtiriladi.

Izolyatorlarning eng asosiy mexanik xarakteristikasi ularning egishga va cho'zishga bo'lgan kafolatlangan mexanik mustahkamligi hisoblanadi. Bu kuch qo'yilayotgan mexanik yuk asta-sekin oshirib borilganda izolyatorda yaqqol ko'zga tashlanadigan nosozlik paydo bo'lgan va uni butunlay yemirilishiga olib keladigan minimal yemiruvchi yuk hisoblanadi.

Ammo yemiruvchi yuk izolyatorlarning mexanik ta'sirga qarshi turish imkoniyatini to'liq aks ettira olmaydi.

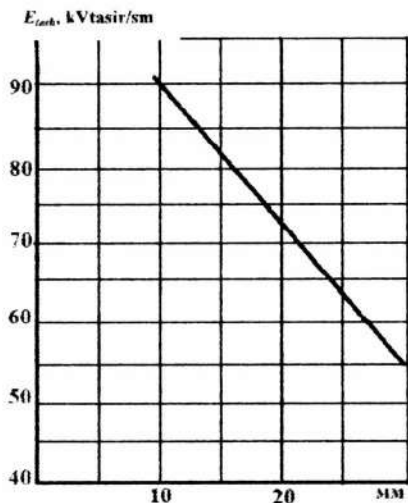
Osma izolyatorlarda to'la yemirilishgacha dielektriklarning shikastlanishi, ya'ni izolyatorlarning temir qolpog'ining tagida mikro yoriqlarning paydo bo'lishi kuzatiladi. Ammo bu mikroyoriqlarni tekshiruvchi bevosita ilg'ay olmaydi. Shuning uchun osma izolyatorlar kombinatsiyalangan usulda tekshiriladi. Bunda bir vaqtning o'zida yukni asta-sekin tekis ko'tarish bilan birga unga quruq razryadlanish kuchlanishining 75 – 80 % to'g'ri keladigan kuchlanish qo'yiladi. Bunda izolyator qolpog'i tagidagi shikastlanish izolyatorning teshilishi yordamida ilg'anadi. Izolyatorni yemirilishiga (buzilishiga) olib keladigan minimal mexanik yuk uning elektromexanik mustahkamligi deyiladi.

Osma izolyatorlarning ekspluatatsiya davrida elektr mexanik mustahkamligini baholaydigan asosiy mexanik xarakteristikasi bir soatlik sinash yuki hisoblanadi. Bu yuk izolyatorning markalashda ko'rsatiladi. Bir soatlik sinov yuklamasi izolyatorning elektromexanik mustahkamligini taxminan 75% qismini tashkil etadi. Sinash bir vaqtning o'zida izolyatorga mexanik yuk bilan quruq razryadlanish kuchlanishining 75 – 80% qismini qo'yish yo'li bilan amalga oshiriladi. Izolyator shunday yukka bir soat ichida shikastlanmasdan chidashi kerak. Amalda esa osma izolyatorlar uchun ekspluatatsiya paytidagi

maksimal ruxsat etiladigan yuklama bir soatlik sinash yukining yarmini tashkil etadi.

Izolyatorning elektrik va mexanik xarakteristikalar, hamda uning konstruksiyasi ko'p jihatdan unga qo'llanilgan materialga bog'liq. Izolyatorlar dielektrlardan, metal armaturadan va dielektrik bilan armaturani birlashtiruvchi bog'lovchi materialdan iborat bo'ladi. Izolyatorlar tayyorlanadigan dielektrlar asosan yuqori elektrik va mexanik mustahkamlikka, hamda atmosfera ta'siriga chidamli bo'lishi kerak. Bu talablarga elektrotexnik chinni (farfor), shisha va bakalizlangan qog'ozlar javob beradi. Armaturalarga asosan cho'yan, rangli metal va po'lat qo'llaniladi. Farfor izolyator devorining qalinligi oshishi bilan uning xarakteristikasi ham yomonlashadi, ya'ni uning teshilish elektr maydon kuchlanganligi gradienti kamayadi. Qalinligi 1,5 mm elektrotexnik chinni namunaning elektrik mustahkamligi $22 \div 28$ kV/mm ga teng. Izolyatorlarda elektr maydon bir jinsli bo'lmagan, shuning uchun chinnining o'rtacha elektrik mustahkamligi yanada pasayadi. Buning tasdig'i sifatida 3.3- rasmda bir jinsli bo'lmagan maydonda o'zgaruvchan kuchlanishda chinni namunaning o'rtacha elektrik mustahkamligining chinning qalinligiga bog'liqligi keltirilgan. Impuls kuchlanishlarda esa chinnining elektrik mustahkamligi sanoat chastotasidagidan 50-70% ga yuqori bo'ladi.

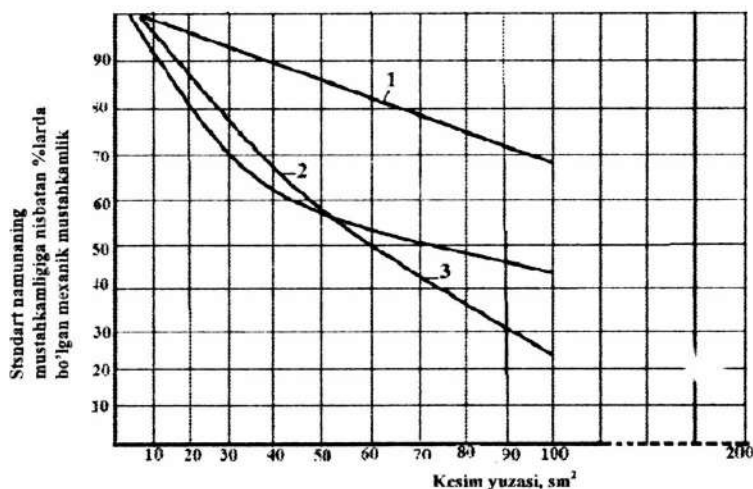
Chinnining mexanik mustahkamligi deformatsiyaning turiga bog'liq. Chinni siqilishga yaxshi chidasa, egilishga yomon chidaydi. Sirlangan chinni izolyator namunasining 2-3 sm qalinlikdagisi 4500 kG/sm² siqish kuchiga chidasa, cho'zish va tortishga esa 700 - 300 kg/sm² ga chidaydi. Chinni izolyatorning mexanik mustahkamligi uning armaturasining konstruksiyasiga va armaturaning chinni bilan bog'lanishiga bog'liq va kesim yuzasi kattalashishi bilan kamayib boradi. Shuni ta'kidlash lozimki, mexanik mustahkamlikning kamayishi chuzishga va siqishga bo'lgan mustahkamlikka nisbatan kattaroq bo'ladi. Misol tariqasida, silindr ko'rinishdagi chinning mexanik mustahkamligini ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liqligi 3.4- rasmda keltirilgan. Chinni izolyatorlarning hozirgi vaqtda qo'llaniladigan qalinligi 30-40 sm oralig'ida olinadi. Agar bu qalinlik mexanik va elektrik mustahkamlik bo'yicha yetarli bo'lmasa, unda konstruksiyalar majmuasi qo'llaniladi. Faqat sterjen ko'rinishdagi izolyatorlarda teshilish ehtimoli juda kam bo'lganligi sababli ularda qalin devorlar qo'llaniladi.



3.3- rasm. Chinnining 50 Gts chastotali o'zgaruvchan kuchlanishli bir jinsli bo'lmagan maydonda hisobiy elektrik mustahkamligi

O'tuvchi izolyatorlarda faqat tashqi qoplama chinnidan tayyorlanadi. Bunday izolyatorlarda ichki izolyatsiya sifatida transformator moyi, qog'oz qo'llaniladi. Izolyatsiyalovchi massa tashqi atmosfera ta'siridan tashqi qoplama yordamida himoyalanaadi.

Izolyatorlarda chinnining mexanik mustahkamligi armaturaning konstruksiyasiga va uning chinni bilan bog'lanishiga bog'liq va u har doim chinnining kesim yuzasini ko'payishi bilan pasayib boradi (3.4- rasm).



3.4- rasm. Silindr shaklidagi chinnining mexanik mustahkamligini ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liqligi: 1 - siqishga; 2 - cho'zishga; 3 - egishga.

Hozirgi vaqtda ko'pincha elektr sistemada qo'llanilayotgan shirli va likopsimon izolyatorlar shishadan yasalmogda. Chunki shisha o'zining elektrik va mexanik xarakteristikolari bo'yicha elektrotexnik chinnidan qolishmaydi. Lekin shishaning elektrik va mexanik mustahkamligi asosan uning kimyoviy tarkibiga bog'liq.

Shishaning tarkibida yeriydigan ishqorlarning mavjudligi izolyator sirtining gigroskopiklini oshiradi, va unga mos ravishda sirtiy o'tkazuvchanlik kupayadi. Shuning uchun ishqorli shishaning xarakteristikolari kam ishqorlinikiga qaraganda ancha past bo'ladi. Masalan, ishqorli shisha izolyatorning elektrik mustahkamligi 17,9 kV ta'sir etuvchi/mm ni tashkil etsa, kam ishqorliniki esa 48 kV ta'sir etuvchi/mm ni tashkil etadi, ya'ni uning elektrik mustahkamligi chinninikida 2 marta ko'p.

Tarkibida ishqori bo'lgan shishaning elektr o'tkazuvchanligi ionli xarakterga egaligi sababli shisha kuchlanish ostida ishlaganda unda elektrolizning rivojlanishi va izolyatorning yemirilishi kuzatilishi mumkin. Shu sababdan ko'p ishqorli shishadan tayyorlangan izolyatorlar yuqori o'zgarmas tok kuchlanishlarida qo'llanilmaydi. O'zgaruvchan kuchlanishda elektroliz deyarli kuzatilmaydi va natijada izolyatorning sekin eskirishi kuzatiladi.

Ko'p ishqorli shishaning haroratdan kengayish koefitsienti katta va shu sababdan ekspluatatsiya sharoitida haroratning keskin farqining ta'sirida buziladi. Bu kamchilik ularning ishlatish sohasini toraytirib uni faqat ichki binolarda qo'llashga imkon beradi.

Tashqi muhitda o'rnatilgan izolyatorlar kam ishqorli shishadan tayyorlanib, uning elektrodinamik xarakteristikalarini yaxshilash maqsadida kuydiriladi. Shishani yuqori haroratgacha (ishqorli uchun 650⁰ S, kam ishqorli uchun 780⁰ S) qizdirilib, keyin sovuq havoda toblanadi.

Tayanch va o'tuvchi izolyatorlar bakalizlangan qog'ozdan tayyorlanadi. Yuqori haroratda qog'oz bakalit loki bilan to'yintiriladi va qatlam-qatlam qilinib trubkasimon qilib o'raladi. So'ngra unga qog'ozga maxsus pechlarda termik ishlov berilishi natijasida bakalit singdirilib, u yerimaydigan va bo'shashmaydigan holatga o'tadi. Izolyatorning ustki qismi loklanadi.

Past kuchlanishli (1000 V gacha) liniyalarda o'tkazgichlarni tayanchlarga mahkamlash va izolyatsiyalash uchun eng oddiy SHF yoki SHS rusumli izolyatorlar qo'llaniladi. Kuchlanishi 35 kV bo'lgan havodagi elektr uzatish liniyalarda elektrik mustahkamlikni ta'minlash

uchun shtirli izolyatorlar yoki likopsimon izolyatorlar shodasi qo'llaniladi.

Kuchlanishi 6-10 kV bo'lgan havodagi elektr uzatish liniyalarida SHF yoki SHS rusmli izolyatorlar qo'llaniladi. Bu izolyatorlarni tayanchga o'rnatilgan armaturaga mahkamlashda suyuqlik shimdirilgan ip qo'llaniladi. O'tkazgichni tortishda ilgak buralib ketmasligi uchun ilgakning o'qi va o'tkazgich o'qi bir tekislikda yotadigan qilib yasaladi. Izolyatorning elektrik teshilishga bo'lgan mustahkamligi uning QRK ga nisbatan 30 - 40% ga yuqoriroqdir. Yomg'irda izolyatorning ustki qismi butunlay ho'llanishi va uning pastki qismi quruq qolishi natijasida hamma kuchlanish tashqi qovurg'a oxiri bilan shtir orasiga qo'yilgan bo'ladi. Natijada uning diametrini qanchalik kattalashtirishdan qa'tiy nazar ($\frac{D}{H} = 1,35$) uning ho'l razryadlanish kuchlanishi quruq razryadlanish kuchlanishidan taxminan ikki marta kichikligicha qoladi.

Hozirgi davrda ishlatilayotgan osma izolyatorlarning keng tarqalgan tipi likopsimon izolyatorlar hisoblanadi. Ularning asosini chinni yoki shisha tashkil etadi. Likopsimon izolyatorlarning o'rta qismi tepaga salgina egilgan bo'lib uni izolyatorning boshi deyiladi va unga cho'yandan qo'yilgan qalpoq mahkamlanadi. Bosh qismidagi kovakka po'lat sterjen kiritiladi. Armatura bilan dielektrik o'zaro maxsus sement (masalan, portland 400-500 markali sement) bilan biriktiriladi. Izolyatorlarni shodaga ulash sterjenning qalinlashtirilgan uchini ikkinchi izolyatorning qalpog'iga kiritish bilan amalga oshiriladi. Bu holda asosiy mexanik yukni izolyatorning bosh qismi qabul qiladi. Shuning uchun hozirgi vaqtda qo'llanilayotgan izolyatorlar o'zaro bir-biridan bosh kismining shakli bilan farqlanadi. Bizda eng ko'p tarqalgan izolyatorlarning bosh qismi konus shaklida. Agar bu holda konuslanish burchagi to'g'ri tanlangan bo'lmasa, ya'ni konuslanish burchagi 10-13 gradusdan kichik bo'lsa, u izolyatorga qo'shimcha yuklama hosil qiladi.

Likopning yuqori qismining gorizontal chiziqqa nisbatan qiylanishi 5-10 gradus qilib yasalishi yomg'ir suvlarining oqib tushishini ta'minlaydi.

Chinni sterjenning diametri bir xil qalinlikda bo'lib, cho'zilishga bo'lgan mustahkamligi 130-140 kG/sm qilib olinadi va mo'ljallangan mexanik mustahkamlikka qarab tanlanadi.

Sterjen ko'rinishidagi izolyatorlarni qo'llash likopsimon izolyatorlarga nisbatan metallni iqtisod qilinishiga va izolyatorlar shodasi

vaznining yengil bo'lishiga olib keladi. Misol uchun 110 kV kuchlanishga mo'ljallangan PS-4,5 izolyatordan tashkil etilgan shodaning og'irligi 48 kg bo'lsa, shu kuchlanishdagi va u bilan bir xil mexanik mustahkamlikdagi sterjen turidagi izolyatorning og'irligi 23 kg ga teng. PS-4,5 rusmli izolyator armaturasining og'irligi 15 kg bo'lsa, sterjen tipidagisidiki esa 3,5 kg teng.

Yuqori darajada ifloslangan va ho'llangan sharoitlarda izolyatsiyaning ishonchli ishlashini oshiradigan ekspluatatsiya tadbirlariga ularni yuvish yoki izolyatorlarni tozalash va gidrofob qobiqlarni qo'llash hisoblanadi.

Podstansiya izolyatsiyasining ifloslanishini oldini olishning asosiy himoya usuli uni tozalash, ya'ni izolyatorlarni suv yoki eritgich bilan ho'llangan latta yordamida qo'lda tozalash hisoblanadi. Havo elektr uzatish liniyalarida izolyatorlarni qo'lda artib tozalash juda kam holatlarda qo'llaniladi. Asosan u sanoat ifloslanishlari bo'lgan uchastkalarda qo'llaniladi, u juda ko'p mehnat talab qiladigan tadbir hisoblanadi. Bundan tashqari, ishlar elektr uzatish liniyasidan kuchlanish olingan paytlarda bajariladi.

Izolyatorlarni suv bilan yuvish uncha katta mehnat talab qilmaydi, shu bilan birga solishtiradigan bo'lsak kuchlanishi 500 kV bo'lgan liniyaning bitta izolyatorini qo'lda tozalashga 40 minut ketsa, maxsus yuvish usuli qo'llanilganda bu 1-1,5 minutni tashkil etadi. Ammo hamma ifloslanishlarni ham suv bilan yuvib tozalab bo'lmaydi, masalan, sement qatlamini.

Tozalashlar orasidagi intervalni kattalashtirish va tozalashni yengillashtirish uchun qattiq plenka ko'rinishidagi gidrofob qoplanishlar yoki KV – 3 rusmli yopishqoq vazelin bilan qoplanadi. Ulardan eng samaralisi yopishqoq qoplanish hisoblanadi, chunki ifloslanishning oldini olishdan tashqari suvni o'zidan itarishi tufayli ifloslanishni kamaytiradi va uni qullashning effektiv intervali 1.5 – 2 yil hisoblanadi..

Izolyatorlar mustaqil konstruksiya kabi tashqi izolyatsiyadan tashqari ichki izolyatsiyaga ham ega. Izolyatorlarning ishdan chiqishining asosiy sababi dielektrikda uning eng katta mexanik kuchlanishli bo'lgan qalpog'ining tagida yoriqlarning paydo bo'lishi bilan bog'liqdir. Chinnida paydo bo'lgan yoriq asta-sekin kattalashib, mexanik kuchning ta'sirida ishchi kuchlanishda ham teshilishga olib kelishi mumkin.

Nazorat savollari

1. Osma, tayanch va o'tuvchi izolyatorlar qayerlarda qo'llaniladi?
2. Izolyatorning asosiy mexnik xarakteristikalariga nimalar kiradi?
3. Izolyator uchun bir soatlik sinov yuklamasi nima? U izolyatorning elektromexanik mustahkamligini qanday qismini tashkil etadi?
4. Osma izolyatorning tuzilishini tushuntiring.
5. Havo liniyalarida qanday materiallardan yasalgan izolyatorlar qo'llaniladi?
6. Chinni izolyatorning mexanik mustahkamligi nimalarga bog'liq? Izolyatorning ko'ndalang kesim yuzasi kattalashuvi bilan uning mexnik musathkamligi qanday o'zgaradi?
7. Shisha izolyatrlarning asosiy kamchiligi nimadan iborat?
8. Osma izolyatorlar qanday kuchlanishli havo liniyalarida qo'llaniladi?
9. Shtirli izolyatorlar qanday kuchlanishli havo liniyalarida qo'llaniladi?

3.3. Qattiq, suyuq va kombinatsiyalangan izolyatsiyaning elektr mustahkamligi

Elektr mashinalari, apparatlari va izolyatorlarining ichki izolyatsiyasi tarkibi qattiq va suyuq dielektriklardan iborat bo'ladi. Bu dielektriklar yuqori elektr mustahkamlikka ega. Bu esa izolyatsiya konstruksiyasini nisbatan kichik o'lchamlarda bajarishga imkon beradi. Konstruktorlar va texnologlarning kuchi doimo qo'llanilayotgan dielektriklarning elektr mustahkamligini yangi materiallar va yangi texnologik jarayonlarni qo'llash hisobiga oshirishga yo'naltirilgan.

Ichki izolyatsiyaga qo'yiladigan talablardan biri dielektrik isrof va o'tkazgich orqali oqayotgan tok ta'sirida ajralayotgan issiqlikni dielektrikdan tashqi muhitga uzatish hisoblanadi. Shuning uchun qattiq dielektrikning muhim xarakteristikalaridan biri uning issiqlik o'tkazuvchanligi hisoblanadi. Ko'pgina elektr qurilmalarida, masalan, transformatorlarda va moy to'ldirilgan kirishlarda barcha ajralib chiqayotgan harorat suyuq dielektrikning konveksiyasi natijasida tashqi muhitga uzatiladi.

Ichki izolyatsiyaga odatda mexanik yuk ham ta'sir etadi. Masalan, qisqa tutashuv paytida paydo bo'ladigan va keskin o'sib ketadigan zarbaviy elektrodrinamik kuchlar. Bu mexanik yukni asosan qattiq dielektriklar ko'taradi, shuning uchun ular yetarli darajada mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi kerak.

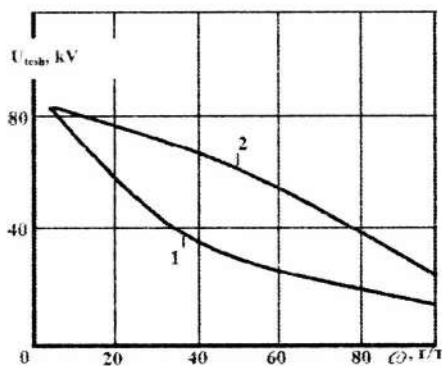
Ma'lumki, har qanday material gazsimon, suyuq va qattiq holatda bo'lishi mumkin. Qattiq dielektrlarda, ya'ni umuman qattiq jismlarda atomlar va molekulalar juda yaqin joylashgan bo'ladi, bu esa uning shaklini saqlanishini ta'minlaydi. Atomlarning issiqlikdan harakati ularning muvozonat atrofida tebranishi ko'rinishida namayon bo'ladi. Qattiq dielektriklar kristal va amorf ko'rinishda bo'lishi mumkin.

Suyuq dielektrlarni qaraydigan bo'lsak ular tabiiy (neftli va kostor moyi) va sintetik (xlorlashtirilgan uglerodlar va kremniyorganik suyuqlik) bo'lishi mumkin.

Hozirgi vaqtda elektr qurilmalari izolyatsiyasida tabiiy suyuq neftli moylar keng tarqalgan. Ular neftga vakuum ostida qayta ishlov berish jarayonida olinadi va har xil fraksiyalarga bo'linib ketadi. Bu fraksiyalardan biri mazut bo'lib uni takroran qayta ishlanganda salyarkali distilyant olinadi. Uning tarkibidagi smola, sulfat va boshqa zarrali aralashmalarni ajratish uchun avvalo distilyant kuchli sulfat kislotasi bilan qayta ishlanib keyinchalik ishqor yordamida neytrallanadi, keyinchalik esa suv bilan yuviladi va issiq havo purkalib quritiladi.

Yaxshi tozalangan moyning elektr mustahkamligi gazlarning elektr mustahkamligidan yuqori bo'lib, qattiq dielektrlarning elektr mustahkamligiga yaqinlashadi. Bir jinsli elektr maydonida elektrodلarga razryadlanish kuchlanishi qo'yilganda dastlab alohida o'z-o'zidan so'ndigan uchqunlar paydo bo'ladi. Moy tarkibida gazning mavjudligi va moyning bug'lanishidan razryad bilan isitishda razryadning rivojlanishiga ko'maklashadigan gazli po'fakchalar paydo bo'ladi. Kuchlanishni yanada oshirib borsak uchqunning paydo bo'lishi tezlashib keyinchalik turg'un elektrik teshilish sodir bo'ladi.

Razryadlanish vaqti 1000 mksekundgacha bo'lgan kuchlanish impulslarida moyning teshilishi faqat elektrik bo'ladi. Razryadlanish vaqti 1000 mksekundan katta bo'lgan kuchlanish impulslarida dielektrikning elektr mustahkamligiga va teshilishning rivojlanish xarakteriga moyning ifloslanishi va ho'llanishi katta ta'sir ko'rsatadi. Moyda namlik uch xil ko'rinishda bo'lishi mumkin: moyda yerigan holatda; emulsiya ko'rinishida va idish tagida cho'kma ko'rinishida.



3.5-rasm. Atrof muhit temperasturasi 25°S va 50 Gts da transformator moyining teshilish kuchlanishini namlikka bog'liqligi: 1 – tarkibida 50 g/t kontsentratsiyali qattiq birkmalar mavjud bo'lgan texnik toza moy uchun; 2 – tarkibida 0,5 g/t kontsentratsiyali qattiq birkmalar mavjud bo'lgan texnik toza moy uchun.

kuchlanishi keskin pasayib ketadi. Bunda qog'oz, karton tolasi, kalavalar o'tkazuvchan ko'priknining paydo bo'lishini yengillashtiradi.

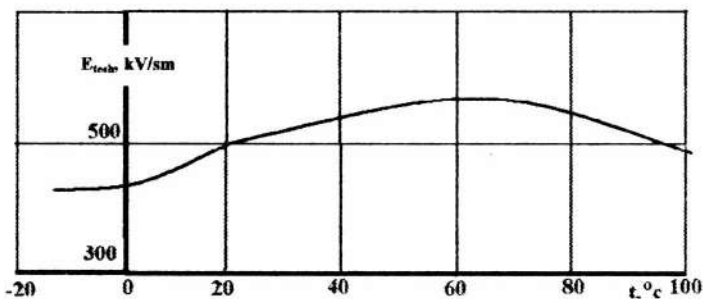
Moyning tarkibida yeritilgan suv va suv emulsiya miqdori chegaralangan. Moyning tarkibida namlik 0.02% dan ortiq bo'lsa, u idish tagiga cho'kadi. Cho'kmaning paydo bo'lishi moyning elektr mustahkamligiga unchalik ta'sir etmasa ham uning izolyatsiyalovchi xususiyatini keskin pasaytirib yuboradi.

Moyning harorati $50 - 60^{\circ}\text{S}$ gacha oshganda uning elektr mustahkamligi oshib ketadi. Buning sababi harorat ta'sirida emulsiya yerib, molekulyar – yeritma ko'rinishiga kelishidir. Haroratning keyingi oshishi namlikning bug'lanishiga va buning natijasida moyda suv po'faklari-nining paydo bo'lishi orqali moyning elektr mustahkamligini kamayishiga olib keladi (3.6- rasm).

Elektrodlar orasidagi qattiq dielektrik moyda ham xuddi gazdagidek joylashadi. Shu sababli sirtiy razryadlanishning xususiyati ikkala holatda ham sifat jihatdan bir-biriga o'xshashdir. Ammo gazning va moyning fizikaviy–kimiyo-viy farqi razryadlanishning bir qator xarakterli xususiyatlarini belgilaydi.

Tajriba shuni ko'rsatadiki, molekulyar yerigan suv moyning elektr mustahkamligiga unchalik ta'sir etmaydi. Shu bilan birga moyda emulsiyalangan suvning juda kam foizda bo'lishi ham uning elektr mustahkamligini sezilarli darajada pasaytiradi (3.5-rasm). Buni shu bilan izohlash mumkinki, elektr maydon ta'sirida emulsiyali suv po'fakchalari qutblanadi va elektr maydon kuch chiziqlari bo'ylab o'tkazuvchan ko'pri-k hosil qilib, saflanadi.

Agar moyning tarkibida gigroskopik ifloslanishlar mavjud bo'lsa, razryadlanish



3.6- rasm. Zaif bir jinsli bo'lmagan maydonda transformator moyining teshilishi kuchlanishining haroratga bog'liqligi.

Moyning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi $\varepsilon'_s = 2,2 \div 2,4$ bo'lib, u atmosfera havosinikidan ($\varepsilon'_s = 1$) ancha katta va qattiq dielektrikning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi ($\varepsilon'_s = 3 \div 8$) ga yaqinlashadi. Shuning uchun bir xil o'lchamda va bir shakldagi elektrodlar va dielektriklarga ega bo'lgan elektr maydonining taqsimlanishi moyda gazdagiga qaraganda tekisroq bo'ladi. Maydonning tekisroq taqsimlanishi tufayli moyning hajmiy elektrik mustahkamligi gaznikiga qaraganda yuqoriroq bo'ladi.

Dielektrik sirtida ishchi kuchlanishda tojlanishning va, ayniqsa, sirpanuvchan razryadning rivojlanishiga yo'l qo'yib bo'lmaydi. Bu, ayniqsa, organik materiallar uchun ahamiyatlidir, chunki ular yuqori harorat va kimyoviy aktiv moddalar ta'sirida yemiriladi.

Qattiq dielektrlarda ham xuddi gazlardagidek teshilish elektronlarning elektr maydon ta'sirida tezlashishi bilan bog'liq. Yana shuni ta'kidlash lozimki, qattiq jismlarda yerkini elektronlarning harakati murakkab xarakterga ega. Shuning uchun teshilish jarayonini matematik ifodalash juda qiyin masala hisoblanadi.

Shuni ta'kidlash lozimki, qattiq dielektrlarga mos keladigan xususiyat gazsimon va suyuq dielektrlarnikiga nisbatan farqli ravishda kuchlanish olingandan so'ng uning elektrik mustahkamligi tiklanmaydi.

Agar qattiq dielektrikka amplitudasi uncha katta bo'lmagan qisqa muddatli kuchlanish impulsi (chaqmoq yoki kommutatsiya) qo'yilganda unda mikroskopik yoriqlar paydo bo'ladi. Ayrim amorf dielektrlarda,

masalan, shishada, konifolda, selluloidda yoriqlar o'z-o'zidan yopilib ketadi.

Ko'pchilik qattiq dielektrlarda esa takroriy razryadlanish oldin-gisining izidan rivojlanib mikroyoriqni kattalashtiradi. Shu sababdan qo'yilgan kuchlanish impulsar soni oshib borgan sari dielektrikning teshilish kuchlanishi pasayadi. Izolyatsiyada shikastlanishlarning yig'ish xususiyatiga komulyativ effekt deyiladi.

Izolyatsiyaning teshilish kuchlanishi pasayishining ta'sir etishlar soniga bog'liqligi kommulyativlik koeffitsienti bilan baholanadi va u bir marta etilgan teshilish kuchlanishining ko'p marta ta'sir etilgan teshilish kuchlanishga nisbati bilan aniqlanadi:

$$K_{Kom} = \frac{U_{K1}}{U_{Kn}}. \quad (3.8)$$

Qattiq dielektrikning elektrik mustahkamligi na'munaning qalin-ligiga deyarli bog'liq emas, ya'ni teshilish kuchlanishi dielektrikning qalinligiga proporsional ravishda o'sib boradi. Bu qonuniyatdan chetlashish faqat juda yupqa (mikron qalinlikdagi) dielektrlarda kuza-tiladi va bunday qalinlikda teshilishda elektr maydon kuchlanganligi E_{resh} keskin o'sib ketadi.

Qattiq izolyatsiyaning impuls teshilishining xususiyati, unda tik-lanmaydigan qisman yemirilishi (buzilishi) va asta-sekin uning elektrik mustahkamligining pasayishiga olib keladigan qisman razryadlarning paydo bo'lishidir.

Izolyatsiyaga qo'yilgan kuchlanish ta'sirida har qanday real izolyatsiyada mavjud uncha katta bo'lmagan o'tkazuvchanlik va ayrim qutblanishlarda energiyaning sochilishi tufayli unda dielektrik isrof paydo bo'ladi. Dielektrik isrof hisobiga izolyatsiyada qo'shimcha qizish kuzaktiladi.

Izolyatsiyadagi dielektrik isrofning quvvati quyidagi ifoda bilan topiladi:

$$P_D = \omega C U^2 \operatorname{tg} \delta, \quad (3.9)$$

bu yerda ω - aylanma chastota; C – qaralayotgan izolyatsiyaning sig'imi; $\operatorname{tg} \delta$ - izolyatsiya orqali oqayotgan aktiv tokning sig'im tokiga nisbatiga teng bo'lgan dielektrik isrofning tangens burchagi; U - ta'sir etayotgan kuchlanish.

Ko'pchilik turdagi ichki izolyatsiyalarda harorat oshgani sari quyidagi ifoda bilan aniqlanadigan dielektrik isrof $\operatorname{tg} \delta$ ham oshib boradi:

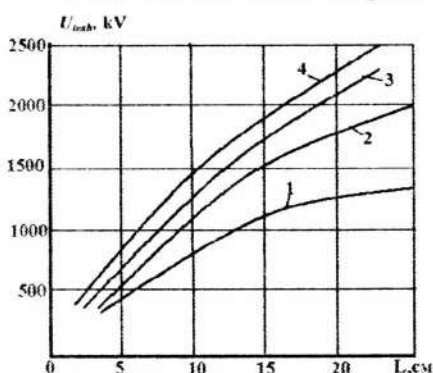
mustahkamligini birinchi moy kanalining teshilish kuchlanishi bilan xarakterlaymiz.

Kombinatiyalangan izolyatsiyaning yana bir ko'rinishi qog'ozli – moyli izolyatsiya (QMI) bo'lib bir nechta ketma-ket ulangan moy singdirilgan qog'oz va qog'oz o'ramlarining orasidagi moy qatlamidan iborat. Texnologik jihatdan qog'oz o'ramiga moy shimdirilib tayyorlanadi. Shuning uchun QMI yana qog'ozli – shimdirilgan deb yuritiladi. Hozirgi vaqtda QMI o'zining sifati va elektrik mustahkamligi bo'yicha eng yuqori izolyatsiya hisoblanadi. Agar $\frac{E_M}{E_K} = \frac{\epsilon_K}{\epsilon_M} \approx 1,7$ bo'lsa,

moyning elektrik mustahkamligi qog'oznikidan past bo'ladi. Shuning uchun QMIning teshilish kuchlanganligi moy qatlamining teshilish kuchlanganligi bilan aniqlanadi.

Transformatorning MTI teshilish kuchlanishining past kuchlanish (PK) va yuqori kuchlanish (YuK) chulg'amlari orasidagi masofaga teshilish kuchlanishining eksperimental bog'liqligi 3.9- rasmda keltirilgan. Ular quyidagi empirik formulalar yordamida aks ettiriladi:

50 Gts chastota bilan o'zgaruvchi kuchlanishda



3.9- rasm. MTI ning teshilish kuchlanishining maksimal qiymatining chulg'amlar orasidagi masofaga bog'liqligi: 1 - $f = 50$ Gts, $t = 1$ min; 2 - 600/1600 mks impulslarda; 3 - 1.2/50 mks impulslarda; 4 - kesilgan impulslar $t = 2 - 3$ mks.

$$U_{tesh} = 40d(1 + \frac{2,14}{\sqrt{d}}), \quad (3.12)$$

1,2/50 mks to'liq chaqmoqli impulslarda

$$U_{tesh} = 82,5d(1 + \frac{2,14}{\sqrt{d}}), \quad (3.13)$$

kesilgan chaqmoqli impulslarda

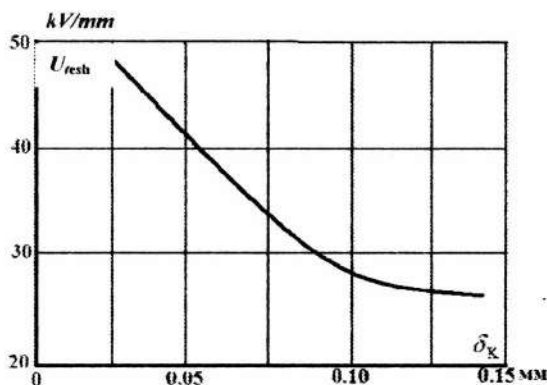
$$U_{tesh} = 93,2d(1 + \frac{2,14}{\sqrt{d}}). \quad (3.14)$$

Agar ikki qatlamli dielektrikka U kuchlanish qo'yilgan bo'lsa, moyli qatlamdagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha aniqlanadi:

$$E_M = \frac{UC_K}{\delta_M(C_M + C_K)} = \frac{UE_K}{\epsilon_M \delta_K + \epsilon_K \delta_M} \quad (3.15)$$

Dielektrikdagi o'rtacha maydon kuchlanganligi E_o , quyidagicha

aniqlanadi:



3.10- rasm. Qog'ozli moyli izolyatsiya uchun elektr maydonining teshilish kuchlanganligining qog'oz qalinligiga bog'liqliligi

$$E_{br} = \frac{U}{\delta_k + \delta_m}. \quad (3.16)$$

U holda ularning nisbati quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{E_m}{E_k} = \frac{\epsilon_k (1 + \frac{\delta_m}{\delta_k})}{\epsilon_m + \epsilon_q \frac{\delta_m}{\delta_k}}. \quad (3.17)$$

Teshilish maydon kuchlanganligining qog'oz qalinligiga bog'liqliligi 3.10- rasmda keltiril-gan.

Nazorat savollari

1. Qattiq, suyuq va kombinatsiyalangan izolyatsiyaga misollar keltiring.
2. Moyning ifloslanishi va uning tarkibida namlikning oshishi izolyatsion xususiyatiga qanday ta'sir ko'rsatadi? Sababini tushuntiring.
3. Izolyatsiyadagi dielektrik isrofning quvvati qanday topiladi?
4. Dielektrikdagi isrof atrof-muhit haroratiga bog'liqligining sababini tushuntiring.
5. Bir jinsli bo'lmagan maydonda to'siqning o'rnatilishi elektrik mustahkamlikka qanday ta'sir ko'rsatadi?
6. Moyli qatlamlar va dielektrlarda o'rtacha maydon kuchlanganligi qanday aniqlanadi?

3.4. Stantsiya va podstantsiya elektr qurilmalari izolyatsiyasining xarakteristikallari va konstruksiyalari

Stansiya jihozlarining izolyatorlari bir-biridan konstruksiyasi va mo'ljallanishi bo'yicha keskin farqlanadigan ikkita guruhga – tayanch va o'tuvchi izolyatorlarga bo'linadi. Tayanch izolyatorlari elektr apparatlari va taqsimlovchi qurilmalarning tok o'tkazuvchi qismlarini elektrik izolyatsiyalashga va mexanik mahkamlashga xizmat qiladi. O'tuvchi izolyatorlar kuchlanishni transformatorlarning metal baklariga,

mayli o'chirgichlarga, kondensatorlarga va boshqa apparatlarning ichiga kiritishda korpusdan hamda taqsimlovchi qurilmalarning devorlaridan shinalarni izolyatsiyalashda qo'llaniladi. Apparatlarning o'tuvchi izolyatorlarini ko'pincha «Kirishlar» deb nomlashadi. Ular stansiyaning o'tuvchi izolyatorlaridan biroz farq qiladi.

Podstansiya izolyatsiyasining sathi unga ta'sir etayotgan chaqmoqli va ichki, aynan kommutatsiya o'takuchlanishi va maksimal ishchi kuchlanish bo'yicha koordinatsiyalanadi. Chaqmoqli va ichki o'ta kuchlanishlar amplitudasi bo'yicha ventilli razryadlagichlar (RV) va nochiziqli o'ta kuchlanishni chegaragichlar bilan chegaralanadi. Ular podstansiya apparatlarini asosiy himoyalovchi elementi hisoblanadi. Har bir davlatda elektr izolyatsiyasining sathi davlat standarti bilan reglamentlanadi.

Podstansiyaning elektr qurilmalarini impulsli sinash kuchlanishi 3.3- jadvalda keltirilgan.

Izolyatsiya sathi ko'p faktoriarni hisobga olib tanlanadi. Masalan, RVlarning himoya xarakteristikasini, u tarmoqning qaysi nuqtasida o'rnatilishini hisobga olib ko'p sathli qilib tanlanadi.

Podstansiya elektr qurilmalarining sinash kuchlanishi shunday tanlanadiki, podstansiyaning RV himoyalangan sxemasida izolyatsiyaning atmosfera o'ta kuchlanish to'liqini bilan shikastlanishi sodir bo'lmasin.

3.3- jadvaldagi suratda to'liq, maxrajda esa kesilgan kuchlanish to'liqlarining qiymati keltirilgan. To'liq to'liq standart shaklga ($1,5/40$ mksek), kesilgan to'liq ham standart shaklga ega bo'lib $t_p = 2 \div 3$ mksek. Impuls bo'yicha sinash tipik shaklda bajarilib ta'sir etayotgan har bir qutbiga uch marta sinash bajariladi. Sinash kuchlanishining qiymati ichki va tashqi izolyatsiyalar uchun har xil o'rnatiladi.

Transformatorlar va reaktorlar uchun ishchi kuchlanishda qo'zg'atilmagan sinash impuls kuchlanishining qiymati ko'rsatiladi.

To'liq va kesilgan sinash kuchlanish impulsining shakli izolyatsiyaga ta'sir etayotgan real shaklga mos kelmaydi. Shu sababdan izolyatsiya uchun impuls sathining grafigi tavsiya etiladi. Kuchlanishning maksimal ruxsat etiladigan amplitudaviy qiymati to'liq va kesilgan kuchlanish impulslarining orasida yotadi va u 3.4- jadvalda keltirilgan. Razryadlanish vaqtining $t_p = 2 \div 3$ mksek qiymatida grafikdagi egri chiziqli sinash kuchlanishigacha sekin silliq pasayadi.

3.3- jadval. Podstansiyaning elektr qurilmalarini impulsli sinash kuchlanishlari.

Kuchlanish , kV	Maksimal ishchi kuchlanish, kV	Ichki izolyatsiyani sinash kuchlanishi, kV		Tashqi izolyatsiyani sinash kuchlanishi, kV	
		Apparat- lar	KT, Kuch tr., shuntlovchi reaktorlarni quzg'atilmash- dan sinash	To'liq yig'ilgan apparatlar va tr-rlar	Alohida sinalayotgan izolyatorlar
3	3.6	42.0	43.5/50	42/50	44.52
6	6.9	57.0	60/70	57/70	60/73
10	11.5	75	80/90	75/90	80/100
15	15.5	100	108/120	100/120	105/125
20	23	120	130/150	120/150	125/158
35	40.5	180	200/225	185/230	195/240
110	126	425	490/550	460/470	480/600
150	172	585	660/760	630/785	660/825
220	252	585	945/1090	900/1130	950/1190
330	363	1100/1300	1200/1300	1050/1150	1200/1400
500	525	1500/1800	1675/1800	1500/1800	1500/1800
750	787	2100/2600	2300/2500	2100/2600	2100/2600

3.4- jadval. Kuchlanishning maksimal ruxsat etilgan amplitudaviy qiymati.

U_n , kV	35	110	150	220	330	500
U_{md} , kV	210	470	650	920	975	1430

Ichki o'takuchlanish bo'yicha izolyatsiyani muvofiqlashtirish ventilli razryadlagichlarning ichki o'ta kuchlanishdagi maksimal kuchlanishi uchqun oralig'ining ishchi chastotadagi teshilish kuchlanishi U_{isch} bo'yicha aniqlanadi. RVning ishchi qarshiligidagi qoldiq kuchlanish ichki o'ta kuchlanish ta'sir etganda odatda teshilish kuchlanishidan past. Bu holda RV va himoyalalanayotgan izolyatsiya orasida kuchlanishning pasayishi kuzatilmaydi.

Hozir amaliyotda ishchi chastotada teshilish kuchlanishi bilan chegaralangan ichki o'ta kuchlanish sathi bo'yicha bir minutlik ishchi chastotadagi sinash kuchlanishi U_{sm} tanlanadi. Bu kuchlanishning qiymati elektr qurilmalari uchun 3.5- jadvalda keltirilgan.

Transformatorlarning ichki izolyatsiyasi uchun U_{sm} ni tanlash quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$U_{sm} = \frac{U_{nom}}{K_r} K_k, \quad (3.18)$$

bu yerda $K_k \approx 1,1$ - komulyativlik koeffitsienti; K_r - sinov kuchlanishiga keltirilgan qisqa muddatli ichki o'ta kuchlanishning impuls koeffitsienti.

3.5- jadval. Sinash kuchlanishlari.

Kuchlanish, kV,	Maksimal ishchi kuchlanish, kV	Izolyatsiyaning bir minutlik sinov kuchlanishi, kV				Tashqi izolyator uchun sekin ko'tariladigan sinash kuchlanishi, kV			
		Kuch transformatori	Kuchlanish Transformatori	Apparatlar va tok tr-ri	Alohida sinaluvchi izolyator	Apparatlar va transformatorlar	Alohi da sinaluvchi izolyatorlar	Tashqi kuch tr-ri, izolyator va apparatlar	
3	3.5	18	24	24	25	26	27	20	
6	6.9	25	32	32	32	34	36	26	
10	11.5	35	42	42	42	45	47	34	
15	17.5	45	55	55	57	60	63	45	
20	23	55	65	65	68	70	75	55	
35	40.5	85	95	95	100	105	110	85	
110	126	200	200	250	265	280	295	215	
220	252	400	400	470	490	520	550	425	
		Kuch, kuchlanish tr-ri va reaktor		Apparatlar	Alohi da sinalayotgan izolyator	Quruq holatda		Yomg'irda	
		Korpus	Fazalararo			Transformatorlar, apparatlar, reaktorlar			
						Korpus	Fazalararo		
330	363	460	575	600	630	670	875	700	550
500	525	680	830	770	770	850	1180	850	700
750	787	900/800	-	950	950	1050	1700	1050	900

Transformator izolyatsiyasi uchun K ning kuchlanishni ta'sir etishining davomiyligiga bog'liqligi 3.11-rasmda keltirilgan. Odatda ichki o'ta kuchlanish davom etish vaqti 0,01 - 0,02 sek bo'lgan komutatsiya impuls harakteriga ega bo'lib, hozirgi vaqtda bajarilayotgan hisoblashlarda ta'sir etish vaqti 1 sek bo'lgan impuls koeffitsienti

$K_r = 1,35$ ga teng deb olinadi. O'ta yuqori kuchlanishlarda faza izolyatsiyasini sinashdan tashqari fazalararo kommutatsiya o'ta kuchlanishini ham meyorlashtirilish ko'zda tutiladi.

Tashqi izolyatsiyani ichki (kommutatsiya) o'ta kuchlanish sathi uning yomg'ir tagidagi elektr mustahkamligi bo'yicha muvofiqlashtiriladi.

Ishchi chastotada mumkin bo'lgan ichki o'ta kuchlanishning berilgan sathi bo'yicha sanoat chastotadagi sinash kuchlanishi tashqi izolyatsiya uchun kuchli yomg'ir tagidagi qiymati quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

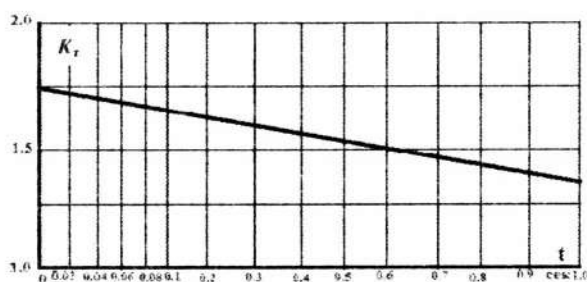
$$U_{\text{av}} = \frac{U_{\text{ic, sh}}}{K_r K_p}. \quad (3.19)$$

Impuls koeffitsientini izolyator uchun $\frac{U_{\text{or}}}{U_{\text{MP}}}$ nisbatdan foydalanib, quyidagi formuladan topamiz:

$$K_i = 1 + 0,5 \left(\frac{U_{\text{or}}}{U_{\text{MP}}} - 1 \right). \quad (3.20)$$

Tashqi izolyatsiya uchun quruq holatdagi kerakli bo'lgan sinash kuchlanishining sathi ta'sir etayotgan ichki o'ta kuchlanishning amplitudasidan kelib chiqib aniqlanadi:

$$\frac{U_{\text{av}}}{K} = \frac{U_{\text{resh}}}{\delta}. \quad (3.21)$$



3.11- rasm. Transformatorning ichki izolyatsiyasi uchun impuls koeffitsientining kuchlanishning ta'sir etish vaqtiga bog'liqligi.

(3.21) formuladagi $\frac{\delta}{K}$ meteo sharoitning meyorlangan sharoitdan farqini ko'rsatadi. Dengiz sathidan 500 va 1000 m balandlik uchun bu nisbat

tegishliha 0,89 va 0,84 olinadi. Tashqi quruq izolyatsiya uchun esa bu koeffitsient 1 ga teng deb olinadi.

Yuqori kuchlanish sistemalarida sekundlar, hatto minutlab davom etadigan ichki o'ta kuchlanish sodir bo'lishi mumkin. Bunga yuklamani tashlash, kuchlanish rostlagichining noto'g'ri ishlashi, bir tomonlama sxemani uzish va hokazolar sabab bo'lishi mumkin. Bu o'ta kuchlanishning amplitudasi sxemaviy tadbirlar va avtomatika bilan chegaralanadi, ayniqsa ba'zi holatlarda, masalan, elektr uzatishni sinxronlash sharoitlarida o'ta kuchlanish bir necha minut davom etishi mumkin. Quyidagi 3.6- jadvalda o'ta kuchlanishning davom etish vaqti bilan paydo bo'ladigan ichki o'ta kuchlanishning taxminan ruxsat etiladigan qiymati keltirilgan. Bu qiymatlar transformatorning ichki izolyatsiyasi va apparatlar uchun aniqlanadi va u atmosfera sharoitiga bog'liq emas.

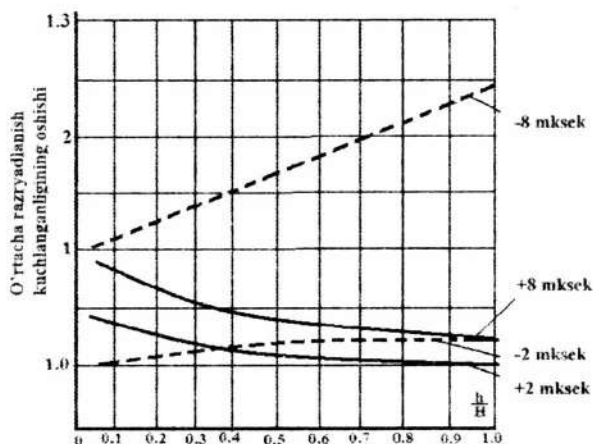
3.6- jadval. Turli vaqt davomida o'takuchlanishning ruxsat etilgan qiymatlari (fazaning nominal kuchlanishiga nisbatan karralarda).

Elektr qurilmalarning nomi	Podstansiya izolyatsiyasiga ta'sir etish vaqtiga mos ravishda faza kuchlanishining karrasida oshishining ruxsat etilgan qiymati				
	1 sek	20 sek	10 min-gacha	20 min-gacha	60 min
Kuch transformatori va avtotransformator	2.0	1.3	1.2	1.15	1.1
Bir fazali ko'rinishda bajarilgan shuntlovchi reaktorlar	2.0	1.4	1.25	1.2	1.15
Elektromagnit tipidagi kuchlanish transforllari	2.0	1.5	1.3	1.25	1.2
Tok transformatori, bog'lanish kondensatori, moyli o'chirgichlarning chiqishlari va boshqa apparatlar.	2.0	1.6	1.45	1.4	1.3

Stansiya va podstansiyalarda liniya izolyatorlaridan tashqari ochiq taqsimlovchi qurilmalarda shinalarni mahkamlashga qo'llaniladigan izolyatorlarni umumiy nom stansiya-apparat izolyatorlariga birlashtirishimiz mumkin. Bu izolyatorlarni asosan ikkita guruhga bo'lishimiz mumkin: tayanch va o'tuvchi izolyatorlar. Tayanch izolyatorlari ochiq va yopiq taqsimlovchi qurilmalarda va apparatlarda shinalarni mahkam-

lashda qo'llaniladi. Masalan, ajratgichlarda tayanch izolyatsiyalovchi konstruksiyalar sifatida qo'llaniladi. O'tuvchi izolyatorlar yopiq taqsimlovchi qurilmalarda devor orqali tok o'tkazuvchilarni o'tkazish uchun va transformator va apparatlarning metall baklariga kuchlanishni kiritish uchun qo'llaniladi (bunday izolyatorlarni ko'pincha kirishlar deb nomlanadi).

Tayanch izolyatorlari ko'pincha chinnidan tayyorlanadi. O'tuvchi izolyatorlarning konstruksiyasida asosiy izolyatsiya bo'lib chinni, moyli – to'siqli yoki qog'ozli – moyli izolyatsiya xizmat qiladi.



3.12- rasmi. Tayanch izolyatorida qovurg'aning joylashish o'rni uning impuls razryadlanish kuchlanishiga ta'siri.

Kuchlanishi 35 kV bo'lgan sterjen tipidagi tayanch izolyatorlari yuqorida keltirilgan izolyatorlarga nisbatan biroz murakkab shaklda bo'ladi. Bu rusumdagi izolyatorlar yopiq binoda joylashgan elektr qurilmalarda qo'llanilganidan ularning sirtidagi qovurg'alari uncha rivojlanmagan va kuchsiz. Shuning uchun ular sanoat chastotasidagi o'zgaruvchan kuchlanishga va kuchlanish impulsining biroz yuqoriroq qiymatlarida ishlashga mo'ljallangan.

3.12-rasmda izolyator sirtidagi qovurg'aning holatiga qarab izolyatorning o'rtacha razryadlanish kuchlanganligining o'zgarishi keltirilgan. Bu qiymatlar xuddi shunday kuchlanishdagi qovurg'asiz izolyatorning o'rtacha razryadlanish kuchlanganligiga keltirilgan. Bu egri chiziqlardan ko'rinadiki, qovurg'a razryadlanish uzoq davom

etgandagina sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bu vaqtda razryadlanish boshlanadigan elektrod yaqinida razryadlanish kuchlanishining o'sishi kuzatiladi. Musbat qutbli to'liqida shunday elektrod rolini qalpoq (tepadagi elektrod), manfiy qutbli to'liqida esa – flanelts bajaradi. Tayanch izolyatorlarida ham huddi havo oraliqlaridagi kabi razryadlanish kuchlanishi musbat qutbli to'liqida, manfiy qutbli to'liqiga nisbatan sezilarli darajada past. Shuning uchun razryadlanish kuchlanishini oshirish maqsadida qovurg'ani qalpoqqa yaqinroq joylashtirish maqsadga muvofiq.

Ochiq taqsimlovchi qurilmalarda ishlashga mo'ljallangan sterjen ko'rinishli tayanch izolyatorlar yomg'ir paytidagi ho'l razryadlanish kuchlanishining qiymatini oshirish maqsadida uning yon tomonlaridagi qovurg'alarini ancha katta qilib yasaladi.

Kuchlanishi 110 kV va undan yuqori kuchlanishlarda past kuchlanishga mo'ljallangan sterjen ko'rinishdagi izolyatorlar o'zaro armatura bilan ulanib izolyator kolonkasi (yig'masi) ko'rinishoda qo'llaniladi. Chunki izolyatorlarning nominal kuchlanishi oshib borishi bilan izolyatorga bo'layotgan mexanik yuk ham o'sib boradi, kuchlanishning 110 kV qiymatida muftasil chinni izolyatorlar kerakli mexanik mustahkamlikni ta'minlab bera olmaydi. Shuning uchun 110 kV va undan yuqori kuchlanishga tayanch izolyatorlari yalpoq va diametri katta qilib yasaladi. Bu tayanch izolyatorining egilishga bo'lgan mexanik mustahkamligini oshiradi.

Yalpoq tayanch izolyatorlarining keng qo'llanilishiga to'sqinlik qiladigan kamchiligi o'ta yengil va yaxshi iqtisodiy ko'rsatkichli izolyatorlarni ochiq taqsimlovchi qurilmalarda qo'llanilganda ularning ichki bo'shlig'ida razryadning paydo bo'lishi hisoblanadi. Izolyatorning ichki bo'shlig'iga namlikning o'tishi uning ichki bo'shlig'ining devorlarida xususiy razryadlanishning paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin. Bu razryadlar izolyatorning ichki bo'shlig'ida razryadlanish kuchlanishining keskin pasayishiga olib keladi. Ayrim hollarda kolonkaning ichida razryadlanishni bartaraf etish uchun chinnidan bo'lgichlar o'rnatiladi. Ba'zida chinni bo'lgich o'rniga kampaund yoki transformator moyi bilan to'ldiriladi.

Tayanch izolyatorining yon sirti bo'ylab oqayotgan yomg'ir suvi uning balandligi bo'ylab bir xil emas, chunki pastroqda bo'lgan izolyator yon sirti bo'ylab ko'proq suv oqib o'tadi. Bu esa o'z navbatida izolyatorlar ustuni bo'ylab kuchlanishning notekis taqsimlanishiga,

natijada bu izolyatorlar umumiy razryadlanish kuchlanishining ustunga kiruvchi alohida izolyatorlar ho'l razryadlanish kuchlanishlarining yig'indisiga nisbatan pasayishiga olib keladi.

Izolyatorlar ustuniga maxsus profilli yulduzchalar o'rnatilganda ular yon sirt bo'yicha oqayotgan suvni parchalaydi va u uzoqda joylashgan qovurg'alargacha yetadi. Suv oqimini tomchi ko'rinishida sepilishi yulduzchani chetida elektr maydon kuchlanganligining izolyator o'qiga perpendikulyar yo'nalgan tashkil etuvchisining oshishiga qulaylik yaratadi. Yulduzchali izolyatorlar ustunining umumiy razryadlanish kuchlanishi ustundagi izolyatorlar ho'l razryadlanish kuchlanishlarining yig'indisiga yaqinlashadi.

Shtirli tayanch izolyatorlari tashqi havoda o'rnatilgan elektr uskunalarida qo'llanilib, 3 – 35 kV ga mo'ljallab yasaladi. Yuqori kuchlanishga shtirli izolyatorlar ham xuddi sterjen ko'rinishidagi izolyatorlardek ustunlarga yig'iladi.

Shtirli tayanch izolyatorlari bir-biri bilan sement yordamida biriktirilgan ikkita qismdan iborat bo'ladi. Izolyator yubkasining shakli va o'lchami kerakli qiymatdagi ho'l razryadlanish kuchlanishini olishdan kelib chiqib tajriba asosida tanlanadi. Shtirli izolyatorlarning 50 Gts chastotadagi quruq razryadlanish kuchlanishi va impuls xarakteristikasi izolyatorning quruq razryadlanish masofasiga teng bo'lgan uzunlikdagi «sterjen–tekislik» havo oralig'ining xarakteristikasiga juda yaqin.

Yagona shtirli tayanch izolyatorining mexanik mustahkamligi shtirning mustahkamligi bilan aniqlanadi. Shuni ta'kidlash lozimki, shtirli izolyatorning chinni boshining mustahkamligi, uning mexanik mustahkamligini belgilamaydi, chunki izolyator qalpog'iga eguvchan yuk qo'yilganda izolyatorning boshiga ta'sir etadigan eguvchi moment shtirga ta'sir etayotgan eguvchi momentga nisbatan kamroq qiymatda bo'ladi.

Shuni e'tirof etish lozimki, 3–5 shtirli izolyatorlardan tashkil topgan izolyatorlar ustunidagi pastki izolyatorning boshiga ta'sir etuvchi kuch xuddi shtirga ta'sir etuvchi eguvchi kuchga teng. Bunday holatda ustunda mexanik mustahkamlik jihatdan eng kuchsiz va nozik qism izolyatorning bosh qismi bo'lib, u butun izolyatorlar ustunining egishga mexanik mustahkamligini belgilaydi.

Yuqorida qaralgan barcha holatlarda radial yo'nalishda kerakli elektrik mustahkamlikka chinnining tegishli qalinligini tanlash bilan

erishiladi. Bu usulni 110 kV va undan yuqori kuchlanishlarda qo'llab bo'lmaydi. Chunki bunday kuchlanishlarda izolyatorning qoplanish kuchlanishi 450 – 500 kV bo'lib, u sinash kuchlanishidan 1,5 marta katta.

O'tuvchi izolyatorning elektrik mustahkamligini oshirish uchun ichki bo'shliqni suyuq dielektrik bilan to'lg'iziladi va tokli o'tkazgich bilan chinni devor orasiga silindrik to'siqalar qo'llaniladi.

Keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda transformator moyining o'rtacha teshilish kuchlanishini quyidagi bog'lanishdan aniqlaymiz:

$$U_{kch} = 28,2 S^{0,61} \text{ kuchlanish sekin silliq ko'tarilganda;}$$

$$U_{kch} = 26,6 S^{0,64} \text{ kuchlanish bir munit davomida ta'sir etganda.}$$

Bu yerda S elektrodlar orasidagi masofa. Bu bog'lanishga ko'ra 450 – 500 kV teshilish kuchlanishini olish uchun 100 – 120 sm qalinlikdagi moy oraliq olinishi kerak, bunda flanets diametri 2 – 2,5 metrni tashkil etishi kerak.

Qog'ozli – bakalitli va qog'ozli – moyli izolyatorlarda uzoq vaqtga ruxsat etiladigan kuchlanganlik izolyatsiyani buzuvchi ta'sir ko'rsatadigan ionlanish jarayonining paydo bo'lishi bilan chegaralanadi.

Qog'ozli – bakalitli izolyatsiyada ionlanish jarayoni amalda yo'qotib bo'lmaydigan gazli ulanishlarda paydo bo'ladi. Bu gazli ulanishlarning paydo bo'lish ehtimoli qoplamalarning chetlarida katta.

Elektr maydon kuchlanganligining radial tashkil etuvchisini ruxsat etiladigan qiymatini oshirish uchun va shunday qilib izolyatorning diametrini qisqartirish uchun ayrim hollarda qog'ozli – bakalitli izolyatsiyani bevosita qog'ozga surtilgan yarim o'tkazuvchan qoplamali metall qoplama bilan almashtiriladi. Bu holatda gazli ulanishlar soni ancha sezilarli darajada kamayadi va bir vaqtning o'zida ionlashish va sirpanuvchan razryadning paydo bo'lish kuchlanishi ancha oshadi.

Qog'oz–moyli izolyatsiyada ionlanish va sirpanuvchan razryad qoplamaning chetlarida ancha yuqori kuchlanganlikda paydo bo'ladi. Buni shu bilan tushintirish mumkinki, qoplamaning chetlari moyga chuktilgan. Ammo bu ustunlikni qo'llash uchun qog'oz o'zak moy singdirilishdan oldin o'ta sinchkovlik bilan quritilishi va vakuumlashtirilishi kerak. Aks holda izolyatsiyaning qalinligida ancha past kuchlanishlarda ham ionlashish jarayoni boshlanadigan gazli ulanishlar qolishi mumkin. Buni bartaraf etish uchun ayrim hollarda qoplamaning chetlari ochiq va oldindan moyda joylashtirilishi zarur.

O'chirgichlarning o'tuvchi izolyatorlari sezilarli darajada zarbaviy mexanik yukning ta'sirida bo'ladi. Shuning uchun uning mexanik mustahkamligiga ancha yuqori talab qo'yiladi. Masalan kuchlanishi 3 – 10 kV bo'lgan izolyatorlarning konstruksiyasini va asosiy o'lchamlarini, hamda izolyatsiyalovchii materiallarni tanlashda bu talab hal etuvchi ahamiyatga ega.

Nominal kuchlanishi 220 kVgacha bo'lgan elektr uskunalarida izolyatsiya oraliq'ining razryadlanish kuchlanishi tegishli uzunlikdagi «Sterjen–tekislik» va «Sterjen–sterjen» ko'rinishidagi izolyatsiya oraliqlarining razryadlanish kuchlanishidan deyarli farq qilmaydi. Izolyatsiya oraliq'ida maydonning simmetrik (oraliq «o'tkazgich – o'tkazgich») nosimmetrikligiga («o'tkazgich–tayanch» va «o'tkazgich–yer) bog'liq holda razryadlanish kuchlanishini aniqlash uchun tipik konstruksiyalardagi (sterjen–tekislik» va «sterjen–sterjen») izolyatsiya oraliqlarining eksperiment yo'li bilan aniqlangan razryadlanish kuchlanishining qiymatlaridan foydalaniladi.

Nazorat savollari

1. O'tuvchi izolyator nima? U qayerlarda qo'llaniladi?
2. Tayanch izolyator nima? U qayerlarda qo'llaniladi?
3. Stansiya va podstansiya izolyatorlariga qanday izolyatorlar kiradi?
4. To'liq va kesilgan kuchlanishlarni ta'riflang.
5. Izolyator sirtidagi qovurg'alarining o'zgarishi razryadlanish kuchlanishiga qanday ta'sir etadi?

3.5. Tashqi izolyatsiyaning elektrik mustahkamligi va uning elektr maydonini rostdash

Elektr qurilmalarning tashqi izolyatsiyasi – havo oraliq'i va izolyatorlarning razryadlanish kuchlanishi atmosfera havosining bosimiga, haroratiga va uning namligiga bog'liq. Atmosfera sharoitining o'zgarishini hisobga olish ikkita xarakterli holatda amalgam oshiriladi. Birinchidan, razryadlanish kuchlanishlarini solishtirish imkoni bo'lishi uchun ular bir xil sharoitga keltirilishi kerak. Ikkinchidan, sinash kuchlanishini urnatish uchun tajribaning meyorlashtirilgan qiymati

uchun konkret sharoitda uni meyor atmosfer sharoitiga keltirilishi kerak.

Meyoriy atmosfera sharoitiga va sinash shartiga tegishli mos keladigan razryadlanish yoki sinash kuchlanishlari orasidagi bog'lanish quyidagi formula yordamida o'rnatiladi:

$$U = U_0 \frac{k_p k_t}{k_s}, \quad (3.22)$$

bu yerda U - eksperiment sharoitidagi razryadlanish yoki sinash kuchlanishi; U_0 - normal atmosfera sharoitidagi kuchlanish; k_p, k_t, k_s - bosim, harorat va havoning namligini hisobga oluvchi tuzatish koef-fitsienti.

Bu tuzatish koefitsientlarining qiymatlari har xil atmosfera sharoitlarida ko'pgina yuqori kuchlanish laboratoriyalarida o'tkazilgan juda katta hajmdagi o'lchashlarni tahlil qilish natijasida aniqlangan. Barcha holatlarda keskin bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida elektrodlar orasidagi masofaning ko'payishi bilan atmosfera sharoitining ta'siri kamayishi xarakterli bo'ladi. Bu holat o'zgaruvchan kuchlanish va musbat qutbli kommutatsiya impulsiga tegishli. Manfiy qutbli kommutatsiya impulslarida tuzatish kiritilmaydi. Masalan, ho'l razryadlanish kuchlanishiga atmosfera sharoiti amalda ta'sir ko'rsatmaydi.

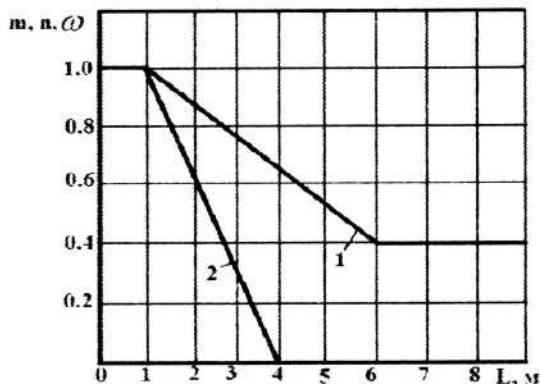
Bosim va harorat bo'yicha tuzatish koefitsienti davlat standarti bo'yicha tegishli formula yordamida aniqlanadi:

$$k_p = \left(\frac{p}{p_0} \right)^m, \quad (3.23)$$

$$k_t = \left(\frac{293}{273+t} \right)^n, \quad (3.24)$$

bu yerda p va t - sinash paytidagi atmosfera bosimi va harorat; m va n - daraja ko'rsatkichlari bo'lib, ular 3.13- rasmda keltirilgan tipik bog'lanishlar bo'yicha aniqlanishi mumkin. Ko'p holatlarda $m=n=1$. Quruq razryadlanish kuchlanishi havoning nisbiy zichligiga proporsional bo'lib, $\delta = k_p k_t$.

Havoning harorati va yomg'ir suvi izolyatorlarning ho'l razryadlanish kuchlanishiga deyarli ta'sir ko'rsatmaydi. Unga bosim ta'sir ko'rsatadi. Uning darajasi havo bo'yicha razryadlanish yo'li uzunligining izolyator sirti bo'ylab razryadlanish yo'li uzunligiga nisbati bilan aniqlaniladi. Shuning uchun yomg'ir ostida sinashda elektrodlar orasidagi masofadan qat'iy nazar $m=0,5$ va $n=0$ deb qabul qilinadi.



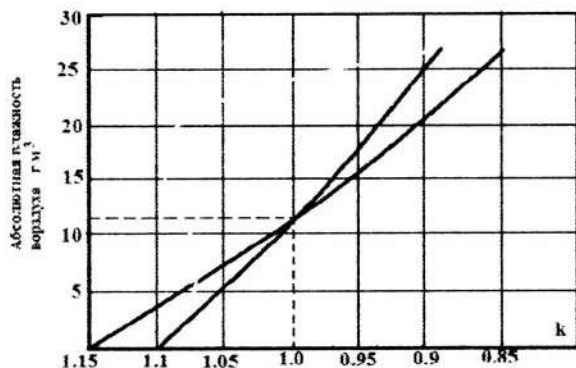
3.13- rasim. Daraja ko'rsatkichlari m, n, ω ning elektrodlar orasidagi masofaga bog'liqligi

Tashqi izolyatsiyani quruq holatda sinashda havoning absolyut namlikka tuzatish koeffitsienti kiritiladi:

$$k_r = k^{\omega}. \quad (3.25)$$

Keltirilgan 3.14-rasmdan ko'rinadiki 3.13- rasmdan aniqlanadigan daraja ko'rsatkichi havoning namligi meyoriy qiymatidan katta bo'lganda ($K < I$) o'rinli hisoblanadi. Bu

shuni bildiradiki, havoning nisbiy namligi oshgani sari razryadlanish bir qancha qiymatga ko'payadi. Razryadlanish kuchlanishining ko'payishi suvning bug'ini elektromanfiyligi bilan bog'liq. Havoning hajmida elektromanfiy zarrachalarning ko'payishi ko'p elektronlarni ushlab qolib, manfiy ionlarning sonini kupaytiradi. Natijada bu ionlashtiruvchi zarachalarning kamayishiga va razryadlanish kuchlanishining oshishiga olib keladi.



3.14- rasim. Yordamchi koeffitsient k ning havoning absolyut namligiga bog'liqligi

Elektrodlar orasidagi masofa kichik bo'lganda (past razryadlanish kuchlanishida) va shu bilan birga juda qisqa muddatga kuchlanish quyilganda havo namligining ta'siri kamayadi. Masalan, sinash kuchlanishining $U < 141$ kV qiymatida

$$k_y = 1 + (k^w - 1) \frac{U}{141}, \quad (3.26a)$$

razryadlanish vaqti $t_z < 10$ mksek kesilgan kuchlanish impulsida

$$k_y = 1 + 0,1t_p (k^w - 1), \quad (3.26b)$$

bir vaqtda razryadlanish kuchlanishi $U < 141$ kV va razryadlanish vaqti $t_z < 10$ mksek kesilgan kuchlanish impulsi ta'sir etganda

$$k_y = 1 + 0,1t_p (k^w - 1) \frac{U}{141}. \quad (3.27)$$

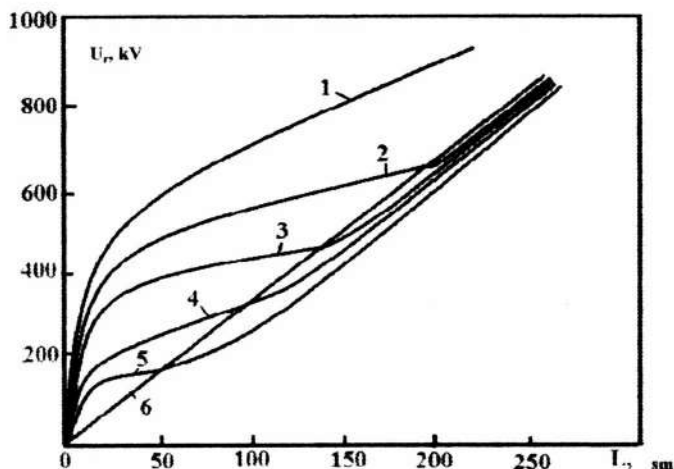
Tashqi izolyatsiyaning asosiy xarakteristikalarini aniqlash uchun uning ekspluatatsiya sharoitida atmosfera sharoiti ta'sirida elektrik mustahkamligining kamayishini bilish kerak. Atmosfera sharoiti esa joyning geografik o'rniga bog'liq bo'lib, u keng diapazonda: mavsumiy, sutkalik tebranishlariga moyil.

Ekspluatatsiya sharoitida elektr qurilmalarining tashqi izolyatsiyasidagi elektr maydonini rostlashdan maqsad elektrodlar orasida iloji boricha bir jinsli maydonni hosil qilishdir. Maydonni tekislash (bir jinsliga keltirish) ekranlar va to'siqlar vositasida amalga oshiriladi. Elektr maydoni qancha tekis bo'lsa elektrodlar oralig'ining elektrik mustahkamligi shuncha yuqori bo'ladi va elektr qurilmalar elementlarida tojlanish razryadini bartaraf etadi.

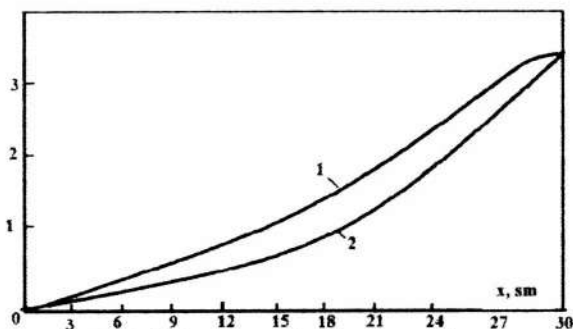
Ekranni qo'llash bilan elektrodlarning egrilik radiusi kattalashtiriladi va bu esa o'z navbatida havo oralig'ining razryadlanish kuchlanishini oshiradi. Oddiy holatda oraliqning elektrik mustahkamligidan kelib chiqib, sterjen ko'rinishidagi elektrodning uchida u yoki bu diametrdagi shar o'rnatiladi. Agar uzunligi 100 sm bo'lgan «sterjen – tekislik» oraliqdagi sterjen o'rniga diametri 75 sm bo'lgan shar o'rnatil-sa, u holda oraliqning razryadlanish kuchlanishini ikki martagacha oshirish mumkin (3.15- rasm).

Ma'lumki, yopiq va ochiq taqsimlovchi qurilmalarda qo'llaniladigan sterjen – tayanch izolyatorlari ularda shinalarni yoki kontakt detallarini mahkamlash uchun qo'llaniladi. Ichki o'rnatiladigan izolyatorlar konstruktiv jihatdan chinni govdaga ichki metal detallar bilan mahkamlanadigan armirovka qilingan. Bu izolyatorlarda qo'llanilgan armaturalar bir vaqtning o'zida ichki ekran vazifasini bajaradi. Ichki ekran razryad-

lanish kuchlanishini sezilarli darajada kupaytiradi. 3.16-rasmda bakalizlangan qog'ozdan yasalgan ichki ekranli silindrik izolyatorning uzunligi bo'yicha kuchlanishning taqsimlanishi keltirilgan. Ichki ekranning o'rnatilishi yuqorigi elektrodda elektr maydon kuchlanganligini sezilarli darajada pasayishini ta'minlaydi. Buning ta'sirida bunday izolyatorlarning qoplanish kuchlanishi 15% gacha oshadi.

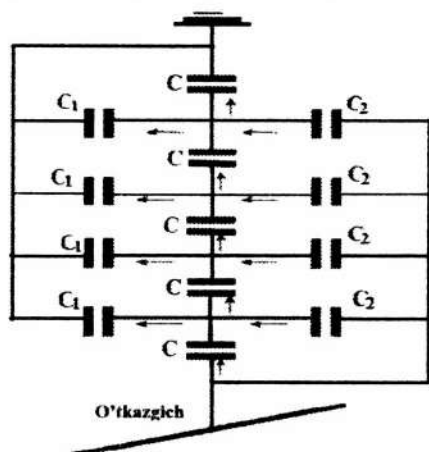


3.15- rasn. Razryadlanish kuchlanishining «shar – tekislik» elektrodlari orasidagi havo oralig'ining uzunligiga bog'liqligi: 1 – shar diametri 100 sm; 2 – 75 sm; 3 – 50 sm; 4- 25 sm; 5 – 12.5 sm; 6 – «sterjen – tekislik» oralig'i.



3.16- rasn. Bakalizlangan qog'ozdan tayyorlangan tayanch izolyatorning balandligi bo'yicha kuchlanishning taqsimlanishi: ichki ekranli (1) va ekransiz (2)

110 kV va undan yuqori nominal kuchlanishlarda tayanch izolyatorlaridan izolyatorlar ustuni tayyorlanadi. 35 kV va undan yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida osma izolyatorlardan yasalgan izolyatorlar shodasi qo'llaniladi. O'zgaruvchan va impuls kuchlanishlari izolyatorlar shodasi va izolyatorlar ustuni bo'yicha notekis taqsimlanadi. Notekis taqsimlanish shodadagi va ustundagi izolyatorlar soniga bog'liq. Tajriba shuni ko'rsatadiki, shodadagi va ustundagi izolyatorlar soni qancha ko'p bo'lsa kuchlanish shuncha notekis taqsimlanadi. Izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanishning notekis taqsimlanishiga asosiy sabab izolyatorning xususiy, tayanchga va o'tkazgichga nisbatan sig'imlarning mavjudligidir (3.17- rasm).



3.17- rasm. Izolyatorlar shodasining almashtirish sxemasi

Agar shodadagi izolyatorlarning umumiy sig'imi

$$C_{sh} = \frac{C}{n},$$

uning C_1 va C_2 sig'im-

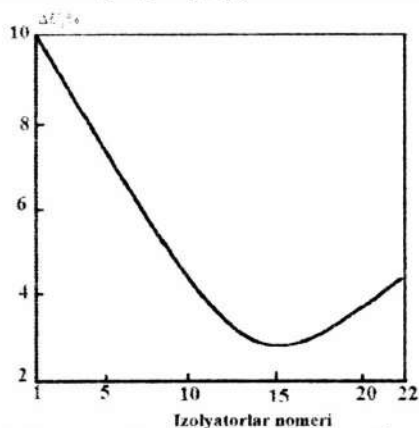
lardan sezilarli darajada katta bo'lsa, u holda kuchlanishning izolyatorlar shodasi bo'ylab taqsimlanishi deyarli tekis bo'ladi. Aks holda kuchlanishning taqsimlanishi notekis va eng ko'p kuchlanish o'tkazgichdan birinchi turgan izolyatorga mos keladi. Real sharoitda doimo $C_1 > C_2$, shuning uchun kuchlanishning tushishi maksimal bo'lib, o't-

kazgichdan uzoqlashgani sari kamayib boradi va nihoyat, traversga yaqinlashgan sari izolyatorlarga to'g'ri kelayotgan kuchlanish yana o'sadi (3.18- rasm).

Kuchlanish tushishining maksimal ruxsat etiladigan qiymati izolyatorlarning konstruksiyasiga bog'liq bo'lib, uning maksimal qiymati 30–60 kVni tashkil etadi. Uning qiymati armaturada tojlanishni bartaraf etish shartidan topiladi.

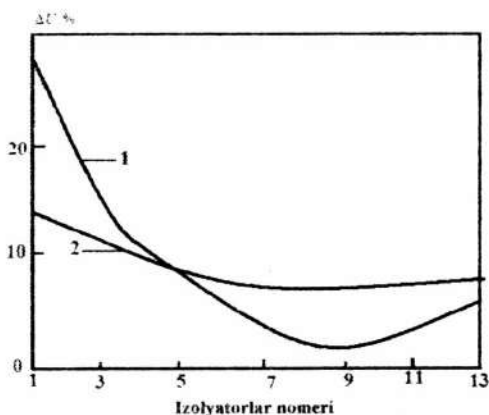
Kuchlanishi 220 kV va undan yuqori bo'lgan elektr uzatish liniyalaridagi birinchi izolyatorlarda kuchlanishning taqsimlanishini maxsus ekranlar, ya'ni armaturalar yordamida tekislash qo'llaniladi. Armatura o'tkazgichga yaqin joylashgan izolyatorning sig'imi C_2 ni

oshirish natijasida o'tkazgichga birinchi va yaqinroq joylashgan izolyatorlarda kuchlanishning tushishini kamaytiradi (3.19-rasm). Armatura oval, sakkizlik va aylana ko'rinishida bo'lib o'tkazgichni shodaga mahkamlaydigan joyga mahkamlanadi.



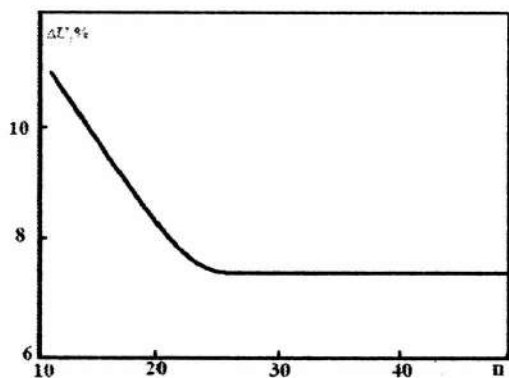
3.18- rasm. Kuchlanishi 500 kV bo'lgan liniya uchun ushlab turuvchi izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishi (to'la kuchlanishdan protsent hisobida)

Xuddi shunday effektini yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida faza parchalashni, ya'ni fazada kuchlanishga qarab bitta emas bir nechta o'tkazgich qo'llanilishi orqali ham ta'minlash mumkin. Masalan, 330 kV kuchlanishda faza ikkita simga; 500 kVda 3 taga; 750 kVda 3- 5 taga; 1150 kVda 8 -12 taga parchalanadi. Fazada parchalash qo'llanilganda sig'im $C_2 = 2 - 3$ pF gacha yetishi mumkin. Bunda C_1 li bo'linishdagi tok kompensatsiyalanib, izolyatorlar bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishi tekislanadi.



3.19- rasm. Izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishi: 1- himoya armaturasi yo'q; 2- himoya armaturasi o'rnatilgan.

O'tkazgichdan birinchi turgan izolyatorlarda kuchlanish tushishining shodadagi izolyatorlar soniga bog'liqligi 3.20- rasmda keltirilgan. Tahlil kuchlanishning tushishi avvalo pasayib, keyinchalik 7% atrofida stabilashishini ko'rsatadi.



3.20- rasmda. O'tkazgichdan birinchi turgan izolyatorlarda kuchlanish tushishining shodadagi izolyatorlar soniga bog'liqligi. Fazalar parchalangan.

Izolyatorlar sirtining namlangan ifloslanishida va yomg'ir tagida qolganida izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishi biroz tekislanadi. Chunki, bu holatda kuchlanishning taqsimlanishining tekislanishi, asosan, izolyatorlardagi sirg'ish qarshiligi bilan aniqlanadi.

Podstansiyalarining elektr qurilmalari ko'pgina mahkamlash elementlarini mujasamlagan (chetlari o'tkirlashtirilgan flants, bo'rtib turuvchi boltlar va hokazo) holda yuqori kuchlanish ostida joylashgan. Radiopomex manbai hisoblanuvchi qurilmalarning bu elementlarida tojlanishni bartaraf etish uchun transformatorlarning va o'chirgichlarning yuqori kuchlanish kirishlari, apparatlarning tayanch ustuni ekran bilan ta'minlanadi. Ekranlar tojlanishni bartaraf etish bilan bir vaqtda razryadlanish oralig'ining elektrik mustahkamligini oshiradi (ya'ni elektr maydonini tekislash hisobiga boshlang'ich kuchlanishni oshiradi).

To'g'ri tanlangan ekran uchun tojlanishning boshlang'ich kuchlanishi yerga nisbatan nominal ishchi kuchlanishdan katta bo'lishi kerak:

$$U_b > U_{ishchi} \quad (3.28)$$

Ekraning oddiy ko'rinishi shar shaklida bo'lib, uning radiusini quyidagi formula yordamida hisoblashimiz mumkin:

$$R = \frac{U_{ishchi}}{E_B} \quad (3.29)$$

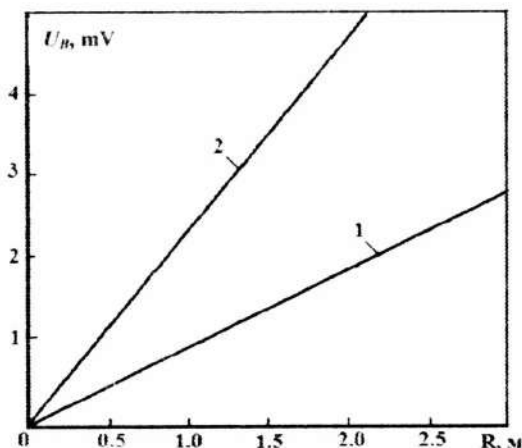
Tojlanishning boshlang'ich kuchlanganligi quyidagi empirik formula yordamida hisoblanishi mumkin:

$$E_B = 24,5m\delta \left(1 + \frac{0,76}{(\delta R)^{0,38}}\right), \quad (3.30)$$

bu yerda m - shar sirtining sillqlik koeffitsienti; E_B – boshlang'ich maydon kuchlanganligi; R - sharining radiusi, sm; δ - havoning nisbiy zichligi.

Keyingi vaqtlarda uncha katta bo'lmagan o'lchamli va o'zaro ulangan standart elementlarda bajarilgan sharsimon shakldagi ekranlar keng qo'llanilmoqda. Bu shakldagi sharsimon ekranlarni yasash ancha yengil bo'lsada ularning sillqlik koeffitsienti ancha past bo'ladi.

Katta o'lchamli elektrodlardagi (o'ta yuqori kuchlanishdagi tayanch yoki osma izolyatsiya konstruksiyalarini) kuchlanishning taqsimlanishini tekislash uchun toroid ko'rinishdagi ekranlardan foydalaniladi. Toroid – bu radiusi r bo'lgan trubadan yasalgan R radiusli xalqa.



3.21- rasmi. Tojlanishning boshlang'ich kuchlanishining ekraning tashqi radiusiga bog'liqligi: 1 – shar shakldagi ekran; 2 – radiuslari nisbati $\frac{R}{r} = 6,25$ bo'lgan toroidal ekran.

Toroidagi kuchlanganlik, ishchi kuchlanish va uning o'lchamlari orasidagi bog'lanish taxminan ushbu bog'lanish ko'rinishida ifodalanadi:

$$E = \frac{U_{\text{ichki}}}{r} = \frac{1 + \frac{9r(2R+r)}{(5R+4r)^2} \ln \frac{8R+4r}{r}}{\left(1 + \frac{r}{3R+8r} \ln \frac{r+4r}{r}\right)} \quad (3.31)$$

3.21- rasmda boshlang'ich kuchlanishning shar va toroidal ko'rinishdagi ekranlarning radiusiga bog'liqligi keltirilgan. Bu rasmdan ko'rinadiki bir kuchlanishda sharning kerakli radiusi toroidnikidan taxminan ikki marta kichik.

Nazorat savollari

1. Tashqi izolyatsiyaga nimalar kiradi?.
2. Yordamchi ko'effitsint nima? U havoning absolyut namligiga qanday darajada bog'liq?
3. Izolyatorlar shodasida kuchlanishning taqsimlanishini rostlash uchun qanday choralar ko'riladi?
4. Faza o'tkazgichlarini parchalash shodadagi izolyatorlar bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishiga qanday ta'sir ko'rsatadi? Sababini tushuntiring.
5. Shodada o'tkazgichdan birinchi turgan izolyatorlarda kuchlanish tushuvining izolyatorlar soniga bog'liqligini tushuntiring.
6. Izolyatorlar sirtining namlanishi shoda bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishiga qanday ta'sir etadi? Sababini tushuntiring.
7. Transformatorlar va o'chirgichlarning kirishlarida tojlanishni kamaytirish uchun qanday qurilmalar o'rnatiladi?
8. Transformatorlar va o'chirgichlarning kirishlarida tojlanishni kamaytirish uchun foydalaniluvchi sharlarning radiuslari qanday aniqlanadi?

3.6. Ichki izolyatsiyaning uzoq muddatli elektrik mustahkamligi

Ekspluatatsiya davrida ichki izolyatsiyaga elektrik, mexanik, issiqlik va boshqa yuklar ta'sir etadi. Ular albatta izolyatsiyada murakkab jarayonning kechishi tufayli izolyatsiyaning xossasining asta – sekin yomonlashuviga – bir so'z bilan aytganda uning eskirishiga olib keladi. Ma'lumki, izolyatsiyaning eskirishi aksariyat hollarda tiklanmaydigan xarakterga ega va teshilish bilan tugaydi. Ba'zi hollarda

izolyatsiya eskirishining oqibati tiklash ta'mirlash yo'li bilan bartaraf etilishi mumkin.

Eskirish jarayonning amaliy ahamiyati – ular izolyatsiya konstruksiyasining xizmat ko'rsatish vaqtini qisqartiradi. Shu munosabat bilan yuqori kuchlanish elektr qurilmalarni ishlab chiqishda va tayyorlashda, hamda ularni ishlatishni tashkillashtirishda izolyatsiyaning eskirishini chegaralaydigan tadbirlarni qo'llab izolyatsiya konstruksiyalarining talab etiladigan xizmat ko'rsatish muddati ta'minlanadi.

Ekspluatatsiya davrida ichki izolyatsiya xosasining o'zgarishi o'z – o'zidan bo'lmasdan, balki ma'lum energiya sarfini talab etadi. Bunday energiya izolyatsiyaga tashqi yuklama manbaidan beriladi. Bu energiya har xil turdagi yuklamalarda turli shaklda uzatiladi va kechadigan jarayon ham turli mazmunga ega. Shu sababdan izolyatsiyaning elektrik, issiqlik va mexanik eskirishlari uchraydi. Bundan tashqari izolyatsiyaning eskirishi unga tashqi muhitdan ifloslanish, aynan namlikning singishi bilan bog'liq.

Shuni ta'kidlash zarurki, ekspluatatsiya sharoitida har xil faktorlar ta'sirida eskirish jarayoni bir vaqtning o'zida bir-biriga murakkab ta'sir etish orqali kechadi.

Elektr qurilmalarining ichki izolyatsiyasida ishchi kuchlanishda ham elektrik eskirish jarayoni kechishi rivojlanishi mumkin. Bunday eskirish elektr maydon kuchlanganligining qisqa muddatga kuchlanish qo'yilgandagi izolyatsiyaning teshilish elektr maydon kuchlanganligidan 15 - 20 marta kichik qiymatida ham paydo bo'lishi mumkin.

Har xil turdagi izolyatsiyaga qo'yilgan kuchlanishning o'sishi bilan eskirish jarayoni tezlashib, uning xizmat ko'rsatish vaqti qisqaradi. Izolyatsiyaning xizmat qilish vaqti τ ta'sir etayotgan kuchlanishning keng diapazonda o'zgarishida murakkab xarakterga ega. Masalan o'rtacha xizmat qilish muddatida (bir soatlardan to 10^3 - 10^4 saotgacha) eksperiment natijasida o'rnatilgan bog'liqlik quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

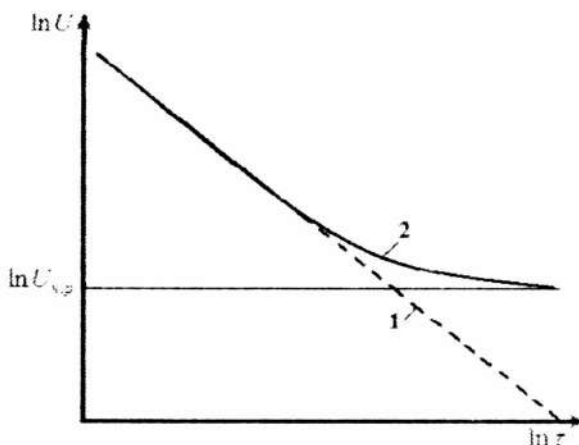
$$\tau = \frac{A}{U^n}, \quad (3.32)$$

bu yerda A – o'zgarmas qiymat bo'lib, u izolyatsiyaning xossasiga bog'liq; n – ta'sir etayotgan kuchlanishning turiga, izolyatsiyaning konstruktiv xususiyatiga bog'liq bo'lgan daraja ko'rsatkichi. Masalan, keskin nochiziqli (kondensator tipidagi) elektr maydonida qog'ozli – moyli izolyatsiya uchun sanoat chastotasidagi kuchlanishda $n = 4 \div 8$,

o'zgarmas kuchlanishda esa $n = 9 \div 12$; kuchsiz bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida moyli – to'siqli izolyatsiya uchun $n = 50 \div 80$.

Yuqorida olingan (3.32) bilan aniqlanadigan $\tau = f(U)$ bog'lanishning ikkilangan lagorifmik masshtabda qurilgan grafigi 3.22- rasmda keltirilgan bo'lib, u to'g'ri chiziqli (chiziqli 1) dan iborat. Bu bog'lanishni qurishda ordinata o'qi yo'nalishida $\ln U$, abtissa o'qi bo'yicha $\ln \tau$ qo'yiladi.

Xizmat qilish muddati katta bo'lgan sohada (10^4 soatdan ortiq) tajribaning davom etish muddati va uning narxi katta bo'lganligidan amalga oshirilgan tajribalar soni unchalik ko'p emas. Shuning uchun $\tau = f(U)$ grafikning yo'nalishi bu sohada uncha katta bo'lmagan aniqlikda hosil qilingan. Sunday bo'lsada, kuchlanishning pasayib borishi bilan izolyatsiyaning bu sohada xizmat qilish vaqti ko'payib boradi va kuchlanishning qandaydir chegaraviy qiymatidan past qiymatida xizmat qilish vaqti cheksiz o'sib ketadi.



3.22- rasm. Ichki izolyatsiyaning o'rtacha xizmat qilish vaqtining ta'sir etayotgan kuchlanishga bog'liqligi.

Har qanday izolyatsiya konstruksiyasining elektrik eskirishi nafaqat unga ta'sir etayotgan kuchlanishga, balki ko'pgina ilg'ab bo'lmaydigan sabablarga, masalan, elektrod sirtida mikro notekislikning o'lchami va joylashishiga ham bog'liq. Shuning uchun har qanday izolyatsiya konstruksiyasining berilgan kuchlanishdagi xizmat qilish muddati tasodifiy xarakterga ega. Bu vaqtda izolyatsiyaning xizmat

qilish vaqti τ ni aniqlash uchun Beybulning ekstremal taqsimlash funksiyasidan foydalaniladi:

$$F(\tau) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\tau}{b}\right)^c\right], \quad (3.34)$$

bu yerda b – shikastlanish ehtimoli 0,632 da izolyatsiyaning xizmat qilish vaqtiga teng bo'lgan masshtab parametri; c – taqsimlanish standartiga bog'liq bo'lgan shakl parametri.

Qisman razryadlanish (QR) deyilganda izolyatsiyada quyilgan kuchlanish ta'sirida rivojlanadigan va izolyatsiya oralig'ining ma'lum qismiga tarqaladigan jarayonga aytiladi.

Qisman razryadlanish jarayoni izolyatsiyaning kuchsizlangan joylarida, masalan izolyatsiyadagi gazli ulanishlarda yoki elektr maydonining keskin kuchaygan joylarida, jumladan elektrodning o'tkirlashgan chetlarida paydo bo'lishi mumkin. QR gazli ulanishlarda suyuq va qattiq dielektrikdagiga nisbatan eng katta xavf to'g'ridir, chunki bu holatda QR suyuqlikdagi va ichki izolyatsiyaning qattiq komponentalaridagi nisbatan past kuchlanishlarda ham paydo bo'ladi.

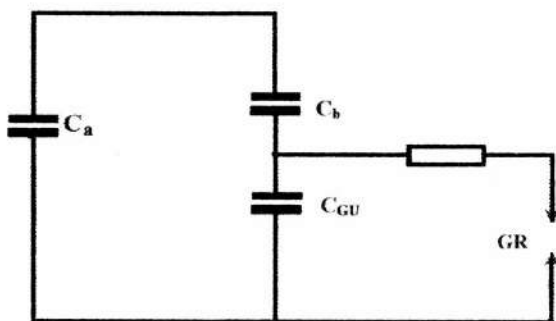
Yuqori kuchlanishdagi elektr qurilmalarining ichki izolyatsiyasini tayyorlashda gazli ulanishning paydo bo'lishiga qarshi maxsus tadbirlar qo'llaniladi. Shunga qaramay ko'pchilik holatlarda: izolyatsiyani yaratish paytida; izolyatsiyani quritish va kumpound singdirish jarayonning mukamallashmaganligi tufayli; ishlatish davrida (mexanik yuklanishlarda yoriqlarning paydo bo'lishi, mahaliy qizishlar ta'sirda, materiallarning chirishida, gazlarning ajralishida) tasodifiy gazli ulanishlarning paydo bo'lishi yuz beradi.

Keramik izolyatsiyadan tashqari barcha turdagi izolyatsiya uchun QR paydo bo'lishiga umuman yo'l qo'yib bo'lmaydi, chunki u dielektrning intensiv chirishiga va deffektning tarqalishiga olib keladi. Masalan, mikalent izolyatsiya uchun bir necha yil ishlatilgandan so'ng uning teshilishi muqarrar bo'lsa, qog'oz izolyatsiya uchun esa teshilish bir necha oy va kundan keyin kuzatilishi mumkin.

Agar organik izolyatsiyaning ichida ishchi kuchlanishda QR paydo bo'lgan bo'lsa, u holda asosiy izolyatsiyaning izolyatsiya konstruksiyasining «to'jlanayotgan» qismini qulay paytda almashtirish kerak, aks holda u ko'zda tutilmagan muddatda izolyatsiyaning teshilishiga olib kelishi mumkin.

Gazli ulanishlardagi QRning asosiy xususiyatlarini va eng muhim rivojlanish qonuniyatini oydinlashtirish uchun 3.23- rasmdagi almash-

tirish sxemasidan foydalanamiz. Bu sxemada C_{GU} – gazli ulanishning sig‘imi, C_b – gazli ulanish bilan ketma-ket joylashgan uchastkaning sig‘imi, C_a – izolyatsiyaning qolgan qismining sig‘imi, GR – gazli ulanishning teshilishi imitatsiya qiladigan gazli razryadlagich, R – gazli ulanishdagi QR kanalining qarshiligi.



3.23- rasm. Gazli ulanishli izolyatsiyaning almashtirish sxemasi.

Gazli ulanishda QRning paydo bo‘lish kuchlanishini aniqlaymiz. Faraz qilaylik, gazli ulanishga $u = U_m \sin \alpha$ qonuniyat bilan o‘zgaruvchi o‘zgaruvchan tok kuchlanishi quyilgan bo‘lsin. QR yo‘q vaqtda gazli ulanishdagi, ya’ni C_{GU} sig‘imdagi kuchlanish $u_{GU} = U_{GUm} \sin \alpha$ ga teng. Bu

yerda $U_{GUm} = \frac{U_m C_b}{(C_b + \tilde{N}_{GU})}$ agar $U_{GUm} \geq U_{GUcheg}$ bo‘lsa; U_{GUcheg} - gazli ulanishda

QR paydo bo‘lgan paytdagi razryadlanish kuchlanishining chegaraviy qiymati.

Izolyatsiyadagi kuchlanish

$$U = U_{QR} = \frac{U_{GUcheg} C_b + C_{GUcheg}}{\sqrt{2} C_{GUcheg}} \quad (3.35)$$

bo‘lganda QRning paydo bo‘lish sharti $U_{GUm} = U_{GUcheg}$ qanoatlantiriladi.

C_b va C_{GU} ni qiymatini baholash uchun (3.35) ifodada yassi kondensatorning formulasidan foydalanamiz

$$C_b = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{ru} S_{GU}}{d - \delta}, \quad (3.36)$$

$$C_{GU} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{rGU} S_{GU}}{\delta},$$

bu yerda δ - maydon yo'nalishi bo'yicha gazli ulanishning o'lchami; d – izolyatsiyaning qalinligi; S_{GU} – elektr maydon kuch chiziqlariga bo'lgan gazli ulanish ko'ngdalang kesimining yuzasi; ϵ_{rGU} va ϵ_{rl} gazli ulanishni to'ldiradigan muhitning va izolyatsiyaning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi.

C_{GU} va C_b ning (3.36) ifodasini (3.35)ga quyib va $\delta \leq d$ ni hisobga olganimizda quyidagi ifodaga kelamiz:

$$U_{QR} = \frac{U_{Gikheg}}{\sqrt{2}} \frac{\epsilon_{rGU}}{\epsilon_{rl}} \frac{d}{\delta} \quad (3.37)$$

Bu ifoda bir jinsli maydonlar uchun o'rinli bo'lib, bir jinsli bo'lmagan elektr maydon uchun quyidagi ko'rinishga keladi:

$$U_{QR} = \frac{U_{Gikheg}}{\sqrt{2}} \frac{\epsilon_{rGU}}{\epsilon_{rl}} \frac{d}{\delta K_l} \quad (3.38)$$

Pashen qonuniga ko'ra millimetrlarning yuzdan bir ulushiga teng bo'lgan δ o'lchamli gazli ulanish uchun bosimning atmosfera bosimiga yaqin qiymatida razryadlanish kuchlanishi gazli ulanishning o'lchamiga juda kuchsiz bog'langan, va havo uchun 300 V. U holda U_{QR} kuchlanishi uchun formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$U_{QR} \approx 0,2 \frac{\epsilon_{rGU}}{\epsilon_{rl}} \frac{d}{\delta K_l} \quad (3.39)$$

(3.39) ifodadan turli usullar bilan U_{QR} ni oshirish mumkinligini tushinamiz. Masalan, bu ifodadan ko'rinadiki, izolyatsiyaga mineral moy singdirish orqali uning nisbiy dielektrik singdiruvchanligini oshirish, ya'ni ϵ_{rGU} ni ϵ_{rl} bilan almashtirish hisobiga U_{QR} ni 2,2 marta oshirish mumkin.

Kuchlanishning $U \geq U_{QR}$ qiymatida gazli ulanishda davriy ravishda QR paydo bo'ladi va so'nadi. Har bir razryadlanishda razryadlanish kanalida qandaydir W_{QR} energiya sochiladi. Uning bir qismi izolyatsiyani yemirishga sarflanadi. Davriy ravishda takrorlanayotgan QRdagi o'rtacha quvvat quyidagi ifoda yordamida aniqlaniladi:

$$P_{QR} = n_f W_{QR} \quad (3.40)$$

bu yerda n_f - birlik vaqt ichidagi QRlar soni. QR kanalida energiyaning qisman sochilishining manbai izolyatsiyadagi elektr maydoni, ya'ni tegishli sig'implardagi maydon hisoblanadi.

Elektrik eskirishi va izolyatsiya xizmat qilish muddatining tezligi yuqorida ta'kidlanganidek QRning o'rtacha quvvati P_{QR} ga va

sochiluvchi energiya W_{QR} ga bog'liq. Shuning uchun P_{QR} va W_{QR} qisman razryadlanishning eng muhim xarakteristikasi hisoblanadi. Ammo bu parametrlarni (P_{QR} va W_{QR}) ko'pchilik holatlarda amalda bevosita o'lchashning imkoni yo'q, chunki ular juda kichik. Shu munosabat bilan QRning intensivlik o'lchami sifatida P_{QR} va W_{QR} larga proporsional bo'lgan bevosita o'lchashning imkoni bo'lgan boshqa qiymatlar qo'llaniladi.

Qabul qilingan QR o'lchamining fizik ma'nosini tushuntirish uchun QRning xarakteristikasini o'lchashning elektrik o'lchash usulining ma'nosini tushintiramiz. Bu usulda QRning tashqi ko'rinishlaridan biri sinalayotgan izolyatsiyada har bir QRda kuchlanishning sakrab Δu_x qiymatga pasayishi hisoblanadi. ($10^{-7} - 10^{-8}$ s vaqtda). Δu_x esa W_{QR} ga proporsional. Izolyatsiyada kuchlanishning Δu_x ga pasayishi sig'im C_x zanjirida o'tkinchi jarayonga olib keladi.

Kuchlanishning sakrab Δu_x ga o'zgarishini izolyatsiyaning elektr maydonida jamlangan energiyaning bir qismini QR kanalida sochilishi bilan tushintirish mumkin. Chunki o'rtacha quvvat P_{QR} ning intensivligini o'lchami QR o'rtacha toki hisoblanadi:

$$I_{QR} = n_f q, \quad (3.41)$$

bu yerda q – tuyiladigan zaryad.

Tajriba yo'li bilan o'rnatilganki, turli ko'rinishdagi ichki izolyatsiyada qo'yilgan kuchlanishning va izolyatsiyaning sifatiga bog'liq holda QR tuyiladigan zaryadning qiymati $10^{-14} - 10^{-16}$ Kl oralig'ida bo'lishi mumkin. Agar izolyatsiyadagi QR tuyilgan zaryadi $10^{-14} - 10^{-16}$ oralig'ida o'zgarsa, izolyatsiyaning nisbatan sekin eskirishi kuzatiladi. Ba'zi holarda bunday QR ishchi kuchlanishda ham uchrashi mumkin. Eskirish jarayonning juda sekin kechishidan izolyatsiya mo'ljallangan muddatgacha chidaydi. Tuyiladigan zaryad $10^{-9} - 10^{-6}$ Kl bo'lsa, izolyatsiyaning qisqa vaqt ichida yemirilishiga olib kelishi mumkin, shuning uchun bunday QRga yo'l qo'yib bo'lmaydi.

Yuqori kuchlanish elektr qurilmalarida keng tarqalgan qog'ozli – moyli (QMI) va moyli to'siqli (MTI) izolyatsiyalarda ham QR kuzatiladi. Bu izolyatsiyalarni tayyorlashda mukamallashgan texnologiya qo'llanilgandagina gazli ulanishlar yo'q bo'lishi mumkin. Bunga izolyatsiyani vakuum sharoitida quritish va gabsizlantirilgan moy singdirish hisobiga erishish mumkin. Ammo bu holatlarda ham ichki

izolyatsiyada QR rivojlanishi mumkin bo'lib, u gazli ulanishli izolyatsiyaga qaraganda ancha yuqori kuchlanishlarda rivojlanadi.

Tajriba natijasida o'rnatilganki, QMida QR ikki ko'rinishda bo'lishi mumkin: boshlang'ich va kritik. Boshlang'ich qisman razryadlar (BQR) tuyiladigan zaryadning $10^{-14} - 10^{-11}$ Kl qiymati bilan xarakterlanadi. Ular bevosita elektrod bilan elektrodning mikronotekis sirti va utkirlashgan chetlarida yopishgan qog'oz oralig'idagi moy qatlamida, ya'ni elektr maydonning lokal kuchaygan joylarida rivojlanadi. Masalan, elektrodlari yupqa alyuminiy folgadan tayyorlangan kondensator tipidagi QMida. BQR elektr maydon kuchlanganligi o'rtacha qiymatni taxminan bir darajaga yuqori bo'lgan elektrodlarning chetlarida paydo bo'ladi. Shunday izolyatsiyalar uchun eksperimental yo'l bilan BQR boshlanadigan kuchlanishning o'rtacha qiymatining izolyatsiya qalinligiga bog'liqligi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_n = k_i d^{0.2}, \quad (3.42)$$

bu yerda k_i - qog'ozning zichligiga bog'liq koeffitsient. Qog'ozning zichligi 0,8; 1,0 va 1,2 g/sm³ bo'lganda bu koeffitsient mos holda 4,0; 3,8 va 3,3 ga teng bo'ladi.

Kuchsiz bir jinsli bo'lmagan elektr maydonli QMida BQR o'rtacha elektr maydon kuchlanganligi 15 – 20 kV/mm bo'lgan elektrodlarning notekis sirtida paydo bo'ladi.

Izolyatsiyaga qo'yilgan kuchlanishning qiymati osha borgani sari birlik vaqt ichida razryadlar soning kupayishi hisobiga BQR ning o'rtacha quvvati keskin usib ketadi. Kuchlanishning $U_{zv} = 1,5U_n$ qiymatida boshlang'ich razryadlarning o'rtacha quvvati P_{BQR} ning kuchlanishga bog'liqligi quyidagi formula yordamida ifodalanadi:

$$P_{BQR} = kU^m, \quad (3.43)$$

bu yerda m - daraja ko'rsatkichi bo'lib, u tajriba yo'li bilan aniqlanadi. U o'rtacha 6,0 ga teng deb olinishi mumkin.

Alohida BQR sochilayotgan energiyaning qiymati kichikligidan bu razryadlar qog'ozga yemiradigan ta'sir ko'rsatmasada, moyning asta-sekin achishiga (chirishiga) va boshqa qo'shimcha mahsulotlarning paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin. BQR bilan bog'langan elektrik eskirishning ma'nosi shundan iboratki, izolyatsiyada moyning achishi bilan bog'liq mahsulotlarning jamlanishi natijasida dielektrik isrof va $tg\delta$ usib ketishiga va izolyatsiyaning elektrik mustahkamligining pasayishiga olib kelishi mumkin. Bu jarayon vaqt o'tishi bilan

izolyatsiyaning issiqlikdan teshilishiga olib kelishi mumkin. Eskirishning yana bir mexanizmi BQR ta'sirida moyda gazning konsentratsiyasi oshishi bilan bog'liq. Bu holatda eskirish jarayoni moy gaz bilan to'la to'yinganda tugaydi va izolyatsiyada GU paydo bo'ladi.

Kritik qisman razryadlanishda (KQR) tuyiladigan zaryadning qiymati 10^{-9} Kl va undan yuqoriroq bo'lishi mumkin. Kuchlanish tezkor ko'tarilganda izolyatsiyada shunday razryad paydo bo'ladiki, bunda BQRning quvvati o'sib ketishi natijasida moydan gazning ajralib chiqish tezligi, gazning moyda erish tezligidan yuqori bo'lib izolyatsiyadan turg'un gazli ulanish hosil bo'ladi. Bunday gazli ulanishlarda KQR rivojlanadi.

Jarayonning KQR bosqichiga o'tishdagi kuchlanish U_{kr} kondensator tipidagi QMI uchun boshlang'ich kuchlanish U_B dan 3 – 5 marta oshib ketsada, xuddi boshlang'ich kuchlanish kabi izolyatsiyaning qalinligiga bog'liq. Kuchsiz bir jinsli bo'lmagan maydonli QMI da U_B amalda teshilish kuchlanishiga mos keladi.

Kritik QRning quvvati nisbatan tezkor (minutlar, saotlar ichida) qog'oz qatlamlarini buzish uchun yetarli bo'ladi. Ularning juda qisqa muddatga paydo bo'lishi ham, masalan o'takuchlanishda izolyatsiyada gazli ulanishlarning hosil bo'lishi bilan xavfli, chunki bu GUlarda katta quvvatli QRIlar boshlang'ich kuchlanishdan past kuchlanishlarda ham rivojlanishi mumkin. Ya'ni kuchli KQR ishchi kuchlanishda ham rivojlanib qisqa muddat ichida izolyatsiyani teshilishgacha emirishi mumkin. Shuning uchun QMIning utakuchlanishda va sinash kuchlanishida ham uzoq muddatga ishlashining asosiy sharti unda KQR ning rivojlanmasligi hisoblanadi.

Moyli to'siqli izolyatsiyada ham BQR va KQR uchrashi mumkin. Ulardan birinchisida tuyiladigan zaryad 10^{-12} Kldan ortiq bo'lmasdan, bu razryad bevosita konstruksiyaning moyli tirqishlarida va gazli ulanishlarda (agar izolyatsiyani quritish va moy singdirish yetarlicha chuqur bo'lmagan vakuumda amalga oshirilgan bo'lsa) paydo bo'ladi. Qattiq dielektriklar uchun bunday QR xavfli emas va unga ishchi kuchlanishda ruxsat etilishi mumkin, chunki ular qattiq dielektrikni yemirish uchun yetarli emas. Moyning achishidan paydo bo'ladigan mahsulot katta hajmda taqsimlanadi.

Tuyiladigan zaryadi 10^{-7} Kl bo'lgan KQR izolyatsiya konstruksiyasidagi moyli kanalning teshilishi yoki qattiq dielektrik sirti bo'ylab sirpanuvchan razryad ko'rinishida namoyon bo'ladi. Moyli

tusiqli izolyatsiyada KQR paydo bo'lishiga ruxsat etib bo'lmaydi, chunki bunday razryadlar dielektrikning uzoq muddatli elektrik mustahkamligining pasayishga olib keladi.

Yuqori kuchlanishli elektr qurilmalarining ichki izolyatsiyasini tayyorlash uchun qo'llaniladigan dielektrik materiallar xona haroratida inert bo'ladi. Lekin ishchi haroratda ($60 - 130^{\circ} \text{S}$) bu materiallarda ximik reaksiyalar paydo bo'lishi va keskin tezlashishi mumkin. Bu reaksiyaning mohiyati juda murakkab bo'lib, izolyatsiya tayyorlanayotgan materialning ximik tarkibiga, unda mavjud bo'lgan namligiga va tashqi muhitdan kislorodning kirib kelishiga va bir qancha boshqa faktorlarga bog'liq. Bu jarayonning kechishiga izolyatsiya konstruksiyasiga kiruvchi o'tkazgich va boshqa materiallar ta'sir ko'rsatadi. Masalan, mis o'tkazgich mineral moylar termooksidlanish jarayonining katalizatori bo'lishi mumkin.

Hamma holatlarda izolyatsiyada kechayotgan ximik reaksiyalar asta sekin izolyatsiya materiallarining strukturasi va xossasining o'zgarishiga olib keladi – oqibat natijada izolyatsiyaning issiqlikdan teshilishiga olib kelishi mumkin.

Ichki izolyatsiyaning issiqlikdan teshilish tezligi haroratga bog'liq bo'lgan ximik reaksiyaning tezligi bo'yicha quyidagi Arrenius formulasi bo'yicha aniqlanadi:

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{W_A}{kT}}, \quad (3.44)$$

bu yerda ϑ_0 - ximik reaksiyaning tezligi (birlik vaqt ichida reaksiyaga kiradigan moddaning miqdori); W_A - qaralayotgan reaksiya uchun aktivlashtirish energiyasi; k – Boltsman doimiysi; T – absalyut harorat. Ma'lumki, izolyatsiyaning issiqlikdan eskirishi ximik reaksiya tezligiga teskari proporsional hisoblanadi. U holda Arrenius formulasidan foydalanib T_1 va T_2 haroratlar uchun xizmat qilish vaqtining nisbatini aniqlovchi ifodani hosil qilamiz:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = 2^{-\frac{E_1 - E_2}{\Delta T}}. \quad (3.45)$$

bu yerda τ_1, τ_2 - izolyatsiyaning T_1 va T_2 haroratlarga mos keladigan xizmat qilish vaqti; ΔT - issiqlikdan eskirishda haroratning izolyatsiya xizmat qilish vaqtining 2 marta qisqarishiga olib keladigan oshishi.

Ichki izolyatsiya va uning elementlari ekspluatatsiya davrida statik, o'zgaruvchan va zarbaviy mexanik yuklar ta'siriga uchraydi. Bu yuklar ta'sirida izolyatsiya materiallarida sekin eskirish kuzatiladi. Eskirishning

shundan iboratki, mexanik kuchlangan materialda lokal deffektlarning tartibli paydo bo'lishi va buning hisobiga materialdagi mikroyoriqlarning asta sekin kattalashishi kuzatiladi. Mikroyoriqlar soni va o'lchami qandaydir kritik qiymatga erishganda izolyatsiya materialining butulay yemirilishiga olib keladi.

Statik mexanik yuk ta'sirida izolyatsiyaning yemirilishigacha xizmat qilish vaqtini quyidagi formula yordamida aniqlaymiz:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{W - \gamma\sigma}{kT}\right), \quad (3.46)$$

bu yerda τ_0 , W va γ - materialning mustahkamligini xarakterlaydigan parametrlar; σ - yuklanish ta'sirida materialdagi mexanik kuchlanish; T - absolyut harorat.

Izolyatsiyada ho'llanishining paydo bo'lishi uning sirqish qarshiligining keskin pasayishiga olib keladi, chunki namlikda yerigan va yig'ilgan aralashmalar mavjud. Sirqish qarshiligining pasayishi izolyatsiya materialida dielektrik isrofning oshishiga olib keladi. Natijada issiqlikdan teshilish kuchlanishi pasayadi.

Nazorat savollari

1. Izolyatsiyaning xizmat ko'rsatish vaqti nimalarga bog'liq va u qanday aniqlanadi?

2. Qisman razryadlanish nima? U qanday joylarda kuzatiladi?

3. Izolyatsiyada gazli ulanishlar qanday sabablarga ko'ra paydo bo'lishi mumkin?

4. Gazli ulanishda qisman razryadlanish qonuniyatini oydinlashtirish uchun foydalaniluvchi almashtirish sxemasini tushuntiring.

5. Gazli ulanishda qisman razryadlanish kuchlanishi qanday aniqlanadi?

6. Qisman razryadlanishning paydo bo'lish sharti qanday?

7. Davriy ravishda takrorlanuvchi qisman razryadlanishdagi o'rtacha quvvat qanday aniqlanadi?

8. Qanday ko'rsatkichlar qisman razryadlanishning eng muhim xarakteristikalarini hisoblanadi?

9. Qisman razryadlanishning xarakteristikalarini elektrik o'lchash usulining ma'nosini tushuntiring.

10. Arrenius formulasini tushuntiring.

11. Statik mexanik yuk ta'sirida izolyatsiyaning yemirilishigacha xizmat qilish vaqti qanday aniqlanadi?

12. Izolyatsiya ho'llanganda uning sirqish qarshiligi qanday o'zgaradi? Sababini tushuntiring.

4. ELEKTR UZATISH LINIYASINING IZOLYATSIYASI

4.1. Havo elektr uzatish liniyasining izolyatsiyasi

Havo elektr uzatish liniyalarida (HEUL) asosiy izolyatsiyalovchi muhit rolini atmosfera havosi bajaradi. Havo elektr uzatish liniyasiga xos bo'lgan kamchiliklardan biri ifloslanish natijasida ishchi kuchlanishda ham qoplanish va tojlanish razryadining kuzatilishi mumkinligidir.

Ekspluatatsiya sharoitidan kelib chiqib ta'kidlash mumkinki, HEULning barcha izolyatsiyasi doimo ishchi kuchlanish, ichki va atmosfera o'takuchlanishi, shuningdek, har xil metrologik faktorlar: bosimning, temperaturaning, havoning namligi, turli namlanish (yomg'ir, ho'l qor, tuman, muz qoplash, shudring) ta'sirida bo'ladi. Yuqorida qayd etilgan ta'sirlarni hisobga olgan holda iste'molchilarni uzluksiz elektr energiya bilan ta'minlash uchun liniyada bajariladigan profilaktik va ta'mirlash ishlarini bajarishni ta'minlash liniyaning konstruktiv elementlariga bo'lgan bir nechta talablar bilan belgilanadi.

Elektr uzatish liniyasining o'tkazgichlari metal, temirbeton, yog'och va kombinatsiyalangan tayanchlarga mahkamlanadi. Izolyatsiya xarakteristikasi nuqtai nazaridan metall va temirbeton tayanchlar bir xil. 110 kV va undan yuqori kuchlanishli HEUL doimo temirbeton va metall tayanchlarda bajariladi. 110 kV dan past bo'lgan kuchlanishda esa yog'och, temirbeton va kombinatsiyalangan tayanchlar ham qo'llaniladi.

Havo elektr uzatish liniyasiga ta'sir etadigan ichki va tashqi o'ta kuchlanishlar tayanchlar oralig'ida yoki tayanchda izolyatsiyaning shikastlanish xavfini tug'diradi. Tayanchlar oralig'ida izolyatsiyaning buzilishi turli fazalar va faza bilan zaminlangan tros orasidagi havo oralig'ining teshilishi tufayli sodir bo'lishi mumkin. Chunki tayanchlar yaqinida o'tkazgich sirti bo'ylab razryadlanishning rivojlanishi havoga nisbatan yengil rivojlanadigan zaminlangan metall konstruksiyaga yoki yog'ochdan yasalgan elementlarga juda yaqin keladi. Eng ko'p tarqalgan ichki o'ta kuchlanish ham liniyaning ishlash rejimini buzmasligi uchun uning izolyatsiyasi shunday elektr mustahkamlikka ega bo'lishi kerakki, u oraliqning teshilish kuchlanishidan ancha katta bo'lishi kerak. HEULning o'tkazgichlari bir-biridan va yerdan havo oralig'i yordamida izolyatsiyalanadi. Buning uchun faza o'tkazgichlari tayanchlarga shun-

day osiladiki, ular orasida va ular bilan yer orasida havo bo'yicha ma'lum oraliq saqlanadi. HEULning o'tkazgichlari ko'pincha yon tomondan, deyarli liniya trassasiga perpendikulyar yo'nalishda esgan shamol ta'sirida zaminlangan konstruksiyalarga juda yaqin kelishi natijasida razryadlanish ularning sirti bo'ylab rivojlanadi.

Tayanchlardagi izolyatsiya – izolyatorlar shodasi va ular ushlab turuvchi o'tkazgichlardan tayanch gavdasigacha bo'lgan havo oralig'i S_1 dan tashkil topgan (4.1- rasm). Bu izolyatsiya oralig'ini tanlashda liniyaning o'tkazgichlariga yon tomondan esayotgan shamol ta'sir etganda o'tkazgichning tayanchga yaqinlashishini og'ish burchagi orqali hisobga olinadi. Tayanchlar oralig'ida faza o'tkazgichlari orasidagi izolyatsiyalovchi havo oralig'i S_2 ga teng (4.1- rasm). Bu izolyatsiya oralig'i S_2 ni tanlashda liniyada kuchlanish ostida ta'mirlash ishlarini bajarish uchun ishchilarni ko'tarishda ularning xavfsizligini ta'minlash va tayanchlar oralig'ida o'tkazgichlarning nosinxron chayqalishi natijasida ularni chalkashib qolishini olidini olish shartidan kelib chiqiladi va u quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$S_2 = 2S_1 + 2l_{shoda} \sin \beta + \Delta, \quad (4.1)$$

bu yerda l_{shoda} - izolyatorlar shodasining uzunligi; β - shamoldan og'ish burchagi; Δ - tayanchning qalinligi.

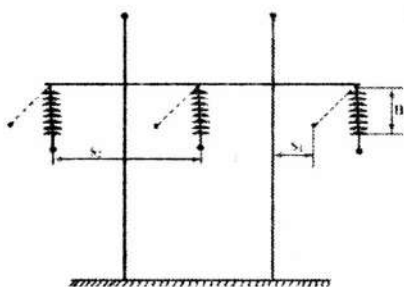
Tayanchlar oralig'ida faza o'tkazgichlari bilan yer o'rtasidagi izolyatsiya oralig'i S_3 ni tanlashda transport vositalarining kesib o'tishini hisobga olish kerak. Bu izolyatsiya oralig'i tekis joyda tayanchlar oralig'ining o'rtasida minimal bo'ladi (4.2- rasm). Bu izolyatsiya oralig'ini tanlashda EUTQ normalari talablaridan kelib chiqiladi.

Liniyalarda himoya trosi bilan faza o'tkazgichlari o'rtasidagi izolyatsiya oralig'i ham elektr uzatish liniyasi izolyatsiyasini belgilaydi (4.2- rasm). Bu izolyatsiya oralig'i S_4 tanlanayotgan vaqtda tayanchlar oralig'ining o'rtasida atmosfera o'ta kuchlanishining amplitudasi maksimal bo'ladi deb qabul qilinadi. Yuqorida keltirilgan izolyatsiya oralig'ini tanlashda faza o'tkazgichlari bilan himoya trosining nosinxron muz qoplashni tashlash natijasida yuzaga keluvchi vertikal tebranish ta'sirida chalkashib qolish ehtimolligini hisobga olish kerak. Liniyani kesib o'tuvchi transport vositasi bilan tayanchlar oralig'ining o'rtasida izolyatsiya oralig'i uning teshilish kuchlanishi va teshilish elektr maydon kuchlanganligi hisobga olinadi. Agar liniyani kesib o'tadigan transport vositasining balandligi standartga mos kelmasa, bu transport

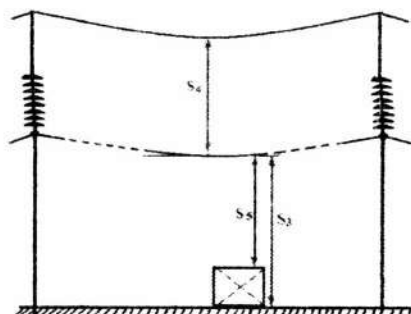
vositasining kesib o'tish vaqtida maxsus naryad asosida liniya o'chiriladi.

Atmosfera va ichki o'ta kuchlanishlar elektr uzatish liniyasining ishlash rejimini buzmasligi uchun liniya shunday izolyatsiyaga ega bo'lishi kerakki uning elektr mustahkamligi ko'pchilik o'ta kuchlanishlar amplitudasidan oshishi kerak. Lekin liniyaning avariya holatida o'chirilishlar sonini ruxsat etiladigan darajagacha kamaytirish uchun yuqori elektr mustahkamlikka ega izolyatsiyani qullash har doim ham iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas, chunki u izolyatsiya oraliqlarining va tayanchlar balandligini oshirishni talab qiladi. Shu sababli HEULlarida izolyatsion oraliqni ta'minlashda o'zini iqtisodiy oqlaydigan maxsus tadbirlar va qurilmalar qo'llaniladi (o'takuchlanishni chegaralaydigan chaqmoqdan muhofaza qilish uskunalari, yoy sundirish apparatlari va AQU).

Kuchlanishi 220 kVgacha bo'lgan elektr uzatish liniyalarida faza o'tkazgichlari vertikal osilgan bir ustunli tayanchlar keng qo'llaniladi (4.3- rasm). Bu holatda faza o'tkazgichlari bilan pastki travers orasidagi masofa S_6 izolyatsiya oralig'ini tanlashda hisobga olinishi kerak. Izolyatsiya oralig'i S_7 ham xuddi S_6 kabi tanlanadi.



4.1- rasm. Portal rusumidagi tayanchda bajarilgan liniyaning izolyatsiya oraliqlarining ko'rinishi.

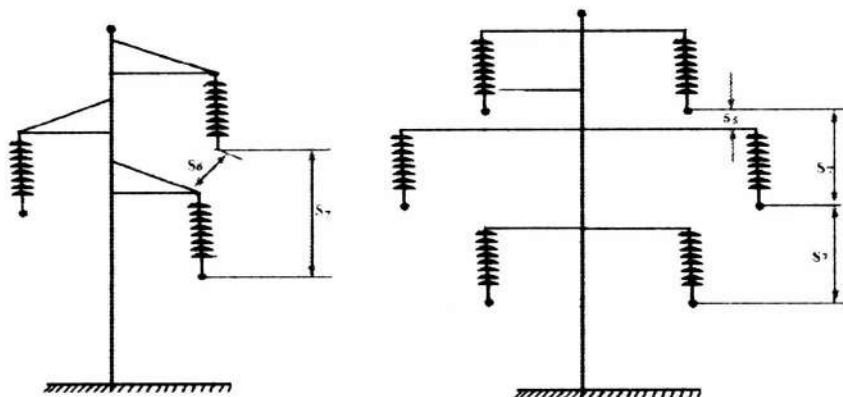


4.2- rasm. Portal rusmidagi tayanchda bajarilgan liniyaning izolyatsiya oraliqlarining ko'rinishi.

Havo elektr uzatish liniyasining izolyatsiyasiga qo'yidagi talablar qo'yiladi:

1. HEULning izolyatsiyasi liniyada sodir bo'ladigan ichki o'ta kuchlanishlarning ko'pchiligiga chidashi kerak. Ba'zi o'ta kuchlanishlar bundan istisno, chunki ularning sodir bo'lish ehtimoli juda kichik, lekin

ularni e'tiborga olish liniyaning tan narxini juda kattalashtirib yuborgan bo'lar edi. Shuning uchun HEULning izolyatsiyasini maksimal kuzatilishi mumkin bo'lgan o'ta kuchlanishdan biroz kichikroq bo'lgan ichki o'ta kuchlanishning hisobiy sathi bo'yicha tanlanadi.



4.3- rasm. Bir ustunli tayanchda bajarilgan bitta va ikkita zanjirli liniyaning eskizi.

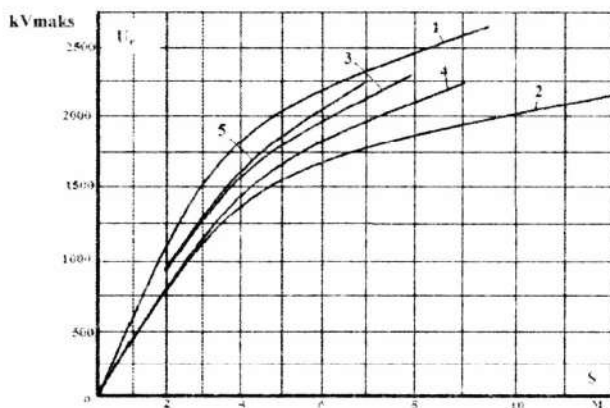
2. HEUL izolyatsiyasining kuchlanish impulsiga bo'lgan elektr mustahkamligi o'zini iqtisodiy oqlagan va effektli chaqmoqdan himoya qilishni tashkillashtirishga yetarli bo'lishi kerak.

Bu talablar xar xil kuchlanish pog'onalari uchun bir xil bo'lmasada, ammo ko'pchilik holatlarda izolyatsiya ichki o'ta kuchlanish bo'yicha tanlanadi. Bunday holatda 110 kV va yuqori kuchlanishlarda liniyani oddiy chaqmoqdan himoya qilish uskunalari yordamida uning chaqmoqbardoshligini ta'minlash uchun izolyatsiyaning impuls mustahkamligi yetarli hisoblanadi.

Elektrodlar orasidagi havo oralig'i ularning razryadlanish xarakteristikasi bo'yicha ikkita guruhga bo'linadi: simmetrik elektrodlar oraliq «sterjen–sterjen» va keskin nosimmetrik elektrodlar oraliq «stekislik». Bunday oraliqlarning razryadlanish xarakteristikasi chegaraviy hisoblanadi. 4.4- rasmda elektr uzatish liniyasining tipik havo oralig'larining razryadlanish xarakteristikasi keltirilgan. Tayanchda liniyaning izolyatsiya sathini aniqlaydigan oraliq yon tomondan esayotgan shamolning ta'sirini hisobga oluvchi «o'tkazgich–tayanch ustuni» S_1 hisoblanadi. Himoya armaturasi bilan jihozlangan liniyalarda bu S_1

oraliq ko'rinishida himoya armaturasi bilan tayanch ustuni yoki traversi orasi olinadi. Bu oraliq elektrodlar simmetriyasi bo'yicha «sterjen – sterjen» va «sterjen – tekislik» o'rtalik holatni egallaydi. Xuddi shunday bunday oraliqning razryadlanish xarakteristikasining ham o'rtacha holatni egallaydi.

Liniyaning tayanchlari oraliq'idagi izolyatsiya sathi «o'tkazgich – o'tkazgich» S_2 va «o'tkazgich–yer» S_3 oraliqlar bilan baholanadi.



4.4- rasm. Havo oraliqlarining o'rtacha razryadlanish kuchlanishi:

- 1) sterjen – sterjen elektrodlati orasidagi razryadlanish kuchlanishi;
- 2) sterjen – tekislik elektrodlati orasidagi razryadlanish kuchlanishi;
- 3) o'tkazgich – tayanch orasidagi razryadlanish kuchlanishi;
- 4) o'tkazgich – yer orasidagi razryadlanish kuchlanishi;
- 5) o'tkazgich – yer (sterjenli) orasidagi razryadlanish kuchlanishi;

Oraliq «o'tkazgich – o'tkazgich» simmetrik bo'lib, unga 1 grafik mos keladi va «o'tkazgich – yer» oraliq'ining razryadlanish kuchlanishi 4 egri chiziq bilan aniqlanadi. Izolyatsiya sathi nuqtai nazaridan liniyaning gabaritini baholashda tayanchlar oraliq'ida tepalik va transportlar kesib o'tishini hisobga olish talab etiladi. Bu holatda hisobiy oraliq sifatida yerdan 4 m balandlikdagi «o'tkazgich – sterjen» qabul qilinadi.

4.4-rasmda keltirilgan $U_p = f(S)$ egri chiziqlardan foydalanib kommutatsiya impulsdarida 50% li razryadlanish kuchlanishi aniqlanadi.

Atmosfera o'takuchlanishiga uchraydigan HEULlarda havo oraliq'i izolyatorlar mustahkamligidan kam bo'lmagan impuls mustahkamlikka ega bo'lishi kerak. Izolyatorlar shodasi impuls mustahkamligiga ekvivalent «sterjen-tekislik» ko'rinishidagi elektrodlati

orasidagi minimal izolyatsiyalovchi oraliqning razryadlanish kuchlanishiga bog'liqligi to'g'risidagi ma'lumot 4.1-jadvalda keltirilgan.

4.1- jadval. HEUL izolyatsiya oraliqlarining xarakteristikalar.

Nominal kuchlanish (kV)	35	110	150	220	330
Shodadagi izolyatorlar soni (P- 4.5)	3	7	9	13	16
Izolyatorlar shodasining 50%-li razryadlanish kuchlanishi (kV)	380	660	840	1140	1440
Izolyatorlar shodasining impuls mustahkamligi bo'yicha ekvivalent bo'lgan havo oralig'i (sm)	-	90	130	180	230
Izolyatorlar shodasining ho'l razryadlanish kuchlanishi (kV)	110	256	330	475	585
Izolyatorlar shodasining mustahkamligi bo'yicha ekvivalent bo'lgan havo oralig'i (sm)	27	72	93	135	175
PUE bo'yicha ichki o'takuchlanishda minimal ruxsat etiladigan masofa (sm)	30	80	105	170	220
PUE bo'yicha impuls mustahkamlikdagi minimal ruxsat etiladigan masofa (sm)	45	115	150	210	255

HEULida asosiy izolyatsiya – atmosfera havosidir, lekin atmosfera havosining elektrik mustahkamligi (500 kV/sm) juda pastligi sababli liniyada izolyatsiya oralig'i juda katta tanlanadi. Ba'zi atmosferasi ifloslangan rayonlarda izolyatsiya sezilarli darajada pasayishi va ishchi kuchlanishda ham izolyatsiyaning qoplanish ehtimoli mavjud.

Yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli HEULning faza parchalash sonlari, o'tkazgichlar radiusi, izolyatsiyalovchi oraliq, izolyatorlar shodasidagi izolyatorlar soni, turli o'tkazgichlar massasi shodalar turi to'g'risidagi ma'lumot jadval 4.2-da keltirilgan.

Hozirgi amaliyotda elektr uzatish liniyasining izolyatsiyasini tanlashda ko'pincha kommutatsiya o'ta kuchlanishi va maksimal ishchi kuchlanish bo'yicha tanlanadi.

Kommutatsiya o'ta kuchlanishi U_k , ishchi kuchlanishning amplitudaviy qiymati U_f ga nisbatan hisobiy karrasi bo'yicha beriladi:

$$U_k = KU_f \quad (4.2)$$

4.2- jadval. O'ta yuqori kuchlanishli HEUL izolyatsiya oraliqlarining xarakteristikalar.

Nominal kuchlanish (kV)	330	500	750	1150
O'tkazgichlar radiusi (mm)	20	23	22.5	15
Uzunligi 400 m bo'lgan o'tkazgichning massasi (kg)	906	2222	2962	3622
Tortib turuvchi izolyatorlar shodasi	PS-120 A	PS-210B	PS-120 A	PS-304
Izolyatorlar soni	2x19	3x21	5x37	4x47
Izolyatorlar shodasining massasi (kg)	311	765	1539	3581
Himoya armaturasining massasi (kg)	125	244	445	949
Ushlab turuvchi izolyatorlar shodasi	PS- 70D	PS- 120A	PS- 120A	PS- 400A
Shodadagi izolyatorlar soni	1x21	41	44	2x49
Izolyatorlar shodasining massasi (kg)	100	223	627	2171

Elektr sistemasida kommutatsiya o'takuchlanishning karrasi sistema neytralining rejimiga, HEUL xossasiga, uning uzunligiga, rezonans xususiyatiga ko'ndalang reaktorlar va buylama kompensatsiyalovchi uskunalarning mavjudligiga, o'chirgichlarning xossalriga va razryadlagichlarga bog'liq. Amaliyotda kommutatsiya o'ta kuchlanishining karrasi K har xil kuchlanishdagi tarmoqlar uchun quyidagi qiymatlarga ega: $U_n = 35$ kV, $K = 3.5$; $U_n = 110 - 220$ kV, $K = 3$; $U_n = 330$ kV, $K = 2.7$; $U_n = 500$ kV, $K = 2.5$; $U_n = 750$ kV, $K = 2.1$; $U_n = 1150$ kV, $K = 1.8$.

Loyihalash amaliyotida liniya izolyatsiyasini tanlash uchun quyidagi usul qo'llaniladi:

a) Kuchlanish U_k ning qiymati bo'yicha shodaning o'rtacha kerakli ho'l razryadlanish kuchlanishi aniqlanadi:

$$U_{HR} = \frac{U_k}{K_o K_p K_r}, \quad (4.3)$$

bu yerda K_p – bosimning standart bosimdan farqini e'tiborga oladigan tuzatish koeffitsienti bo'lib, dengiz sathiga nisbatan balandlikka bog'liq holda $0.94 \div 0.96$ oralig'ida qabul qilinadi:

$$h \leq 500 \text{ m da } K_p = 0.94, \quad h > 500 \text{ m da } K_p = 0.96.$$

K_r - izolyator sirtining ifloslanishi, elektr o'tkazuvchanlikning farqi va yomg'irning intensivligini hisobga oluvchi tuzatish koeffitsienti bo'lib, ko'pchilik holatlarda $K_r = 1.1$ qabul qilinadi; K_o - impuls koeffitsienti

bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi: $U_n = 110 \text{ kV}$ da $K_r = 1,15$; $U_n = 220 - 330 \text{ kV}$ da $K_r = 1,1$; $U_n = 500 \text{ kV}$ da $K_r = 1,05$; $U_n = 750 \text{ kV}$ va undan yuqori kuchlanishda $K_r = 1,0$; K_σ - natijalarning ehtimolligi bo'lib, odatda $K_\sigma = 0,85$ qabul qilinadi.

b) Ho'l razryadlanish kuchlanganligining qiymati bo'yicha:

$$U_{HR} = E_{HR} nh.$$

Bu yerda E_{HR} - ho'l razryadlanganligi gradienti bo'lib, u izolyatorlar rusumiga bog'liq holda $2,9 \div 3,7$ oralig'ida bo'ladi. U bo'yicha shodadagi izolyatorlarning soni tanlanadi.

v) Izolyatorlar shodasida deffektli izolyator mavjudligining ehtimolini hisobga olish uchun liniyaning kuchlanishi $35 - 330 \text{ kV}$ bo'lganda bitta elementga va 500 kV va undan yuqori bo'lganda 2 ta elementga oshiriladi.

g) Izolyatorlar shodasidagi izolyatorlarning to'liq soni topilgandan keyin ishchi kuchlanishda sirg'ish toki oqish yo'lining uzunligiga tekshiriladi. $\frac{l_{sr}}{U_f} > \lambda_{sr}$ shart bajarilishi uchun $\frac{nl_s}{U_f} \geq \lambda_s$ tengsizlik

qanoatlantirilishi kerak. Sirg'ish toki oqayotgan yo'lining talab etiluvchi uzunligi λ_{sr} rayonning ifloslanish darajasiga bog'liq.

Agar olingan sirg'ish toki oqish yo'lining uzunligi λ_{sr} izolyatorlar shodasining uzunligidan uncha farq qilmasa, uni kattalashtirish kerak. Farq ancha sezilarli bo'lsa, maxsus ifloslanishga chidamli bo'lgan izolyatorlar qo'llaniladi.

d) Ishchi kuchlanishning ta'sirini hisobga oluvchi kerakli «o'tkazgich-tayanch» yoki «himoya armaturasi – tayanch ustuni» izolyatsiya oralig'i S_I aniqlaniladi. Buning uchun oraliqning o'rtacha razryadlanish kuchlanishi quyidagicha hisoblanadi:

$$U_p = \frac{U_f}{\frac{K_\sigma \delta}{K}},$$

bu yerda $\frac{\delta}{K}$ - atmosfera havosining normal zichligi va namligining normal atmosfera sharoitidan farqini hisobga oluvchi koeffitsient bo'lib, dengiz sathidan 1000 metr balandlikda bo'lgan joyda $\frac{\delta}{K} = 0,84$ va dengiz sathidan 500 metr balandlikda $\frac{\delta}{K} = 0,89$.

Nazorat savollari

1. Havo elektr uzatish liniyasi izolyatorlari tuzilishi bo'yicha qanday turlarga bo'linadi?
2. Havo elektr uzatish liniyalarining izolyatorlari materiali bo'yicha qanday turlarga bo'linadi? Ularning afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?
3. Havo liniyalarida o'tkazgichlar oralaridagi masofa qanday shartlardan kelib chiqib tanlanadi?
4. Havo liniyalarida o'tkazgichlar bilan tayanch orasidagi masofalar qanday shartlardan kelib chiqib tanlanadi?
5. Havo elektr uzatish liniyasining izolyatorlariga qo'yiluvchi talablar nimalardan iborat?
6. Elektrodlar orasidagi havo oralig'i ularning razryadlanish xarakteristikallari bo'yicha qanday guruhlariga bo'linadi?
7. 50%li razryadlanish kuchlanishi deganda nimani tushunasiz?
8. Quruq va ho'l razryadlanish kuchlanishlarining ma'nosini tushuntiring.

4.2. Havo elektr uzatish liniyasining izolyatorlar shodasida izolyatorlar sonini tanlash

Yuqori va o'ta yuqori kuchlanishdagi liniyalarda o'tkazgichlarni tayanchlarga osish uchun likopsimon va sterjenli izolyatorlar qo'llaniladi. Sterjen ko'rinishdagi izolyatorlarining materiallariga mexanik mustahkamlik bo'yicha o'ta yuqori talab qo'yiladi, chunki sterjenning uzilishi liniya o'tkazgichlarining yerga tushishi va liniyaning uzoq muddatga o'chirilishiga olib keladi. Yangi izolyatsiyalovchi materiallarning, ayniqsa, stekloplastikaning o'zlashtirilishi sterjen ko'rinishdagi izolyatorlar uchun keng istiqbol ochib berdi. Chunki, u mexanik mustahkamligi buyicha po'latdan qolishmasada vazni po'latga nisbatan 4 marta yengil. Bu esa uning diametrini kattalashtirish hisobiga shikastlovchi yukni oshirishga imkon beradi.

Ammo stekloplastik izolyatorlarni yasash kelajakda amalga oshirilishi mumkin. Shu sababli hali HEULsida keng tarqalgan izolyator – likopsimon izolyatorlar bo'lib qoladi. Chunki chinnidan va ayniqsa, toblangan shishadan yasalgan izolyatorlarning yuqori mustahkamligi, bu

materiallarning siqishga bo'lgan mustahkamligi uning uzishga bo'lgan elektrik mustahkamligidan kattaligi bilan xarakterlanadi. Hozirgi vaqtda 40 tonna yukni ko'tara oladigan likopsimon izolyatorlar amalda qo'llanilmoqda. Likopsimon izolyatorlar o'tkazgichlarni osish uchun ketma-ket ulanib izolyatorlar shodasini tashkil etadi.

Kuchlanishi 35 kV va undan yuqori bo'lgan HEULda o'tkazgichlarni tayanchlarga mahkamlash uchun osiluvchan izolyatorlar shodasidan foydalaniladi. Oraliq tayanchlarda izolyatorlar shodasi vertikal holatda joylashib, ular **tutib turuvchi**, anker va burchak tayanchlarida esa, gorizontal kuch ancha katta bo'lganligi sababli izolyatorlar shodasi deyarli gorizantal joylashib, ular **tortib turuvchi** izolyatorlar shodasi deb yuritiladi. Izolyatorlar shodasining mexanik mustahkamligi uni tashkil etgan izolyatorlarning mexanik mustahkamligiga bog'liq. Shuning uchun izolyatorlar shodasi bir rusumdagi izolyatorlardan yig'iladi. Juda katta yuklanishlarda va katta tayanch oraliqlarida (daryolar, daralar va temir yo'l liniyalarini kesib o'tishda) bir nechta parallel izolyatorlar shodasi qo'llaniladi.

Shodaning elektrik mustahkamligini alohida olingan yagona izolyatorning razryadlanish kuchlanishi va shodadagi shunday izolyatorlar soni bilan yetarlicha aniqlikda baholash mumkin emas. Buni shunday tushintirish mumkinki elektrodlar orasidagi eng qisqa razryadlanish yo'li xuddi shunday izolyatorning shodadagi razryadlanish yo'lining uzunligi bo'yicha farq qiladi. Elektrodlar oralig'ida razryadlanish rivojlanadigan yo'l shodada izolyator bilan alohida olingan izolyatorniki bir biridan farq qiladi.

Izolyatorlar shodasining uzunligi quyidagi ifoda orqali aniqlaniladi:

$$l_{shoda} = nH, \quad (4.4)$$

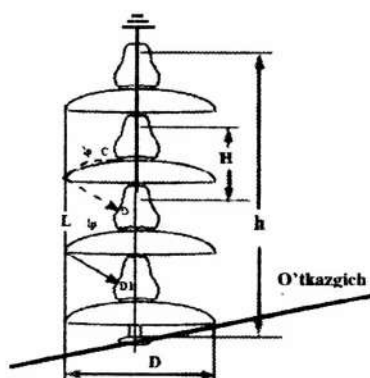
bu yerda H - bitta izolyatorning balandigi; n - shodadagi izolyatorlar soni.

Shodada izolyatorlar o'zaro sharnirli bog'langanligi uchun egiluvchan bo'lib yon tomondan esayotgan shamol ta'sirida yuklanishni kamaytiradi.

Izolyatorlar shodasidagi izolyatorlar soni bilan ho'l razryadlanish kuchlanishi orasida quyidagicha chiziqli bog'lanish mavjud:

$$U_{irr} = nE_{irr}H, \quad (4.5)$$

bu yerda E_{HR} - o'rtacha ho'l razryadlanish kuchlanganligi bo'lib, u izolyator rusumiga qarab quyidagicha qabul qilinadi: II- 4,5; II-7; II- 8,5 rusumli izolyatorlar uchun 2,15 kV/sm, IIM-4,5 uchun esa 2,7 kV/sm.



4.5- rasm. Osiluvchan izolyatorlar shodasining asosiy ulchamlari:

$h = nH$ - shodaning uzunligi;

L - shodadagi razryadlanish masofasi;

l_p - shodadagi izolyator razryadlanish masofasi.

Tajriba ko'rsatadiki, $\frac{l_p}{H} = 1,3$

bo'lganda razryadlanish izolyator sirti bo'ylab rivojlanadi, quruq razryadlanish gradienti «sterjen - sterjen» havo oralig'ining o'rtacha razryadlanish gradientiga teng bo'lgan maksimal qiymatgacha yetishadi. $\frac{l_p}{H} > 1,3$ bo'lishi maqsadga muvofiq hisoblanmaydi.

$\frac{l_p}{H}$ nisbatni oshirish uchun likop-

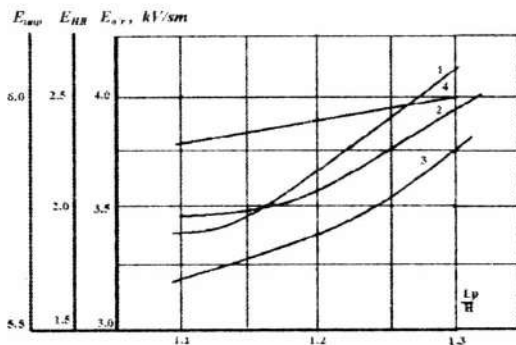
ning diametrini oshirish, izolyator qalpog'ining o'lchamini kamaytirish yoki sterjenning uzunligini kamaytirish orqali izolyator balandligini kamaytirish mumkin.

Izolyatorning mexanik mustahkamligini oshirish, har doim izolyator boshining o'lchamini oshishiga olib keladi. Shuning uchun bir vaqtning o'zida $\frac{l_p}{H}$ nisbatning optimal qiymatini saqlash uchun likopning diametrini oshirishga to'g'ri keladi.

Yomg'ir yog'ayotgan paytda butun kuchlanish izolyatorning ho'lanmagan sirtiga to'g'ri keladi, shuning uchun $\frac{l_p}{H}$ nisbatning ko'payishi o'z navbatida ho'l razryadlanish kuchlanishining oshishiga olib keladi. 4.6-rasmda o'zgaruvchan kuchlanish yoki kuchlanish impulsida o'rtacha razryadlanish kuchlanganligining $\frac{l_p}{H}$ nisbatga bog'liqlik grafigi keltirilgan.

Shodadagi izolyatorlar soni shunday tanlanadiki uning ho'l razryadlanish kuchlanishi hisobiy ichki o'ta kuchlanish sathidan yuqori bo'lishi kerak, ya'ni

$$U_{HR} \geq U_{\text{ichki O'K}} \quad (4.6)$$



4.6- rasm. Likopsimon izolyator uchun o'rtacha razryadlanish kuchlanishining $\frac{l_p}{H}$ nisbatga bog'liqligi: 1- o'rtacha quruq razryadlanish kuchlanishi (E_{ovr}); 2- o'rtacha ho'l razryadlanish kuchlanishi gradiyenti (E_{HR}); 3 - to'liq musbat qutbli impulslarda o'rtacha razryadlanish gradiyenti (E); 4 - to'liq manfiy qutbli impulslarda o'rtacha razryadlanish kuchlanishi (E_{imp}).

Yuqorida keltirilgan ho'l razryadlanish kuchlanishining shodadagi izolyatorlar soni bilan bo'lgan bog'lanishdan va (4.6) dan foydalanib quyidagini hosil qilamiz:

$$n \geq k \frac{U_{ichki\ o'ta}}{E_{HR} H}, \quad (4.7)$$

bu yerda k - sistemada ichki o'ta kuchlanish paydo bo'lish paytida manbalarning EYuKsi oshirilgan qiymatda bo'lishi mumkinligini hisobga oluvchi koeffitsient. Kuchlanishi 330 kV va undan past bo'lgan kuchlanishdagi tarmoqlarda o'ta yuklanish vaqtida uzoqda joylashgan ist'emolchilar shinasidagi kuchlanishni rostlash uchun fazalarning nominal kuchlanishi bo'yicha hisoblangan qiymatiga nisbatan 15% ga oshirilishi talab etiladi.

Bu koeffitsient yordamida havoning bosimi, temperaturasi va namligi o'zgarishining noqulay sharoitida ham razryadlanish kuchlanishining pasayishi hisobga olinadi.

4.3- jadvalda k ga ta'sir etadigan faktorlarning hisobga olinishi keltirilgan. Bu yerda tuzatish koeffitsienti k yuqorida keltirilgan barcha ta'sir etuvchi faktorlarni hisobga oluvchi koeffitsientlarning o'zaro ko'paytmasi sifatida aniqlanadi.

Shunday qilib shodadagi izolyatorlar sonini tanlash sharti quyidagi ko'rinishga keladi:

$$n \geq \frac{1,1U_{\text{ichki}}(T_K)}{E_{\text{HR}}H} . \quad (4.8)$$

Odatda (4.8) formula orqali topilgan shodadagi izolyatorlar soniga ekspluatatsiya sharoitida izolyatorlardan bittasi shikastlangan bo'lishi mumkinligini hisobga olib, yana bitta izolyator qo'shiladi. Burchak va anker tayanchlardagi shodadagi hisoblab topilgan izolyatorlar sonini yana 2 ta izolyatorga oshiriladi.

Izolyatorlar shodasidagi izolyatorlar sonini tanlashda real ekspluatatsiya sharoitining ho'l razryadlanish kuchlanishi o'lchanayotgan sharoitdan farqi hisobga olinadi. Chunki ho'l razryadlanish kuchlanishini o'lchash juda og'ir sharoit uchun normallashtirilgan. Su sababli ekspluatatsiya sharoitida topilgan ho'l razryadlanish kuchlanishi laboratoriya sharoitida o'lchangan ho'l razryadlanish kuchlanishidan taxminan 20% ko'proq bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan uslub bo'yicha izolyatorlar shodasida izolyatorlar sonini tanlashda izolyatorlar sirtining ifloslanishi natijasida ho'l razryadlanish kuchlanishining pasayishi hisobga olinmadi. HEUL izolyatorlari yarim o'tkazuvchan qatlam bilan ifloslanganda izolyatorlarning elektr mustahkamligining pasayishi ayniqsa sezilarli bo'ladi. Ifloslanishlar intensivligi va xarakteri har xil bo'lganligi sababli ularning razryadlanish kuchlanishiga ta'siri ham har xil bo'ladi. Shu sababli EULning ishonchli ishlashi quyidagi tadbirlarning qo'llanilishi natijasida ta'minlab beriladi:

a) izolyatorlar shodasida sirti rivojlangan va sirg'ish tokining oqish yo'li uzun bo'lgan maxsus izolyatorlarni qo'llash;

b) izolyatorlar shodasida normal yasalgan izolyatorlar sonini ko'paytirish hisobiga;

v) izolyatorlar shodasidagi izolyator sirtini davriy ravishda maxsus vositalar yordamida tozalash hisobiga.

Izolyatorlar shodasi bo'ylab razryadlanish uchta yo'l bo'yicha rivojlanishi mumkin (4.5-rasm): 1) chinni izolyatorning barcha egilishlari bo'yicha; 2) izolyatorlar qalpoqlari orasidagi eng qisqa yo'l bo'yicha va 3) butun shoda bo'yicha havoda. Razryadlanishning qaysi yo'nalish bo'yicha rivojlanishi razryadlanishdan oldingi paytda oqayotgan tok va ta'sir etayotgan kuchlanishning chastotasiga bog'liq.

4.3- jadval. Ichki o'takuchlanishni hisoblashda tuzatish koeffitsientiga ta'sir etuvchi faktorlar.

Ta'sir ko'rsatuvchi faktorlar	Tuzatuvchi koeffitsient
Faza kuchlanishining nominal kuchlanishdan oshishi	1,15
Atmosfera sharoitining noqulay o'zgarishi	1,07
Ekspluatatsiya sharoitining U_{m} o'lchash sharoitidan farqi	
a) yomg'ir kuchi	0,95
b) yomg'ir suvining qarshiligi	0,9
v) kuchlanishning ta'sir etish vaqti	0,95
Razryadlanish kuchlanishidan chidash mumkin bo'lgan kuchlanishga o'tishning zahirasi	1,10
(4) formuladagi k koeffitsient	1,1

Chastotaning o'nlab va yuzlab Gts bilan o'zgarishida va shodaning quruq sirti bo'ylab razryadlanish sirg'ish toki oqayotgan yo'li l_{sr} ning izolyator balandligi H ga nisbatiga ko'ra 2 yoki 3 ta yo'l bo'yicha rivojlanishi mumkin.

Tajriba shuni ko'rsatadiki, agar $\frac{l_{\text{sr}}}{H} \geq 1,3$ bo'lsa, shoda bo'ylab razryadlanish 3 ta yo'l bo'yicha rivojlanadi. $\frac{l_{\text{sr}}}{H} \leq 1,3$ bo'lganda esa, eng kuchsiz uchastka 2 ta yo'l hisoblanadi. Izolyatorlar shodasining berilgan uzunligida 3- yo'l maksimal quruq razryadlanish kuchlanishiga mos keladi. Shuning uchun izolyatorlarni qurayotgan paytda $\frac{l_{\text{sr}}}{H} \geq 1,3$ shartni qanoatlantirish uchun uning diametrini ko'paytirish yoki qurilish balandligini qisman qisqartirish mumkin. Birinchi yo'l kam samarali hisoblanadi, chunki u izolyatorning o'lchami va massasining ko'payishiga olib keladi. Ikkinchi yo'lda esa izolyato qalpog'ining qisqartirilishi uning mexanik mustahkamligini pasaytiradi. $\frac{l_{\text{sr}}}{H} \geq 1,3$ shart barcha zamonaviy izolyatorlar uchun qanoatlantirilgani sababli shodaning razryadlanish kuchlanishi razryadlanishni rivojlanishining yuqorida keltirilgan uchinchi yo'li bilan belgidanib, u izolyatorlarning rusumiga bog'liq emas.

Yomg'ir yog'ayotgan sharoitda kuchlanish to'laliqicha pastki kam ho'llangan sirtga yotadi, shuning uchun $\frac{l_{\text{sr}}}{H}$ ning kat'ialishishi izolya-

torlar shodasining ho'l razryadlanish kuchlanishining oshishiga olib keladi.

Nazorat savollari

1. Havо elektr uzatish liniyasining tutib turuvchi va tortib turuvchi izolyatorlar shodasini ta'riflang.
2. Izolyatorlar shodasining elektrik mustahkamligini alohida izolyatorning elektrik mustahkamligi bo'yicha aniqlash mumkinmi? Nega?
3. Shodadagi izolyatorlar sonini tanlash shartini tushuntiring.
4. Izolyator sirtining ifloslanishi ho'l razryadlanish kuchlanishiga qanday ta'sir etadi?
5. Havо liniyalaridagi izolyatorlar shodasining ishonchli ishlash darajasini oshirish uchun qanday tadbirlar qo'llaniladi?
6. Izolyatorlar shodasi bo'ylab razryadlanish nechta yo'l bilan rivojlanishi mumkin?
7. Sirg'ish tok yo'li uzunligining oshishi razryadlanish kuchlanishiga qanday ta'sir etadi? Buning sababini tushuntiring.

4.3. Kuchlanishning izolyatorlar shodasi bo'ylab taqsimlanishi

Izolyatorlar shodasi doimo tayanch bilan o'tkazgich orasidagi keskin kuchli bir jinsli bo'lmagan elektr maydonida joylashadi. Shu sababli izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanish notekis taqsimlanadi (4.7- rasm). Tajriba ko'rsatadiki, eng katta kuchlanish tushishi kuchli elektr maydonida joylashgan birinchi izolyatorga to'g'ri keladi. Tayanchga yaqinroq joylashgan izolyatorlarda kuchlanish tushishining oshishiga sabab traversa yaqinida elektr maydon kuchlanganligining oshishi hisoblanadi.

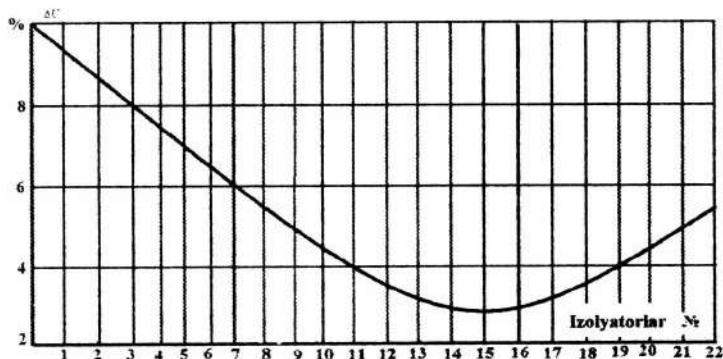
Har bir likopsimon izolyatorni metal qalpoqdan iborat bo'lgan kondensator ko'rinishida tasavvur qilishimiz mumkin. Bu kondensatorning sig'imi qancha katta bo'lsa, izolyatorlar shodasi bo'ylab oqayotgan sig'imi tok ham shunchalik katta bo'ladi va bu kuchlanishning tekisroq taqsimlanishiga olib keladi. Masalan, shishadan yasalgan izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishi chinnidan yasalgan shodaga nisbatan tekisroq taqsimlanadi, chunki

shisha izolyatorlarning xususiy sig'imi chinninikiga nisbatan kamroq bo'ladi. Shunday qilib, izolyatorlarning xususiy sig'imi qancha katta bo'lsa, izolyator orqali oqayotgan tok ta'sirida traversa bilan o'tkazgich orasidagi elektr maydoni shunchalik buziladi.

Shodadagi izolyatorlarning har xil kuchlanishlar ta'sirida bo'lishi ularning sig'imlariga bog'liq. 4.8- rasmda izolyatorlar shodasining almashtirish sxemasi tasvirlangan. Unda C - likopsimon izolyatorning xususiy sig'imi bo'lib, uning qiymati odatda 50-70 pF, C_1 - izolyatorning yerga yoki zaminlangan konstruksiyaga nisbatan sig'imi, C_2 - izolyatorning o'tkazgichga nisbatan sig'imi. C_1 va C_2 larning qiymati izolyatorning shodadagi holatiga bog'liq. Bu sig'imlarning qiymatlari odatda quyidagi oraliqda bo'ladi:

$$C_1 = 4 \div 5 \text{ pF}; \quad C_2 = 0,5 \div 1 \text{ pF},$$

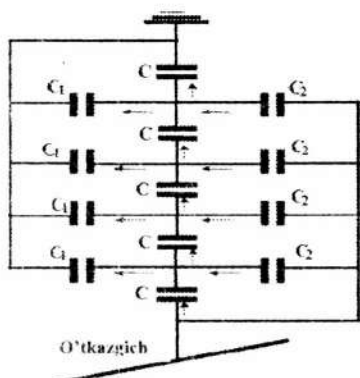
faza simlari parchalangan o'tkazgichlarda esa $C_1 = 2 - 3 \text{ pF}$.



4.7- rasn. Kuchlanishi 500 kV bo'lgan IIC-12 rusmli tutib turuvchi izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishi (shodadagi umumiy kuchlanishga nisbatan foizlarda).

C_1 va C_2 sig'imlar ta'sirida kuchlanish shodadagi izolyatorlar bo'ylab tekis taqsimlanmaydi. Agar o'tkazgichga nisbatan olingan sig'imning ta'sirini qaraydigan bo'lsak, sig'imiy tok va tabiiyki kuchlanishning tushishi zaminlangan qismidan uzoqda joylashgan izolyatorda shuncha kam bo'ladi. Izolyatorlar shodasining yerga nisbatan sig'imi uning o'tkazgichga nisbatan sig'imidan katta va shuning uchun bu sig'im kuchlanishning taqsimlanish harakteriga katta ta'sir ko'rsatadi.

Izolyatorlar shodasidagi izolyatorlar soni $n_H \geq 8$ va shodaning yerga va o'tkazgichga nisbatan sig'imi deyarli teng bo'lsa, shodaning o'tkazgichga nisbatan joylashgan izolyatoridagi kuchlanish tushishining qiymati shodadagi izolyatorlar soniga bog'liq bo'lmasdan, shodaning yerga va o'tkazgichga nisbatan xususiy sig'imlarining nisbati bo'yicha aniqlanadi. Shunday qilib, ushbu xususiy sig'imlar qancha katta bo'lsa, kuchlanishning tushishi ham shuncha katta bo'ladi.



4.8- rasm. Izolyatorlar shodasining almashtirish sxemasi.

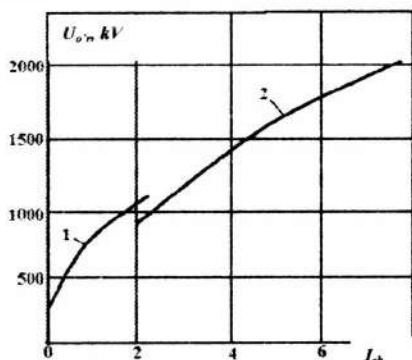
armaturasi izolyatorlarning o'tkazgichga nisbatan bo'lgan sig'imini kattalashtiradi. Kuchlanishning shoda bo'ylab taqsimlanishini tekislashning eng qulay yo'li faza o'tkazgichlarini parchalashni qo'llash hisoblanadi. Yana shuni ta'kidlash lozimki, himoya armaturasi shodaning qoplanishida razryadlanish jarayoni izolyatorlar sirtiga tegmasdan havo orqali rivojlanishini ta'minlaydi. Himoya armaturasi metall sterjendan yoki metall quvurdan yasali b u har xil shaklda (sirg'a, sakkiz shaklida, oval) bo'lishi mumkin.

Izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanishning notekis taqsimlanishi natijasida o'tkazgichga yaqin joylashgan izolyatorida ishchi kuchlanishda ham tojlanish razryadi rivojlanishi mumkin. Shodadagi izolyatorida tojlanish boshlanishi uchun undagi kuchlanish 20 – 25 kV dan kam bo'lmasligi kerak. Simga yaqin joylashgan izolyatorlarda ishchi kuchlanishda ham tojlanish boshlanib, kuchli radiopomex hosil qilishi hamda uning metal qismlarida chirishning (karroziya) boshlanishiga olib kelishi mumkin. Kuchlanishning notekis taqsimlanishi ta'sirida shoda-

Yuqorida ta'kidlaganimizdek, eng katta kuchlanish tushuvi o'tkazgichga yaqin joylashgan izolyatorida bo'lsa, eng kichik kuchlanish tushuvi o'rtada joylashgan izolyatorida bo'lib, zaminlangan konstruksiyaga yaqin joylashgan izolyatorlarda oshib boradi. Izolyatorlar shodasi bo'ylab kuchlanish taqsimlanishining notekisligi shodaning uzunligi oshib borgani sari kuchayib boradi. Izolyatorlar shodasida kuchlanishning taqsimlanishini tekislash uchun qo'llaniladigan usul – himoya armaturasi-nining qo'llanilishidir. Himoya arma-

dagi elementlar soni qanday bo'lishidan qat'iy nazar simga nisbatan birinchi turgan izolyatorlarda kuchlanishning tushishi 20% ga tengligi aniqlangan.

Shodaning o'rtacha quruq razryadlanish kuchlanishi, xuddi havo oralig'idagidek shodaning uzunligi oshgani sari kamayib boradi. Masalan, shodaning uzunligini 1m dan 6 metrgacha uzaytirganimizda uning o'rtacha quruq razryadlanish kuchlanganligi 5,5 dan 2.8 kV/sm gacha kamayadi (4.9- rasm). Kommutatsiya impulslari ta'sir etganda, quruq razryadlanish kuchlanganligining pasayishi 50 Gts chastota bilan davriy o'zgaruvchi kuchlanishdagiga nisbatan ancha sekin amalga oshadi.



4.9- rasm. Quruq razryadlanish kuchlanishi-ning himoya armaturasiga ega bo'lmagan (1) va ega bo'lgan (2) shodaning uzunligiga bog'liqligi.

Izolyatorlar shodasining elektr mustahkamligi o'rtacha ho'l razryadlanish kuchlanganligi bilan xarakterlanadi:

$$E_{HR} = \frac{U_{HR}}{nH}, \quad (4.9)$$

bu yerda U_{HR} - izolyatorlar shodasining ho'l razryadlanish kuchlanishi.

Ho'l razryadlanish kuchlanganligining doimiyliги shodaning ho'llangan sirti bo'ylab kuchlanishning yetarlicha tekis taqsimlanishi bilan ta'minlanadi.

Ho'l razryadlanish kuchlanganligining qiymati izolyatorlar turiga bog'liq holda, 50 Gts chastota bilan davriy o'zgaruvchi kuchlanishda osma likopsimon izolyatorlar uchun 2,0 dan 2,6 kV/sm gacha o'zgaradi. Bu ko'rsatkich kommutatsiya impulslarida o'zgaruvchan kuchlanish holatidagiga nisbatan kattaroq (taxminan 1,5 marta) bo'ladi. Bu esa kuchlanishning qisqa muddatga ta'sir etishi va izolyator sirtida issiqlik jarayonining to'liq rivojlanishi uchun yetarli emasligi bilan tushuntiriladi.

Razryadlanish kuchlanishining qiymati bilan izolyator sirti bo'ylab oqayotgan sirg'ish toki orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{sir} = \frac{U}{R_{sir}}, \quad (4.10)$$

bu yerda R_{sir} – izolyator sirti bo‘ylab sirg‘ish qarshiligi.

Agar izolyator sirtining ifloslanishini qalinligi Δ va hajmiy solishtiruv qarshiligi ρ bo‘lsa, diametri D bo‘lgan silindr ko‘rinishdagi silliq izolyator uchun

$$R_{sir} = \frac{\rho L_{sir}}{\pi \Delta D}, \quad (4.11)$$

bu yerda L_{sir} – sirg‘ish toki oqish yo‘lining uzunligi.

Shoda bo‘ylab kuchlanishning taqsimlanishi ko‘pgina holatlarda tajriba yo‘li bilan o‘rganiladi. Bunday tajriba butun jahon amaliyotida o‘lchash asboblari moslaydigan usul shar-shar elektrodlaridan foydalanib amalga oshiriladi.

Likopsimon izolyatorlar shodasi bo‘ylab kuchlanishning notekis taqsimlanishi izolyatorlarda ruxsat etilishi mumkin bo‘lgan kuchlanishning qiymatini aniqlash muammosini oldinga suradi. Bunday holatda izolyatorlarning oshirilgan kuchlanishda ishlashida yuzaga keladigan oqibatlarni o‘rganish zarur:

1. Oshirilgan elektr yuklanishlarda izolyatorlar detallarining eskirishining tezlashishi;
2. Izolyator armaturasida tojlanish razryadining rivojlanishi natijasida paydo bo‘ladigan azot oksidi va ozonning ta’sirida izolyatorlar metal qismlarining tezroq eskirishi (korroziyalanishi).
3. Izolyator armaturasida strimer tojlanish razryadining rivojlanishida yuqori chastotali radio – pomexning qo‘zg‘atilishi.

Nazorat savollari

1. Havo elektr uzatish liniyasining kuchlanishi shodadagi izolyatorlar bo‘ylab qanday taqsimlanadi?
2. Havo elektr uzatish liniyasining kuchlanishi shodadagi izolyatorlar bo‘ylab notekis taqsimlanganda eng katta kuchlanish qanday izolyatorga to‘g‘ri keladi?
3. Izolyatorlar shodasining almashtirish sxemasini chizing va uning parametrlarini tushuntiring.
4. Izolyatorlar shodasining quruq razryadlanish kuchlanishi shodaning uzunligiga qanday darajada bog‘liq?
5. Izolyatorlar shodasining kuchlanish bo‘yicha o‘ta yuklangan holatlarda ishlashi qanday salbiy oqibatlarni keltirib chiqarishi mumkin?

4.4. Yagona va parchalangan o'tkazgichlar sirtida elektr maydon kuchlanganligi

Izolyatsiyalangan elektrod elektr maydoniga joylashtirilganda elektrod sirtida indutsiyalangan zaryadlarning bo'linishi natijasida maydon buziladi. Yangi natijaviy maydonda elektrod sirti ekvopotensial bo'lib, maydon kuch chiziqlari bu sirtga normal yo'nalgan bo'ladi. Elektrodda elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishi uning sirtini tekisligiga bog'liq. Elektrodning o'tkirlashgan qismida elektr maydon kuchlanganligi keskin oshib ketadi. Shuning uchun chetlari o'tkirlashgan yoki bo'rtishli elektrodlar tashqi kuchsiz maydonga kiritilganda maydonning kuchlanganligi ruxsat etilmaydigan qiymatgacha o'sib ketishi mumkin.

Maydon kuchlanganligi E_0 bo'lgan tekis taqsimlangan elektr maydoniga kiritilgan sharning va silindrning (o'tkazgichning) sirtida maydon kuchlanganligi uchun masalaning aniq yechimi topilgan. Shar sirtida maydonning maksimal kuchlanganligi quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$E_M = 3E_0. \quad (4.12)$$

Silindr (o'tkazgich) sirtida esa

$$E_M = 2E_0. \quad (4.13)$$

Elektr uzatish liniyasining o'tkazgichlari ularning elektr maydonini o'rganishda silindrik elektrod sifatida tasvirlanadi. O'tkazgichlar sirtining notekisligi maxsus koeffitsient orqali hisobga olinadi.

Kuchlanishi 220 kVgacha bo'lgan elektr uzatish liniyalari asosan bitta o'tkazgichli qilib yasaladi, ya'ni har bir fazada bittadan o'tkazgich mavjud bo'ladi. Bunda faza o'tkazgichlari orasidagi masofa d o'tkazgichning radiusi r_0 dan ancha katta bo'ladi. Agar o'tkazgichdagi solishtirma zaryad q bo'lsa, u holda o'tkazgich yaqinida elektr maydoni fazoda joylashgan izolyatsiyalangan silindr uchun hisoblanadi. Bunga muvofiq o'tkazgich sirtidagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$E = \frac{q}{\varepsilon_0 \cdot 2\pi r_0} = 0,018 \frac{q}{r_0}. \quad (4.14)$$

O'ta yuqori kuchlanishli (YuK) liniyalarda har bir fazaga bir-biridan ma'lum masofaga uzoqlashtirilgan 2 tadan 12 tagacha simlar

$$I_{sr} = \frac{U}{R_{sr}}, \quad (4.10)$$

bu yerda R_{sr} – izolyator sirti bo‘ylab sirg‘ish qarshiligi.

Agar izolyator sirtining ifloslanishini qalinligi Δ va hajmiy solishtirma qarshiligi ρ bo‘lsa, diametri D bo‘lgan silindr ko‘rinishdagi silliq izolyator uchun

$$R_{sr} = \frac{\rho L_{sr}}{\pi \Delta D}, \quad (4.11)$$

bu yerda L_{sr} – sirg‘ish toki oqish yo‘lining uzunligi.

Shoda bo‘ylab kuchlanishning taqsimlanishi ko‘pgina holatlarda tajriba yo‘li bilan o‘rganiladi. Bunday tajriba butun jahon amaliyotida o‘lchash asboblari moslaydigan usul shar-shar elektrodlaridan foydalanib amalga oshiriladi.

Likopsimon izolyatorlar shodasi bo‘ylab kuchlanishning notekis taqsimlanishi izolyatorlarda ruxsat etilishi mumkin bo‘lgan kuchlanishning qiymatini aniqlash muammosini oldinga suradi. Bunday holatda izolyatorlarning oshirilgan kuchlanishda ishlashida yuzaga keladigan oqibatlarni o‘rganish zarur:

1. Oshirilgan elektr yuklanishlarda izolyatorlar detallarining eskirishining tezlashishi;
2. Izolyator armaturasida tojlanish razryadining rivojlanishi natijasida paydo bo‘ladigan azot oksidi va ozonning ta’sirida izolyatorlar metal qismlarining tezroq eskirishi (korroziyalanishi).
3. Izolyator armaturasida strimer tojlanish razryadining rivojlanishida yuqori chastotali radio – pomexning qo‘zg‘atilishi.

Nazorat savollari

1. Havo elektr uzatish liniyasining kuchlanishi shodadagi izolyatorlar bo‘ylab qanday taqsimlanadi?
2. Havo elektr uzatish liniyasining kuchlanishi shodadagi izolyatorlar bo‘ylab notekis taqsimlanganda eng katta kuchlanish qanday izolyatorga to‘g‘ri keladi?
3. Izolyatorlar shodasining almashtirish sxemasini chizing va uning parametrlarini tushuntiring.
4. Izolyatorlar shodasining quruq razryadlanish kuchlanishi shodaning uzunligiga qanday darajada bog‘liq?
5. Izolyatorlar shodasining kuchlanish bo‘yicha o‘ta yuklangan holatlarda ishlashi qanday salbiy oqibatlarni keltirib chiqarishi mumkin?

4.4. Yagona va parchalangan o'tkazgichlar sirtida elektr maydon kuchlanganligi

Izolyatsiyalangan elektrod elektr maydoniga joylashtirilganda elektrod sirtida indutsiyalangan zaryadlarning bo'linishi natijasida maydon buziladi. Yangi natijaviy maydonda elektrod sirti ekvopotensial bo'lib, maydon kuch chiziqlari bu sirtga normal yo'nalgan bo'ladi. Elektrodda elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishi uning sirtini tekisligiga bog'liq. Elektrodning o'tkirlashgan qismida elektr maydon kuchlanganligi keskin oshib ketadi. Shuning uchun chetlari o'tkirlashgan yoki bo'rtishli elektrodlar tashqi kuchsiz maydonga kiritilganda maydonning kuchlanganligi ruxsat etilmaydigan qiymatgacha o'sib ketishi mumkin.

Maydon kuchlanganligi E_0 bo'lgan tekis taqsimlangan elektr maydoniga kiritilgan sharning va silindrning (o'tkazgichning) sirtida maydon kuchlanganligi uchun masalaning aniq yechimi topilgan. Shar sirtida maydonning maksimal kuchlanganligi quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$E_M = 3E_0. \quad (4.12)$$

Silindr (o'tkazgich) sirtida esa

$$E_M = 2E_0. \quad (4.13)$$

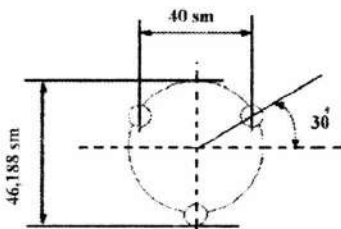
Elektr uzatish liniyasining o'tkazgichlari ularning elektr maydonini o'rganishda silindrik elektrod sifatida tasvirlanadi. O'tkazgichlar sirtining notekisligi maxsus koeffitsient orqali hisobga olinadi.

Kuchlanishi 220 kVgacha bo'lgan elektr uzatish liniyalari asosan bitta o'tkazgichli qilib yasaladi, ya'ni har bir fazada bittadan o'tkazgich mavjud bo'ladi. Bunda faza o'tkazgichlari orasidagi masofa d o'tkazgichning radiusi r_0 dan ancha katta bo'ladi. Agar o'tkazgichdagi solishtirma zaryad q bo'lsa, u holda o'tkazgich yaqinida elektr maydoni fazoda joylashgan izolyatsiyalangan silindr uchun hisoblanadi. Bunga muvofiq o'tkazgich sirtidagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$E = \frac{q}{\varepsilon_0 \cdot 2\pi r_0} = 0,018 \frac{q}{r_0}. \quad (4.14)$$

O'ta yuqori kuchlanishli (YuK) liniyalarda har bir fazaga bir-biridan ma'lum masofaga uzoqlashtirilgan 2 tadan 12 tagacha simlar

to'plami osiladi (4.9-rasm). Bu o'tkazgichlarni parchalash deb yuritiladi. To'plamdagi barcha o'tkazgichlar bir xil potensial ostida bo'ladi.



4.9- rasm. 500 kV kuchlanishli
HEUL parchalangan o'tkazgichlarining
joylashuvi.

Odatda parchalangan o'tkazgichlar radiusi R bo'lgan aylananing perimetri bo'ylab simmetrik joylashadi (4.9-rasm). O'tkazgichlar orasidagi masofa a o'tkazgichning radiusidan bir necha marta katta bo'lib, bu masofa fazani parchalash qadami deb yuritiladi. Agar to'plamdagi o'tkazgichlar soni n ta bo'lsa qo'shni o'tkazgich $\frac{2\pi}{n}$ radianga teng yoyga

siljiydi. O'tkazgichlarni belgilangan masofada ushlab turish uchun liniya bo'ylab ma'lum masofada joylashtirilgan maxsus ponalar xizmat qiladi.

Fazarlari parchalangan simlarda bir xil nomli zaryadning qo'shni o'tkazgichlarga ta'siri har bir parchalangan o'tkazgich sirtida elektr maydon kuchlanganligining notekis taqsimlanishiga olib keladi. Parchalangan faza o'tkazgichlarining sirtlarida elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishini aniqlash oddiy usullardan biri aylanada aks ettirish (inversiya) usuli yordamida amalga oshiriladi (4.10-rasm). Radiusi r_0 bo'lgan silindr q_0 zaryadli silindrning o'qiga parallel bo'lgan ipning bir jinsli maydonida joylashgan. N bilan qo'shma N' no'qtada $-q_0$ zaryad joylashgan bo'lsa, M nuqtadagi potensial quyidagi munosabatdan topiladi:

$$U_M = -\frac{q_0}{2\pi\epsilon_0} \ln r_1 + \frac{q_0}{2\pi\epsilon_0} \ln r_1' = -\frac{q_0}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_1}{r_1'}. \quad (4.15)$$

Aynan silindr sirtidagi potensial

$$U_M = -\frac{q_0}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{\sqrt{[a - r_0 \cos(\varphi - \psi)]^2 + r_0^2 \sin^2(\varphi - \psi)}}{\sqrt{[r_0 \cos(\varphi - \psi) - \frac{r_0^2}{a}]^2 + r_0^2 \sin^2(\varphi - \psi)}} = \frac{q_0}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{a}{r_0} \quad (4.16)$$

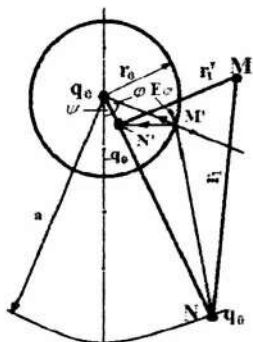
bo'lib, u aylana girdishida doimo o'zgarmas bo'lib qoladi.

Agar silindr izolyatsiyalangan bo'lsa, u holda summaviy zaryad doimo nolga teng bo'ladi.

Barcha o'tkazgichlar to'plami uchun solishtirma zaryad q ma'lum bo'lganda, parchalangan o'tkazgichlar sirtidagi elektr maydonini o'rganamiz. To'plamda o'tkazgichlarning simmetrik joylashganligi sababli har bir o'tkazgichdagi zaryad $\frac{q}{n}$ ga teng. O'tkazgichlar yaqinidagi maydonni hisoblash uchun ustma - ust qo'yish prinsipidan foydalanamiz. Har bir o'tkazgich uchun boshqa o'tkazgichlar yo'q deb qabul qilinib, uning sirtida elektr maydon kuchlanganligi quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$E_r = \frac{q}{\varepsilon \cdot 2\pi r}, \quad (4.16)$$

bu yerda q silindrning birlik uzunligiga mos keluvchi zaryad bo'lib, u elektrodning solishtirma zaryadi deyiladi. O'tkazgichlar sistemasi uchun maydon fazoning har bir nuqtasidagi alohida tashkil etuvchilarning vektor yig'indisi ko'rinishida topiladi.



Parchalangan o'tkazgichlarning sirtidagi elektr maydonining o'rtacha kuchlanganligi quyidagi formula yordamida topiladi:

$$E_{o'r} = \frac{q}{nr_0}. \quad (4.17)$$

4.9-rasmda ko'rsatilganidek, qandaydir θ burchakka mos kelaigan elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha ifodalanadi:

$$E_\theta = E_{o'r}(1 + \beta \frac{r_0}{a} \cos \theta), \quad (4.18)$$

bu yerda $\beta = 2(\pi - 1) \sin \frac{\pi}{n}$;

4.10- rasim. Parchalangan o'tkazgichlar elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishini hisoblashga doir.

n - to'plamdagi o'tkazgichlar soni; r_0 - o'tkazgiching radiusi; a - o'tkazgichlar orasidagi masofa (fazani parchalash qadami). $\theta = 0$ nuqtada E_θ maksimal qiymatga ega:

$$E_{maks} = kE_{o'r}, \quad (4.19)$$

bu yerda $k = 1 + \beta \frac{r_0}{a}$; $\theta = \pi$ nuqtada $E_\theta = E_{min}(1 - \beta \frac{r_0}{a})$.

β , k koeffitsientlarning qiymatlari to'plam ikki, uch va to'rtta o'tkazgichdan iborat bo'lgan holatlar uchun 4.4- jadvalda keltirilgan.

4.4- jadval. Parchalangan faza uchun ekvivalent radius r_0 va k, β ko'effitsientlarning qiymatlari.

Fazadagi o'tkazgichlar soni n	2	3	4
Koeffitsient β	2	$2\sqrt{3}$	$3\sqrt{2}$
Koeffitsient k	$1 + 2\frac{r_0}{a}$	$1 + 2\sqrt{3}\frac{r_0}{a}$	$1 + 3\sqrt{2}\frac{r_0}{a}$
Ekvivalent radius r_0	$\sqrt{r_0 a}$	$\sqrt[4]{r_0 a^2}$	$\sqrt[4]{\sqrt{2} r_0 a^3}$

Yuqorida keltirilgan formulalar bo'yicha olib borilgan hisoblashlar ko'rsatadiki, agar to'plamning summaviy ko'ndalang kesimi o'zgarmas qolsa, o'tkazgichlar sirtidagi elektr maydon kuchlanganligi to'plamdagi o'tkazgichlar soni oshgani sari pasayib boradi. O'tkazgichlar sirtida elektr maydon kuchlanganligi E_{maks} ning pasayishi yuqori kuchlanish elektr uzatish liniyalarida fazani parchalashni qo'llashning maqsadga muvofiqligini bildiradi. Elektr uzatish liniyasi o'tkazgichlarining sirtidagi solishtirma zaryad emas, balki o'tkazgichlardagi kuchlanish doimo ma'lum bo'ladi. Shu sababli faza kuchlanishining qiymatlaridan foydalanib, o'tkazgichlar sirtida mujassamlangan solishtirma zaryadni hisoblash muhim masala hisoblanadi.

Parchalangan o'tkazgichlar to'plamlarining solishtirma zaryadlari (q)ni hisoblashda ularni ko'pincha bitta ekvivalent o'tkazgich bilan almashtiriladi. Ekvivalent o'tkazgichning radiusi r_0 quyidagi formula yordamida hisoblaniladi.

$$r_0 = \sqrt[n]{r_0 \left(\frac{a}{\sin \frac{\pi}{n}} \right)^{n-1} \prod_{k=1}^{n-1} \sin \frac{k}{n} \pi},$$

bu yerda Π ko'paytmani bildiradi.

n ta o'tkazgichli sistemada potensial bilan zaryad orasidagi bog'lanishni Maksvellning tenglamasi orqali ifodalashimiz mumkin:

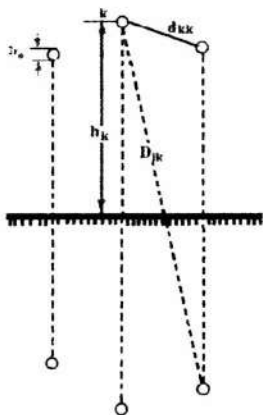
$$\begin{cases} U_1 = \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12}q_2 + \dots + \alpha_{1n}q_n \\ U_2 = \alpha_{21}q_1 + \alpha_{22}q_2 + \dots + \alpha_{2n}q_n \\ \dots \\ U_n = \alpha_{n1}q_1 + \alpha_{n2}q_2 + \dots + \alpha_{nn}q_n \end{cases} \quad (4.20)$$

Bu ifodalardagi α ko'effitsientlar o'tkazgichlarning va ularning oynadagi aksining potensial ko'effitsientlari hisoblanadi (4.10- rasm). Yuqoridagi ifodalardagi potensial ko'effitsient α_{ik} k - o'tkazgich potensialining shu o'tkazgich hosil qilayotgan tashkil etuvchilarini belgilaydi

va k o'tkazgichning xususiy potensial koeffitsienti hisoblanadi. Potensial koeffitsient α_k ($i \neq k$) k o'tkazgich potensialining i - o'tkazgichdagi zaryad hosil qilgan o'zaro potensial koeffitsientining tashkil etuvchisidir (4.11-rasm).

Yuqorida keltirilgan α_{kk} va α_k koeffitsientlar quyidagi formulalar yordamida topiladi, m/pF:

$$\alpha_{kk} = 0,018 \ln \frac{2h_k}{r_k}, \quad \alpha_{ik} = 0,018 \ln \frac{D_{ik}}{d_{ik}}. \quad (4.21)$$



4.11- rasm. O'tkazgichlar sistemasi va ularning oynadagi aksi.

Haqiqiy elektr uzatish liniyalarda o'tkazgichlarning yerga nisbatan balandligi tayanchlar oralig'ida ularning tabiiy cho'zilishi natijasida o'zgaradi, shuning uchun (4.21) ifodadagi h_k o'rniga uning quyidagicha aniqlanuvchi o'rtacha balandligi $h_{o'r}$ qo'yiladi:

$$h_{o'r} = h_M - \frac{2}{3}f,$$

bu yerda h_M - faza simlarining tayanchda osilish balandligi; f - o'tkazgichning solqiligi.

Yuqorida keltirilgan holatlarni ikki o'tkazgichli liniya uchun ko'rib chiqamiz ($n=2$). Ikki o'tkazgichli liniya uchun β va α koeffitsientlar orasidagi bog'lanish quyidagi formulalar orqali ifodalanadi:

$$\beta_{11} = \frac{\alpha_{22}}{\Delta}; \quad \beta_{22} = \frac{\alpha_{11}}{\Delta}; \quad \beta_{12} = \beta_{21} = -\frac{\alpha_{12}}{\Delta}; \quad \Delta = \alpha_{11}\alpha_{22} - \alpha_{12}^2. \quad (4.22)$$

Ikki o'tkazgichli elektr uzatish liniyasi uchun o'tkazgichlar sirtidagi zaryad quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{cases} q_1 = \beta_{11}U_1 + \beta_{12}U_2 \\ q_2 = \beta_{21}U_1 + \beta_{22}U_2 \end{cases} \quad (4.23)$$

Ikki o'tkazgichli liniyalarda $U_1 = -U_2$ deb qabul qilsak, quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} q_1 &= (\beta_{11} - \beta_{12})U_1 = C_1U_1, \\ q_2 &= (\beta_{22} - \beta_{12})U_2 = C_2U_2. \end{aligned}$$

Kuchlanishlar bilan zaryadlarni bog'lovchi C_1 va C_2 sig'implarga liniyaning ishchi sig'imi deyiladi va ular quyidagicha aniqlanadi:

$$C_1 = \frac{q_1}{U_1} = \beta_{11} - \beta_{12}; \quad C_2 = \frac{q_2}{U_2} = \beta_{22} - \beta_{12} \quad (4.23a)$$

Uch fazali uch o'tkazgichli liniyani ko'rib o'tamiz. Uch o'tkazgichli o'zgaruvchan tok kuchlanishidagi elektr uzatish liniyasi uchun β va α koeffitsientlar orasidagi bog'lanishlarni ifodalaymiz:

$$\begin{aligned} \beta_{11} &= \frac{\alpha_{22}\alpha_{33} - (\alpha_{23})^2}{\Delta}, & \beta_{12} = \beta_{21} &= \frac{\alpha_{23}\alpha_{31} - \alpha_{12}\alpha_{33}}{\Delta}, \\ \beta_{22} &= \frac{\alpha_{11}\alpha_{33} - (\alpha_{12})^2}{\Delta}, & \beta_{23} = \beta_{32} &= \frac{\alpha_{31}\alpha_{12} - \alpha_{23}\alpha_{11}}{\Delta}, \\ \beta_{33} &= \frac{\alpha_{11}\alpha_{22} - (\alpha_{12})^2}{\Delta}, & \beta_{31} = \beta_{13} &= \frac{\alpha_{12}\alpha_{23} - \alpha_{31}\alpha_{22}}{\Delta}, \end{aligned} \quad (4.24)$$

bu yerda $\Delta = \alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{33} - \alpha_{11}(\alpha_{23})^2 - \alpha_{22}(\alpha_{12})^2 - \alpha_{33}(\alpha_{12})^2 + 2\alpha_{12}\alpha_{13}\alpha_{31}$.

Uch fazali tarmoq uchun faza kuchlanishi odatda kompleks shaklda beriladi va bunga mos ravishda zaryadlar ham kompleks ko'rinishida ifodalanadi. Shunday qilib,

$$\begin{cases} q_1 = \beta_{11}U_1 + \beta_{12}U_2 + \beta_{13}U_3 \\ q_2 = \beta_{21}U_1 + \beta_{22}U_2 + \beta_{23}U_3 \\ q_3 = \beta_{31}U_1 + \beta_{32}U_2 + \beta_{33}U_3 \end{cases} \quad (4.25)$$

Simmetrik uch fazali rejimda U_1, U_2, U_3 kuchlanishlarning kompleks amplitudasi uchlik vektorni tashkil etadi. Shunday paytni tanlaymizki, haqiqiy qiymatlar o'qi kuchlanish vektori U_1 yunalishiga mos kelsin. Bu paytda 1- fazadagi kuchlanish maksimal va qolgan fazalardagi kuchlanishlar esa kuchlanish vektorining yarmiga teng. Bu qiymatlarni (4.25) sistemaning birinchi tenglamasiga qo'yib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$q_1 = [\beta_{11} - \frac{1}{2}(\beta_{12} + \beta_{13})]U = C_1U.$$

Shunga o'xshash tarzda 2 va 3 o'tkazgichlar uchun ham quyidagi ifodalarga ega bo'lamiz:

$$q_2 = [\beta_{22} - \frac{1}{2}(\beta_{21} + \beta_{23})]U = C_2U,$$

$$q_3 = [\beta_{33} - \frac{1}{2}(\beta_{31} + \beta_{32})]U = C_3U.$$

Har bir o'tkazgichdagi zaryadning amplitudasi bilan kuchlanishini bog'lovchi ishchi sig'implar quyidagi formulalar yordamida topiladi:

$$\begin{cases} C_1 = \frac{q_1}{U} = \beta_{11} - \frac{1}{2}(\beta_{12} + \beta_{13}); \\ C_2 = \frac{q_2}{U} = \beta_{22} - \frac{1}{2}(\beta_{21} + \beta_{23}); \\ C_3 = \frac{q_3}{U} = \beta_{33} - \frac{1}{2}(\beta_{31} + \beta_{32}). \end{cases} \quad (4.26)$$

Elektr uzatish liniyasining elektr maydonini hisoblash quyidagi amallarni ketma-ket bajarishga keltiriladi:

a) Parchalangan o'tkazgichlarning ekvivalent radiusi 4.4- jadvalda keltirilgan formulalar yordamida topiladi;

b) Keltirilgan (4.21) formuladan foydalanib berilgan o'tkazgichlar sistemasi uchun potensial koeffitsienti α hisoblanadi;

v) Sig'imi koeffitsient β ikki o'tkazgichli liniya uchun (4.22) yoki uch o'tkazgichli liniya uchun (4.25) formulalardan foydalanib aniqlaniladi;

g) o'tkazgichlarning ishchi sig'imi aniqlanadi. Buning uchun ikki va uch o'tkazgichli holatlar uchun (4.23a) yoki (4.25) formulalardan foydalaniladi;

d) Kuchlanish qutblari va faza kuchlanishlarining berilgan qiymatlari hamda ma'lum bo'lgan ishchi sig'im uchun o'tkazgichlarning solishtirma zaryadlari hisoblanadi;

e) Ushbu (4.23) fomuladan foydalanib parchalangan o'tkazgichlar sirtidagi o'rtacha elektr maydon kuchlanganligi hisoblanadi;

j) Yuqoridagi jadvalda keltirilgan formuladan foydalanib o'tkazgichlar sirtidagi maksimal maydon kuchlanganligi hisoblanadi.

Taqribiy hisoblashlarda o'tkazgichlar sirtida elektr maydon kuchlanganligining maksimal qiymatini hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$E_M = kE_f = k \cdot 0,018 \frac{C_{ishchi} U_f}{nr_0}, \quad (4.27)$$

bu yerda o'tkazgichning ishchi sig'imi

$$C_1 = \frac{0,24 \cdot 10^5}{lg \frac{D_0}{r_0}}, \quad (4.28)$$

$D_0 = \sqrt{d_{12} d_{23} d_{31}}$; r_0 va k 4.4- jadvaldan aniqlanadi.

Elektr uzatish liniyasining o'rtadagi o'tkazgichida (4.28) formula bo'yicha hisoblangan E_m 7% ga oshiriladi.

Yuqorida keltirilgan hisoblashlarda o'tkazgichlar silliq o'tkazgich ko'rinishida olingan. Haqiqatda esa faza o'tkazgichlari kichik radiusli mis, alyumin va po'lat o'tkazgichlardan buralib tayyorlanadi.

Nazorat savollari

1. Elektr maydon kuchlanganligi nima? U qanday aniqlanadi?
2. «Sterjen-shar» elektrodlar oralig'iga o'zgaruvchan kuchlanish berilganda qaysi bir elektrod sirtida elektr maydon kuchlanganligi katta bo'ladi? Sababini tushuntiring.
3. Havo liniyasida o'tkazgichni parchalash natijasida uning sirtida elektr maydon kuchlanganligi qanday o'zgaradi? Sababini tushuntiring.
4. Havo liniyasining parchalangan o'tkazgichini ekvivalent radiusi qanday aniqlanadi?
5. Elektr uzatish liniyasining elektr maydoni qanday aniqlanadi?

4.5. Yuqori kuchlanish kabellarining izolyatsiyasi

Tashqi tomonidan har xil mexanik va boshqa ta'sirlarga qarshi himoya qobig'i (alyuminiy va qo'rg'oshindan yasalgan) bilan jihozlangan yumshoq izolyatsiyalangan o'tkazgichga - kabel deyiladi. Kuch kabellarining o'tkazgichlari (asosiy elementi) unga kerakli yumshoqlik va mexanik mustahkamlik berish maqsadida ingichka har xil diametrli mis yoki alyuminiy simlardan o'ralib tayyorlangan paylardan iborat bo'ladi. Kabel paylarining bir-biriga va tashqi metal himoya qobig'iga nisbatan ma'lum elektrik va mexanik mustahkamlikka ega bo'lgan izolyatsiyalovchi material yordamida himoyalanaadi. Ko'pincha, izolyatsiyalovchi material sifatida payga mahkam zich o'ralgan kabel qog'ozi va shimdirilgan moy xizmat qiladi. Kuchlanishiga va uning ishlatilish sharoitiga qarab kabellar bir, uch va ayrim hollarda to'rt payli qilib tayyorlanadi. Uch payli kabellar tabiiyki uch fazali tokli sistema uchun qulay bo'lsada, lekin ularni yuqori kuchlanishga mo'ljallab tayyorlashni qiyinlashtiradigan birqancha kamchiliklari mavjud.

Kabel juda ishonchli elektrik va mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi kerak, chunki kabel liniyalari yer ostida joylashganligi tufayli ularda shikastlangan bo'lakni topish va uni almashtirish uchun juda ko'p vaqt va mablag' sarflanadi. Kabel liniyalari bir nechta bulaklardan tashkil topadi va har bir bo'lakning uzunligi kabel mo'ljallangan

kuchlanishga qarab 250 metrdan 750 metrgacha bo'lib, unga kabelning qurilish uzunligi deyiladi. Bo'laklar o'zaro bog'lovchi muftalar yordamida ulanadi va dala sharoitida amalga oshiriladi.

Kabel elektr uzatish liniyalari, havo elektr uzatish liniyalariga nisbatan ancha qimmat. Shuning uchun KEUL asosan HEULni qurishga imkon bo'lmagan rayonlarda (suv havzalarini va daryolarni kesib o'tishda, aholi zich joylashgan shaharlarda va sanoat korxonalarining hududlarida) uncha katta bo'lmagan masofalarda quriladi. KEUL uchun birinchi darajali muammo uning izolyatsiyasi muammosidir. Kabel izolyatsiyasining iqtisodiy tejamkorligi va mustahkamligi uning asosiy ko'rsatkichi hisoblanadi. Izolyatsiyaning ishonchiligi va tejamkorligi kuch kabellarining narxi va qo'llanilish doirasini belgilaydi. Kabel izolyatsiyasining elektrik mustahkamligi o'zgaruvchan tok kuchlanishidan o'zgarmas tok kuchlanishiga o'tishda keskin o'sib ketadi. Shuning uchun uzun kabel liniyalarini qurishga majbur bo'lgan hollarda kabel elektr uzatish liniyasini o'zgarmas tok kuchlanishida amalga oshirish iqtisodiy foydali hisoblanadi.

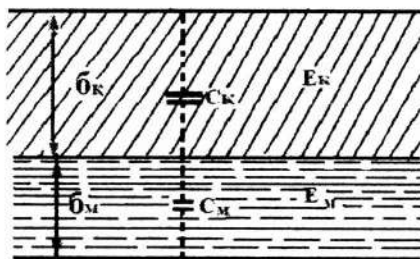
Kabel izolyatsiyasi nafaqat uning tok o'tkazuvchi paylarini izolyatsiyalashga, balki uni ma'lum holatda ushlab turish uchun xizmat qiladi. Shuning uchun kabel izolyatsiyasi ma'lum mexanik va yuqori elektrik mustahkamlikka ega bo'lishi kerak. Bu uning diametrini va narxini kamaytiradi, hamda yumshoqligini temperaturaning keng diapazonda o'zgarishida ham saqlaydi. Amalda yuqori kuchlanish kabellarining izolyatsiyasi qog'oz va qog'ozli – moyli qilib bajariladi.

Ko'pincha kabel izolyatsiyasi o'tkazgichga zich o'ralgan kabel qog'ozidan iborat. Kabel qog'ozida mikro o'yiqlar mavjudligidan uning elektr mustahkamligi unchalik yuqori bo'lmaydi. Shuning uchun kabel qog'oziga qo'shimchalar aralashtirilgan mineral moydan tashkil topgan izolyatsiyalovchi suyuqlik singdiriladi. Moyga har xil minerallarning aralashtirilishi oksidlanish natijasida moy eskirib, uning izolyatsiyalovchi xususiyati yomonlashishining oldini olsa, ikkinchidan qo'shimchanning mavjudligi moyning qovushqoqligini osh. ti. Kabellarda mineral moylarga qo'shiladigan keng tarqalgan qo'shimchanning asosiysi - kanifdir. Bu ko'shimcha yordamida moy qovushqoqligining oshishi kabelning ekspluatatsiya qilish hamda montaj ishlarini bajarishni yengillashtiradi. Shikastlangan joylarni almashtirishda (ta'mirlashda) va birlashtiruvchi muftalarni o'rnatish vaqtida singdirilgan moy oqib ketmaydi. Bunday izolyatsiya alohida olingan

moy va qog'ozning elektrik mustahkamligidan yuqori mustahkamlikka ega. Yuqori kuchlanish kabellarida birlik hajmga to'g'ri keladigan kabel qog'ozini, moy hamda moyning qovushqoqligi bilan bir biridan farq qiladigan har xil qog'ozli – moyli izolyatsiya eng keng tarqalgan.

Qog'ozli moyli izolyatsiya bir qancha ketma-ket kelayotgan moy singdirilgan qog'oz qatlami bilan qog'oz qatlamlari orasiga surtilgan moyli qatlamdan iborat bo'ladi. Texnologik jihatdan bu izolyatsiya uchun o'ralgan qog'oz asosdan va unga singdirilgan moydan tashkil topgan. Hozirgi davrda kombinatsiyalangan izolyatsiyaning yana bir ko'rinishi qog'ozli–moyli izolyatsiya (QMI) keng qo'llaniladi. QMI bir nechta ketma-ket ulangan moy singdirilgan qog'oz va qog'oz o'ramlarining orasidagi moy qatlamidan iborat (4.12- rasm). Ayrim hollarda kabel qog'ozini shimdirish uchun yuqori bosimdagi gaz ham qo'llaniladi.

Texnologik jihatdan o'ralgan qog'oz o'ramiga moy shimdirilib tayyorlanadi. Shuning uchun QMI yana qog'ozli – shimdirilgan deb ham yuritiladi. Hozirgi vaqtda QMI o'zining sifati va elektrik mustahkamligi bo'yicha eng yuqori izolyatsiya hisoblanadi. Agar $\frac{E_M}{E_K} = \frac{\varepsilon_K}{\varepsilon_M} \approx 1,7$ bo'lsa, moyning elektrik mustahkamligi qog'oznikidan past bo'ladi. Shuning uchun QMIning teshilish kuchlanganligi moy qatlamining teshilish kuchlanganligi bilan aniqlanadi.



4.12- rasm. Qog'oz–moyli izolyatsiyaning ekvivalent sxemasi.

Agar ikki qatlamli dielektrikka U kuchlanish qo'yilgan bo'lsa (4.12- rasm) moyli qatlamdagi elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha aniqlanadi:

$$E_M = \frac{UC_K}{\delta_M(C_M + C_K)} = \frac{UE_K}{\varepsilon_M\delta_K + \varepsilon_K\delta_M}. \quad (4.29)$$

Dielektrikdagi o'rtacha maydon kuchlanganligi:

$$E_{avr} = \frac{U}{\delta_k + \delta_M}. \quad (4.30)$$

U holda nisbat quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{E_M}{E_k} = \frac{\varepsilon_k (1 + \frac{\delta_M}{\delta_k})}{\varepsilon_M + \varepsilon_0 \frac{\delta_M}{\delta_k}}. \quad (4.31)$$

Teshilish maydon kuchlanganligining qog'oz qalinligiga bog'liqligi 4.13- rasmda keltirilgan.

Har xil ko'rinishdagi izolyatsiya konstruksiyalarida ushbu $\frac{\delta_M}{\delta_k}$

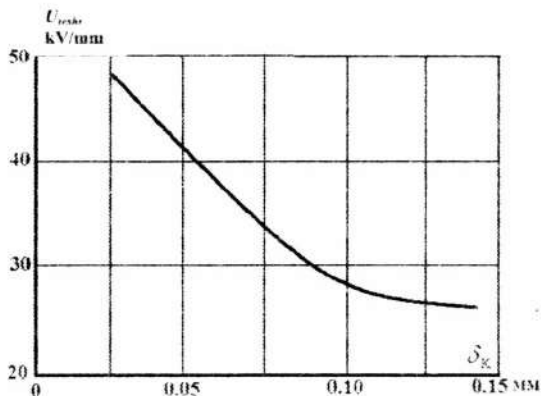
nisbat taxminan o'zgarmas bo'lib qoladi, ya'ni $\frac{\delta_M}{\delta_k} \approx 1 \div 1,7$. (4.32)

formuladan qo'rinadiki, agar $\frac{\delta_M}{\delta_k}$ o'zgarmas bo'lsa, u holda $\frac{E_M}{E_{avr}}$ nisbat

ham o'zgarmas bo'ladi. Ikkinchi tomondan moyning qalinligi δ_M kamayganda moyli qatlamning teshilish maydon kuchlanganligi o'sadi. Shu sababdan yupqa qog'oz asosida yupqa qatlamli izolyatsiyani qo'llaganimizda qog'ozli – moyli izolyatsiyaning elektr maydon kuchlanganligining kritik qiymatini ko'tarishga imkon beradi va o'ta yuqori kuchlanish uchun uncha qalin bo'lmagan izolyatsiya amalga oshiriladi.

Teshilish kuchlanganligi E_{tesh} bilan qog'oz qalinligi orasidagi bog'lanish 4.13- rasmda keltirilgan. Juda yupqa kabel qog'ozini teshib o'tuvchi moyli kanalning mavjudligi E_{tesh} maydon kuchlanganligi qog'oz qatlamining qalinligi pasayishi bilan tushadi. Shu bilan bir qatorda qog'oz qalinligining kamayishi bilan qog'ozli – moyli izolyatsiyaning tannarxi oshib boradi.

Qog'ozning zichligini ko'paytirganimizda uning elektrik mustahkamligi o'sib borishi bilan bir vaqtda qog'oz qalinligining oshishi natijasida moyli qatlamlarda elektr maydon kuchlanganligi E_M oshadi. Qog'ozning zichligi uning qisqa muddatli yoki uzoq mudatli elektr mustahkamligiga har xil ta'sir ko'rsatadi. Qog'ozning zichligi oshishi bilan qisqa muddatli elektrik mustahkamligi oshsa, uzoq muddatli mustahkamligi pasayadi.



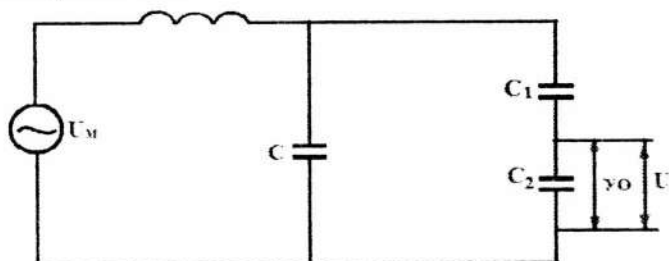
4.13- rasm. Qog'ozli moyli izolyatsiya uchun elektr maydonining teshilish kuchlanganligining qog'oz qalinligiga bog'liqligi.

Qovushqoq moy singdirilgan kabellarning asosiy kamchiligi ularda ekspluatatsiya davrida gazli ulanishning paydo bo'lishidir. Agar kabel o'zgaruvchan elektrik yuk bilan ishlayotganda uning almashlanuvchi sovushi va isishida qo'rg'oshindan yasalgan qobiqning temperaturadan kengayish koeffitsientidan izolyatsiyaning kengayish koeffitsienti kattaligi natijasida izolyatsiya qobiqni surishi tufayli bo'rtishlar paydo bo'ladi. Kabelning sovushida esa bo'rtgan joylarda hosil bo'ladigan bo'shliq asta sekin izolyatsiyadan ajraladigan gaz bilan to'lishi natijasida gazli ulanishlarning paydo bo'lishiga olib keladi.

Bu gazli ulanishlarda elektr maydon kuchlanganligi o'sib ketishiga sabab gazli muhitning elektr mustahkamligini qattiq dielektriknikiga nisbatan pastligi hisoblanadi. Shuning uchun gazli ulanishlarda ionlanish jarayoni qattiq dielektrikka nisbatan yertaroq boshlanadi va uni o'rab turgan dielektriklarga mexanik, elektrik va ximik ta'sir ko'rsatadi. Noqulay sharoitlarda esa izolyatsiyada deffektning sekin rivojlanishiga va oqibat natijada izolyatsiyaning teshilishiga olib keladi. Bu jarayonga ionlashishdan teshilish deyiladi.

Gazli ulanishda ionlashish jarayonini tushintirish uchun 4.14-rasmda keltirilgan izolyatsiyaning almashtirish sxemasidan foydalanamiz. Bu sxemada C_1 gazli ulanishning sig'imi bo'lib, u dielektrikning qolgan qismining gazli pufak ostidagi qalinligining sig'imi C_2 bilan ketma-ket ulangan. Dielektrikning asosiy massasini sig'imi $C \gg \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$.

Gazli ulanishdagi razryad C_1 sig'im bilan parallel ulangan uchqun oralig'i (UO) bilan imitatsiya qilingan. UO teshilmaganda U_0 o'zgaruvchan kuchlanish C_1 va C_2 sig'implar qiymatlariga teskari proporsional taqsimlanadi.



4.14- rasm. O'zgaruvchan kuchlanishda gazli ulanishli izolyatsiyaning almashtirish sxemasi.

Faraz qilaylik kuchlanishning E_{tesh} qiymatida UO teshiladi va sig'imda kuchlanishning kesilishi sodir bo'lishi tufayli kuchlanish qandaydir qoldiq kuchlanishgacha pasayadi. Oqibatda sig'im C_2 ning qiymati kichikligi, uchqun oralig'ida tokning kamligidan uchqun yoyli razryadga o'tmasdan so'nadi. Uchqun oralig'idagi kuchlanish teshilish kuchlanishiga tenglashsa unda yangidan teshilish paydo bo'ladi va bu jarayon shu tarzda davom etadi.

Kuchlanishning har bir kesilishida $\Delta Q = C_1 U_{tesh}$ ga teng zaryad neytrallashadi. Bu kuchlanishning C_1 sig'imda sakrab kamayishiga olib keladi

$$\Delta U = \frac{C_2}{C + C_2} U_{tesh} \approx \frac{C_2}{C_0} \frac{\Delta Q}{C_1}, \quad (4.32)$$

bu yerda C_0 – dielektrikning umumiy sig'imi.

C_1 va C_2 sig'implar noma'lum bo'lganligi sababli jarayonni xarakterlash uchun ionlashishning tuyiladigan intensivligi degan qiymat kiritiladi:

$$\Delta Q_0 = \Delta Q \frac{C_2}{C_1}, \quad (4.33)$$

Bu ifodani e'tiborga olib, quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\Delta Q_0 = C_0 U_0. \quad (4.34)$$

Ionlashish jarayonida izolyatsiyaning teshilishi qog'ozli-moyli va moyli-to'siqli izolyatsiyaga mansub. Gazli ulanish izolyatsiyada uni tayyorlash davrida yoki izolyatsiyadagi qoldiq namlikning qizishi yoki boshqa aralashmalarning ta'sirida paydo bo'lishi mumkin. Razryad paytida gazli ulanishda ajralayotgan issiqlik moyning parchalanishiga va yangi pufaklarning paydo bo'lishiga olib keladi. Agar bu jarayonni mikroskopik tekshiradigan bo'lsak u moyning qaynashiga o'xshash.

Kabelda issiqlikning ajralishi kabelning o'tkazgichida aktiv quvvat isrofi va uning izolyatsiyasida bo'layotgan dielektrik isrof natijasida paydo bo'ladi. Kuchlanishi 35 kV gacha kabellarda dielektrik isrof umumiy isrofning uncha sezilarli bo'lmagan qismini tashkil etsa yuqori va o'tayuqori kuchlanishli kabellarda esa dielektrik isrof o'tkazgichda bo'layotgan isrofga teng va undan ham oshishi mumkin. Misol uchun kuchlanishi 400 kV bo'lgan kabelda tangens yo'qotish burchagi $\operatorname{tg} \delta = 0.003$ bo'lsa dielektrik isrof taxminan kabelning o'tkazgichida bo'layotgan isrofga teng bo'ladi. Isrofning biroz qismi bir fazali kabellarda uning metall qobig'ida va kabel moy yoki gaz to'ldirilgan po'lat quvur joylashtirilganda esa quvur devorida bo'ladi.

Kabel izolyatsiyasining yuqori haroratgacha qizishida uning tezroq eskirishiga olib kelishi mumkin. Qovushqoq moy singdirilgan kabellarda esa temperaturaning ko'tarilishi unga singdirilgan moyning qurishiga va natijada kabelning ionlashish teshilishiga bo'lgan elektrik mustahkamligining sezilarli darajada pasaytiradi. Shuning uchun ham qovushqoq moy singdirilgan kabelning ishlash temperaturasi nisbatan past bo'ladi. Moy va gaz to'ldirilgan kabellarda va shu bilan birga bosim ostida moy va gaz to'ldirilgan po'lat quvurda joylashtirilgan kabellarda termik eskirishga eng moyil element bolib kabel qog'oz hisoblanadi.

Kabel izolyatsiyasining xizmat qilish vaqtini ko'paytirish uchun temperaturaviy rejimini yaxshilash maqsadida uning tabiiy sovushini ta'minlash maqsadida kabelning yotqizilishiga katta e'tibor beriladi. Bu maqsadda kabellar ayrim hollarda kabel kanalida suvga cho'ktiriladi. Po'lat quvurlarda joylashtirilgan kabellarning xizmat qilish vaqtini oshirish va ularning eskirishini sekinlashtirish uchun temperatura rejimini ta'minlash moyini sirkulyatsilash opqali amalga oshiriladi.

Quvvati 800–1000 MVt bo'lgan generator bloklarini va transformatorni kabel orqali ulashda juda katta o'tkazuvchanlik qobiliyatli kabellarni qo'llash tavsiya etiladi. Bunday kabellarni tayyorlash uchun

ichki suv bilan sovutish qabul qilingan. Buning uchun tok o'tkazuvchi paylarda germetik suv kanallari qoldiriladi.

Kabellarni ekspluatatsiya qilish davrida u ishchi kuchlanish, kommutatsiya o'takuchlanishiga, agar kabel liniyasi HEUL bilan shinalar orqali ulansa atmosfera impuls o'takuchlanishi ta'siriga uchraydi. Kabel izolyatsiyasining sathi ularning sinash kuchlanishi orqali beriladi. Kabellar izolyatsiyasini tipik sinashda kabelga sanoat chastotasidagi kuchlanish va kuchlanish impulsi qo'yiladi.

Kabel izolyatsiyasini nazorat tekshirishlarda kabel namunasining elektrik mustahkamligi kabel izolyatsiyasiga oshirilgan o'zgarmas tok kuchlanishi qo'yilib tekshiriladi. O'zgarmas tok kuchlanishidagi tekshirish kuchlanishi $5U_{\text{fl}}$ ga teng deb olinsa gaz singdirilgan kabellar uchun esa $(3,5 - 4,5)U_{\text{fl}}$ ga teng. Kabellar uchun sinash kuchlanishini quyidagi ifoda bo'yicha aniqlashimiz mumkin:

$$U_{\text{sn}} = (7 \div 8)U_{\text{fl}}. \quad (4.35)$$

Kabel izolyatsiyasida mineral moylardan tashqari yuqori elektrik mustahkamlikka ega bo'lgan inert gazlar ham qo'llaniladi. Bu yuqori molekulyarli gazlarning yuqori elektrik mustahkamligi ularni kabel izolyatsiyasi ko'rinishida qo'llaganimizda kabellarda ionlanish boshlanish kuchlanishini, ya'ni uning teshilish kuchlanishini keskin oshiradi.

Nazorat savollari

1. Yuqori kuchlanish kuch kabellarining izolyatsiyasi qanday turlarga bo'linadi?
2. «Sterjen-shar» elektrodlar oralig'iga o'zgaruvchan kuchlanish berilganda qaysi bir elektrod sirtida elektr maydon kuchlanganligi katta bo'ladi? Sababini tushuntiring.
3. Havo liniyasida o'tkazgichni parchalash natijasida uning sirtida elektr maydon kuchlanganligi qanday o'zgaradi? Sababini tushuntiring.
4. Havo liniyasining parchalangan o'tkazgichini ekvivalent radiusi qanday aniqlanadi?
5. Elektr uzatish liniyasining elektr maydoni qanday aniqlanadi?
6. Qog'oz-moy izolyatsiyali kabellarda elektr maydonining teshilish kuchlanganligi qog'ozning qalinligiga bog'liq holda qanday o'zgaradi?
7. O'zgaruvchan kuchlanishda gazli ulanishli izolyatsiyaning almashtirish sxemasi va parametrlarini tushuntiring.

8. Kabel izolyatsiyasini nazorat uchun tekshirishda kabel namunasiga qanday kuchlanish beriladi?

4.6. Yuqori kuchlanish kabellarining turlari

Hozirgi vaqtda energetikada quyidagi turdagi kabellar qo'llaniladi:

- qovushqoq moy singdirilgan kabellar;
- moy to'ldirilgan kabellar;
- bosim ostida moy to'ldirilgan yuqori kuchlanish kabellari;
- bosim ostida gaz to'ldirilgan yuqori kuchlanish kabellari;
- gaz to'ldirilgan kabellar;
- polimer izolyatsiyali kabellar;
- plastmassa izolyatsiyali kabellar;
- tikilgan polietilen izolyatsiyali kabellar.

Moy singdirilgan kabellar

Bu turdagi kabellarining izolyatsiyasi ikki qismdan – faza va belbog' izolyatsiyasidan tashkil topadi (4.15- rasm). Kabelning tashqi diametrini kamaytirish maqsadida uning paylarini kundalang kesimini dumoloq emas balki sektorial shaklda yasaladi. Rasmdan yaqqol ko'rinadiki uning izolyatsiyasi ikki qismdan – faza va belbog' qismlardan iborat. Shunday qilib, kabel paylari orasida chiziqli kuchlanishga mo'ljallangan ikki qatlamli faza izolyatsiyasi va qobiq bilan pay orasida esa faza va belbog' izolyatsiyasi mavjud.

Kabel izolyatsiyasi spiral ko'rinishida qatlam - qatlam qilib o'ralgan eni $10 \div 30$ mm, qalinligi $20 \div 120$ mk qog'oz lentadan iborat. Har qatlamda ikki yonma - yon joylashgan o'ramlar chetida $1,5 \div 3,5$ mm oraliq qoldirilganligi sababli kabelni egishda qog'oz izolyatsiya shikastlanmaydi. O'rashda qog'oz o'zida 10% gacha namlik bilan havo olib qolganligi sababli uni vakuum sharoitida $120 \div 135$ gradus temperaturada qurutilib keyin germetik yopiq baklarda moy singdiriladi.

Izolyatsiyadagi qog'oz va moy o'zaro bir-birini to'ldirishi natijasida izolyatsiyaning teshilish kuchlanishi ayrim holda olingan moyning ham, qog'ozning ham teshilish kuchlanishidan yuqori bo'ladi. Bu xarakteristika 4.5- jadvalda keltirilgan.



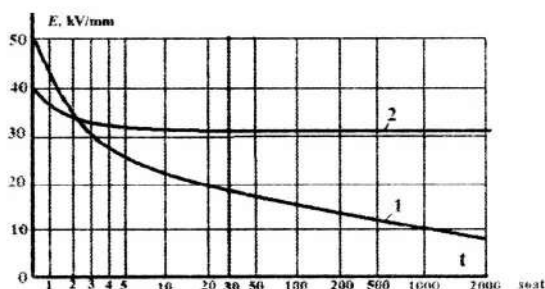
4.15- rasm. 10 kV kuchlanishga mo'ljallangan uchta sektorial payli va belbog' izolyatsiyali kabelning ko'ndalang kesimi: 1 – tok o'tkazuvchi pay; 2 – faza izolyatsiyasi; 3 – belbog' izolyatsiya; 4 – to'ldirgich; 5 – qo'rg'oshin qobiq; 6 – zirx tagidagi bitum singdirilgan qog'oz va kalavadan tashkil topgan yostiq; 7 – ruxlangan ikkita qalinligi 0,8 mm lentadan iborat zirx.

4.5- jadval. Kabel izolyatsiyasi materiallarining elektr mustahkamligi va dielektrik isrofi.

Izolyatsiya	1 minutlik elektrik mustahkamlik 20 ⁰ S, kV/mm		tgδ	
	O'zgaruvchan kuchanganlikda	O'zgarmas kuchlanganlikda	20 ⁰ S	100 ⁰ S
Quritilgan qog'oz	10,6	14,9	2×10^{-3}	$3,6 \times 10^{-3}$
Singdiriladigan moy	24	34	$0,8 \times 10^{-3}$	33×10^{-3}
Kabel izolyatsiyasi	57,5	174	$2,6 \times 10^{-3}$	$8,5 \times 10^{-3}$

Bu jadvaldan ko'rinadiki, kabel izolyatsiyasining o'zgaruvchan tok kuchlanishida qisqa muddatli eng yuqori elektrik mustahkamligi taxminan 50–60 kV/mm ga teng. Bu qog'oz va moyning alohida olingan elektrik mustahkamligidan katta. O'zgarmas tok kuchlanishida esa bu farq yanada kattaroq bo'ladi. Shuni ta'kidlash lozimki, qovushqoq moy singdirilgan izolyatsiyaning elektrik mustahkamligi kuchlanish ta'sir etayotgan vaqtning ko'payishida juda kuchli pasayadi. Bu 4.16- rasmda keltirilgan grafikda yaqqol izohlangan (1 – egri chiziq).

Qovushqoq moy singdirilgan kabellarga maksimal ishchi kuchlanish qo'yilganda uning elektrik mustahkamligining pasayishi yuz beradi. Boshqacha aytganda izolyatsiya yashash davrining qisqarishiga sabab izolyatsiyada paydo bo'ladigan gazli ulanishlarda ionlanish jarayonining boshlanishi hisoblanadi.



4.16- rasm. Qovushqoq moy singdirilgan (1) va moy to'ldirilgan (2) kabellarning teshilish mustahkamligining kuchlanishning ta'sir etish vaqtiga bog'liqligi.

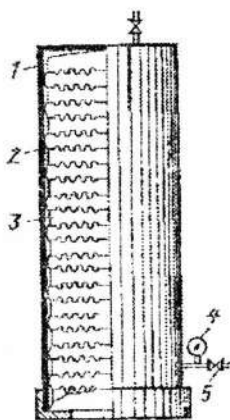
Moy to'ldirilgan kabellar

Hozirgi vaqtda sanoat chastotasidagi 110 – 220 kV kuchlanishlar uchun moy to'ldirilgan kabellar qo'llaniladi. Bunday kabellar doimo bir payli qilib yasaladi. Bu kabellar izolyatsiyasi ortiqcha bosim ostida paylar bo'ylab siljiydigan qovushqoq moy singdirilgan lenta ko'rinishidagi qog'ozdan iborat bo'ladi. Shuning uchun bu kabellar yuqori va o'ta yuqori kuchlanishlarda asosiy hisoblanadi. Buning yuqorida ko'rilgan kabeldan farqi unda qog'ozga singdirish uchun suyuq moy qo'llaniladi. Bu moy kabel bo'ylab siljiydi va termik sikllar vaqtida hosil bo'lgan gazli ulanishlarni to'ldiradi. Kabelning temperaturasi o'zgarganda vaqtinchalik vakuum paydo bo'lmasligi uchun moy kabelda ma'lum bosimda bo'lishi kerak. Bu kabellarning mo'ljallangan kuchlanishi oshishi bilan moyning bosimi ham oshib boradi. Bunday kabelda moyning erkin sirkulyatsiya bo'lishini ta'minlash uchun o'tkazgich yassi qilib yasaladi.

Kabelning qizishida moyning bosimi oshishini bartaraf etish va kabeldagi moy bosimini o'zgarmas ushlab turish uchun kabelli elektr uzatish liniyasining har 1 ÷ 2,5 km da kengayuvchan bosim baki va kabelni qismlarga ajratuvchi zichlovchi mufta o'rnatiladi (4.17- rasm).

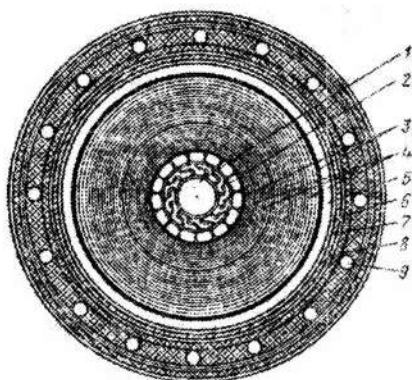
Moy to'ldirilgan kabellar bosimga bog'liq holda quyidagilarga bo'linadi: past bosimli (0,2 MPa gacha), o'rta bosimli (0,4 – 0,5 MPa) va yuqori bosimli (0,8 – 1,6 MPa) kabellar. Moyning bosimi oshishi bilan kabel izolyatsiyasining elektr mustahkamligi ortib boradi. Kuchlanishi 110 kVgacha bo'lgan kabellarda payning ko'ngdalang kesimi diametri 9 mm chegarasida yotsa, kuchlanishi 220 kV bo'lgan kabellarda esa 16 –

20 mm ni tashkil etadi. Moy to'ldirilgan kabelning konstruktiv bajarilishi 4.18- rasmda keltirilgan.



4.17- rasm. Bosim baki qurilmasining sxemasi:

- 1 – balking korpusi;
- 2 – havo bilan to'ldirilgan egiluvchan elementlar;
- 3 – gazi ajratilgan moy;
- 4- monometr; 5 – baki kabelga ulash shtutseri.



4.18- rasm. Kuchlanishi 220 kVga mo'ljallangan o'rta bosimli kabel:

- 1 – moy o'tkazuvchi kanal; 2 – fasonli o'tkazgichdan yasalgan pay; 3 – yarim utkazgichli va metallashtirilgan qog'ozdan tashkil topgan pay bo'ylab joylashtirilgan ekran; 4 – har xil qalinlikda va har xil zichlikdagi qog'ozdan yasalgan izolyatsiya; 5 – qo'rg'oshin qobiq;
- 6 –plastikdan yasalgan lenta; 7 – misdan yasalgan kuchaytiruvchi lenta; 8 – himoya qobig'i;
- 9- po'lat sim.

Moy to'ldirilgan kabellarda moyning oqishini paydo bo'lishi muhim shikastlanish hisoblanadi. Shuning uchun kabel trassallari bosimni nazorat qiluvchi va avtomatik signal beruvchi qurilmalar, hamda monometrlar bilan jihozlangan bo'lishi kerak.

Hozirgi vaqtda energetikada qo'llanilayotgan moy to'ldirilgan kabellarda moyning 3 – 5 atmosfera bosimida bo'lishi o'zgaruvchan tok kuchlanishida 20 – 35 kV kuchlanishli qovushoq moy sindirilgan kabellarga nisbatan elektr maydon kuchlanganligini 3 marta oshirib, 6 – 8 kV/mm ga yetkaziladi. Kabelda bunday ortiqcha bosimga mis lentasi bilan kuchaytirilgan qo'rg'oshin qobiq chidash beradi.

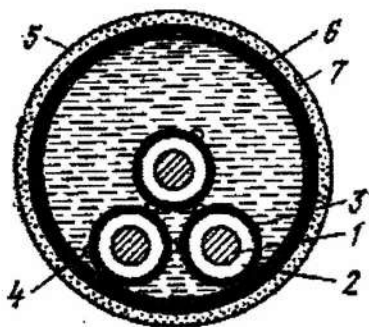
Kabellarda dielektrik isrof hisobiga paydo bo'layotgan qizishni izolyatsiyadan tashqi muhitga olishdagi kamchilik natijasida issiqlikdan teshilish xavfi kuzatiladi. Shuning uchun moy to'ldirilgan kabellarda dielektrik isrof kam bo'lgan material qo'llash tavsiya etiladi. O'ta yuqori kuchlanishlarga mo'ljallangan kabellarda izolyatsiya hajmining

kattaligidan dielektrik isrofning oshib ketishi natijasida tok bo'yicha yuklanishni kamaytirish tavsiya etiladi. Misol uchun 110 kV kuchlanishli va $tgd=0,005$ bo'lgan kabelda dielektrik isrof umumiy isrofning 10% qismini tashkil etsa, 400 kV kuchlanishli va $tgd=0,003$ bo'lgan kabelda dielektrik isrofning 100% ni tashkil etadi.

Bosim ostida moy to'ldirilgan yuqori kuchlanish kabellari

110 kV va undan yuqori bo'lgan kuchlanishlarda po'lat quvurga joylashtirilgan yuqori bosimdagi moy to'ldirilgan kabellar qo'llaniladi (4.19- rasm).

Bu kabellarda elastik germetik zich bo'lgan yopqich o'ralgan bo'lib, u izolyatsiya bilan aloqalanishni to'aligicha bartaraf etadi va unga elastiklik baxsh etadi. Bu turdagi kabellarda 15 at. bosimda suyuq moy to'ldirilgan po'lat quvurda oddiy moy singdirilgan qobiq bilan izolyatsiyalangan uchta o'tkazgich joylashtiriladi (4.19- rasm).



4.19- rasm. Bosim ostida moy to'ldirilgan quvurda joylashgan kabel: 1— pay; 2— izolyatsiya; 3— zichlaydigan (germetik) yopqich; 4 — yarim aylana o'tkazgich; 5 — po'lat quvur; 6— moy; 7— zanglashga qarshi yopqich qatlam.

Bu kabelda izolyatsiya ekran va uning ustidan atmosfera bilan kontaktlashishni bartaraf etish uchun germetik polietilen yoki alyuminiy lenta bilan o'ralgan bo'ladi. Qovushoq moy singdirilgan bir payli uchta kabel bosim ostida moy to'ldirilgan po'lat quvurda o'rnatiladi. Moyning bosimini izolyatsiyaga o'tkazib berish uchun qobiq yetarlicha yumshoq bo'lishi kerak.

Ayrim vaqtlarda bu turdagi kabellarda izolyatsiya bilan bevosita tegishini ta'minlaydigan va montaj paytida olib tashlanadigan yumshoq rux qobiq bilan o'raladi.

Bunday kabellarning asosiy kamchiligi unda birlik uzunlikka to'g'ri keladigan moy hajmi va moy bosimini o'zgarmas ushlab turish

zarurligi hisoblanadi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun trassaning har 10÷15 km uzunligida nasos kompressor stansiyalari quriladi

Bosim ostida gaz to'ldirilgan kabellar

220 kV gacha kuchlanishli liniyalarda bosim ostida gaz to'ldirilgan kabellar qo'llanilishi mumkin. Kabelning elektrik mustahkamligi gazning bosimini oshirish hisobiga ta'minlanadi. Bunday kabellar ham po'lat quvurlarda joylashtiriladi. Bu turdagi kabelda po'lat quvur taxminan 15 at. bosim ostida azot va SO₂ (uglerod oksidi) bilan to'ldiriladi. Kabelning tok o'zkazuvchi qismi umumlashtirilgan moy singdirilgan qog'oz, polietilen va uning ustidan latun lenta bilan mahkamlangan qobiq bilan o'ralgan. To'ldirilgan gazning bosimi izolyatsiyaga beriladi. Bu holda gaz bosimi 12÷15 atmosferagacha, maydon kuchlanganligi esa 10÷12 kV/mm bo'lishi mumkin.

Bunday kabelning trassasi nisbatan sodda, chunki undagi bosimni o'zgarmas ushlab turish uchun siqilgan gaz to'ldirilgan ballonni o'rnatish yetarli. Quvurdagi shikastlanishlarda gazning chiqishi moyning oqib chiqishiga nisbatan tezroqdir. Uzoq vaqt siqilgan holatda turgan izolyatsiya bosim olingandan keyin ham o'zining elektr mustahkamligini saqlaydi. Ularning asosiy kamchiligi – ulardan haroratni tashqi muhitga uzatish hisoblanadi.

Gaz to'ldirilgan kabellar

Bu turdagi kabelda yuqorida ko'rilgan kabel kabi moy singdirilgan izolyatsiya ishlatilib, lekin qatlamlar orasi gazlar bilan to'ldiriladi. Bunda asosan azot, oxirgi vaqtlarda esa elegaz va freon qo'llanilmoqda. Kabelning moy singdirilgan izolyatsiyasi qo'rg'oshin qobiq bilan o'ralib, gaz bilan to'ldiriladi. Gaz to'ldirilgan kabellar 35 kV kuchlanishgacha uch fazali va 110 kV dan yuqori kuchlanishlarda bir fazali qilib yasaladi. Bulardan eng keng tarqalgani 35 kV gacha kuchlanishdagi kabellar hisoblanadi.

Gaz to'ldirilgan kabellarda bosim 1,5 atmosferadan 12 atmosferagacha bo'lishi mumkin. Bunga bog'liq holda ishchi elektr maydon kuchlanganligi 2,5 kV/mm dan 6,5 kV/mm gacha o'zgarishi mumkin. Bunday kabellarda bosimni o'zgarmas ushlab turish uchun avtomatik klapanli gaz bolonlari qo'llaniladi.

Polimer izolyatsiyali kabellar

Kimyo sanoatining rivojlanishi keyingi yillarda plastmassa va polimer izolyatsiyali kabellarni ishlab chiqarishga imkoniyat yaratib beradi. Eng keng tarqalgan polietilen izolyatsiyali kabel bo'lib 35 kV kuchlanishga mo'ljallangan kabellar hisoblanadi. Polietilen namlikka turg'unligi sababli, ho'llanishdan himoya qiladigan qimmat qobiqqa ehtiyoj qolmaydi. Shu sababli bunday kabellar nisbatan arzon va ishonchli hisoblanadi.

Bu turdagi izolyatsiyali kabellar asosan vertikal o'rnatish uchun qulay bo'lib, ular 35 kV kuchlanishgacha qo'llaniladi. Ularda asosiy izolyatsiya materiali ko'rinishida polixlorvinil ishlatiladi. Unda kesimi 120 mm mis simlar o'rami qalinligi 3,6 mm bo'lgan polixlorvinil bilan presslangandan keyin vulqonlanmaydigan rezina bilan o'raladi (kompaundlanadi). Rezina qobiqning ustidan polixlorvinil bilan qoplangan zirh o'raladi.

Kabellarni tekshirish barabanda yoki uning ma'lum bir qismida bajariladi. Gaz va moy to'ldirilgan kabellarda gazli ulanishning paydo bo'lish ehtimoli juda katta bo'lganligi sababli ular o'zgarmas tok kuchlanishlari yordamida tekshiriladi.

Plastmassa izolyatsiyali kabel

Bu kabelning tok o'tkazuvchi paylari 3 kV gacha kuchlanishda polietelendan yasalgan yopqich bilan yopiladi, kuchlanishi 6 kV va undan yuqori bo'lgan kabellarda esa izolyatsiya sirtidan yana yarim o'tkazuvchan polietelendan yasalgan qo'shimcha ekran bilan qoplanadi. Bunday kabellarda ekranning mavjudligi izolyatsiya bilan payning chegarasida paydo bo'ladigan gazli ulanishlarning ta'sirini kamaytiradi va elektr maydonini birjinsliga yaqinlashtiradi.

Plastmassa izolyatsiyali kabellarning moy singdirilgan kabelga nisbatan asosiy ustunligi ularda maydonni tekislash va tashqi ta'sirdan izolyatsiyalash uchun qo'llaniladigan qobiqlarlarning mavjud emasligi va bunga mos holda yengilligidir. Ammo issiqlikka chidamliligi bo'yicha u QMI dan keyingi o'rinda turadi.

Tikilgan polietelendan yasalgan izolyatsiyali kabel

Hozirgi davrda barcha sanoati rivojlangan mamalakatlarda zamonaviy elektrik mustahkamligi yuqori bo'lgan tikilgan polietelendan

yasalgan izolyatsiyali kabellar keng qo'llanilmoqda. Bunday kabellar o'zining konstruksiyasi, zamonoviy texnologiya asosida mukkamal materialdan tayyorlanganligi sababli yuqori elektrik va mexanik mustahkamlikka ega.

Bu turdagi kabellarning asosiy ustunligi quyidagilar hisoblanadi:

- payning ruxsat etilgan qizish temperaturasini ko'paytirish hisobiga katta o'tkazuvchanlik qobiliyatiga ega;

- kabel payining ko'ndalang kesimi nominal qisqa tutashuv toki bo'yicha tanlangan bo'lsa, qisqa tutashuvda yuqori termik turg'unlikka ega;

- kabelda bosim ostida suyuqlikning (moyning) yo'qligi qimmat turadigan qo'shimcha jihozlarning qo'llanilmasligiga, uning ekspluatatsiya sarf-xarajatlarining kamayishiga, montaj ishlarining yengillashishiga va montaj ishlarini bajarish davrining qisqarishiga olib keladi;

- izolyatsiya teshilganda uni ta'mirlash ishlarining tezkor bajarilishi.

Nazorat savollari

1. Hozirgi davrda energetikada qanday turdagi kabellar qo'llaniladi?

2. Moy singdirilgan kabellarning tuzilishi va xarakteristikasini tushuntiring?

3. Moy to'ldirilgan kabellarning tuzilishi va xarakteristikasini tushuntiring.

4. Bosim ostidagi moy to'ldirilgan kabellarning tuzilishi va xarakteristikalari.

5. Bosim ostidagi gaz to'ldirilgan kabellarning tuzilishi va xarakteristikalari.

6. G'az to'ldirilgan kabellarning tuzilishi va xarakteristikalari.

7. Polimer izolyatsiyali kabellarning tuzilishi va xarakteristikalari.

8. Plastmassa izolyatsiyali kabellarning tuzilishi va xarakteristikalari.

9. ikilgan polietilendan yasalgan izolyatsiyali kabellarning tuzilishi va xarakteristikalari.

5. ELEKTR MASHINALARI VA APPARATLARINING IZOLYATSIYASI

5.1. Aylanuvchi elektr mashinalarining izolyatsiyasi

Aylanuvchi elektr mashinalariga generatorlar, sinxron komentorlar va elektr dvigatellari kiradi.

Generatorlar – energetik sistemada elektr energiya manbai bo'lib, eng mas'ul elektr jihozlaridan biri hisoblanadi. Shu sababli unga barcha ko'rsatkichlar, shu jumladan izolyatsiya masalasida ham, yuqori talab qo'yiladi.

Elektr mashinalarining nominal kuchlanishlari elektr staniyalaridagi boshqa elektr qurilmalarining nominal kuchlanishlariga nisbatan pastroq bo'lsada, ularning izolyatsiyasini loyihalash, tayyorlash va ekspluatatsiya qilish ularning konstruktiv xususiyatiga muvofiq holda nisbatan qiyin amalga oshiriladi. Stator izolyatsiyasining qalinligiga muayyan chegaralanishlar mavjud. Shu sababli stator chulg'amlarining izolyatsiyasiga eng katta elektrik mustahkam bo'lgan materiallar qo'llaniladi. Shu bilan birga o'lchamning chegaralanishi va elektr maydonining taqsimlanishini to'g'rilash uchun pazlar va sterjenlarning eng ratsional shakli va o'lchamini tanlashni taqozo etadi.

Elektr mashinalari stator chulg'amining izolyatsiyasi uning eng ko'p shikastlanadigan elementi hisoblanadi. Chunki, uning izolyatsiyasi ekspluatatsiya paytida uzluksiz silkinishlar, mexanik zarbalarga uchraydi. Shu sababli izolyatsiya mexanik mustahkam va monolit bo'lgani holda yaxshi issiqlik o'tkazuvchan bo'lishi kerak. Izolyatsiya yuqorida keltirilgan talablarga javob berishi uchun u slyuda asosida bajarilgan materiallardan tayyorlanadi. Slyuda plastinkasi yoki undan tayyorlangan materiallar bir –biri bilan o'zaro bog'lovchi element orqali ulanadi, ayni paytda bog'lovchiga ham yuqori talab qo'yiladi. Jumladan, bog'lovchi plastinkaga jips va iloji boricha o'yiqlarsiz izolyatsiyaning boshqa komponentalari orasini to'ldirishi kerak. Aks holda, izolyatsiya qalin bo'lganda, havo bilan to'ldirilgan o'yiqlarda havoning ionlashuvi izolyatsiyaning xizmat qilish vaqtini qisqarishiga olib kelishi mumkin.

Elektr mashinalarning aktiv materiallari, ya'ni stator chulg'amning misi va po'lati ekspluatatsiya davrida juda katta yuklamalarda (tok zichligida va induksiyasida) ishlaydi. Tabiiyki, katta yuklamalarda aktiv materiallarning birlik hajmida bo'layotgan isrof ham ancha yuqori

bo'lib, undan ajralib chiqayotgan issiqlikni samarali tarzda chiqarib yuborish uchun sovituvchi muhit va aktiv materialning temperaturalari orasida katta farq bo'lishi zarur.

Aylanuvchi elektr mashinalarining stator faza cho'lg'amlari bir qator bir-biri bilan o'zaro ketma-ket ulangan g'altaklardan iborat bo'lib, u pazlarda joylashtiriladi. Har bir g'altakdagi o'ramlar soni stator nominal kuchlanishiga, rotorning aylanish tezligiga va elektr mashinaning nominal quvvatiga bog'liq. Katta quvvatli mashinalarda misdagi quvvat isrofini kamaytirish uchun parallel o'tkazgichlar qo'llaniladi. Yuqori kuchlanish elektr mashinalarida ikki qatlamli cho'lg'am qo'llaniladi. G'altaklar paslarda bir yoki ikki qator qilib yotqiziladi.

Aylanuvchi elektr mashinalari stator chulg'amining izolyatsiyasi quyidagi guruhlariga bo'linadi:

- a) bir o'ramdagi parallel o'tkazgichlar orasidagi izolyatsiya;
- b) bir g'altakdagi o'ramlar orasidagi izolyatsiya;
- v) korpusga nisbatan izolyatsiya (bosh izolyatsiya);
- g) bir pazda joylashgan har xil g'altaklar qatlamlari orasidagi izolyatsiya.

Hozirgi vaqtda katta quvvatli sinxron dvigatellar va sinxron turbogeneratorlarning fazalaridagi kuchlanish 6,3- 24 kV bo'lganligi sababli ularning faza chulg'amlarini g'altaklari bir o'ramli qilib yasaladi. Shu sababli o'ramlar orasidagi izolyatsiyaga ehtiyoj qolmaydi. Lekin gidrogeneratorlar rotorining aylanishlar soni uncha ko'p bo'lmaganligi sababli ularning faza cho'lg'amlari ko'p o'ramli qilib yasaladi.

Ekspluatatsiya vaqtida elektr qurilmalarining izolyatsiyasi, shu jumladan elektr mashinalarining izolyatsiyasi har xil ta'sirlarga uchraydi: doimo silkinishlarga va mexanik hamda chulg'amlar orqali katta tok oqib o'tganda, o'ta yuklanishda, tashqi qisqa tutashuvda, elektr mashinalarini sistema bilan parallel ishlashini ta'minlash uchun tarmoqqa ulash va vaqtinchalik sinxron rejimga o'tgan generatorlarni tarmoqqa qayta sinxronlash paytida katta mexanik yuklar ta'sir etadi.

Elektr mashinalar izolyatsiyasidagi mexanik kuchlanish chulg'amning pazlardan chiqish joylarida xavfli hisoblanadi. Ma'lumki, izolyatsiyaning mexanik shikastlanishi dielektrikning xarakteristikasini yomonlashuviga olib keladi.

Yuqori kuchlanishdagi aylanuvchi elektr mashinalari izolyatsiyasining yasalishi uning stator chulg'amini konstruksiyasi bilan

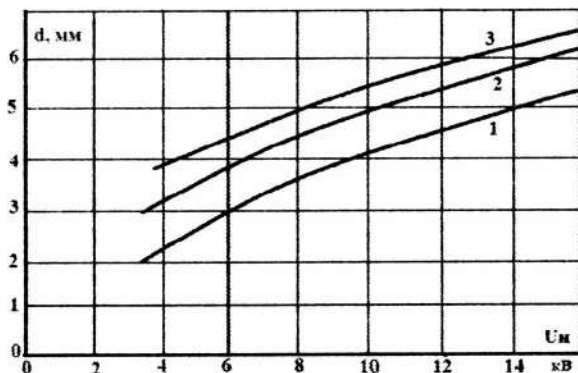
bog'liq. U o'z navbatida elektr mashina rotorining aylanish chastotasi, mashinaning quvvati, sovutish sistemasi va nominal kuchlanishiga bog'liq. Bu esa aylanuvchi elektr mashinalar izolyatsiyasiga katta talablarni qo'yadi.

Elektr mashinalari stator chulg'ami izolyatsiyasining konstruksiyasi bosh izolyatsiya va bo'ylama izolyatsiyaga bo'linadi. Chulg'amning o'tkazgichi bilan korpus orasidagi izolyatsiyaga bosh izolyatsiya deyiladi. Bosh izolyatsiya qalinligining nominal kuchlanishga bog'liqligi 5.1- rasmda keltirilgan. Bo'ylama izolyatsiyaga esa bir g'altakdagi o'ramlar orasidagi va bir pasda yotqizilgan cho'lg'amlar orasidagi izolyatsiya kiradi.

Yaqin kunlarga elektr mashinalari uzluksiz kampaundlangan mikalent izolyatsiyali qilib tayyorlangan. Bunday izolyatsiya konstruksiyasida sterjen yoki seksiya uning peshona qismi bilan butunlay uzunasiga qog'oz asosda asfalt bitum bilan mahkamlangan mikalent plastinkalaridan tashkil topgan izolyatsiyalovchi lenta bilan o'raladi. Bir nechta qatlam mikalent o'ralganidan so'ng izolyatsiya kampaundlanadi, ya'ni vakuum ostida quritiladi va bitum tarkibi kampaundlanadi. Yangidan o'ralgan izolyatsiyaning ma'lum qatlamidan so'ng kampaundlash jarayoni takrorlanadi.

Bunday mikalent – sovuq holatda yumshoq, ishehi haroratda o'ta yumshoq va ikkala tomonidan yuqori sifatli yupqa qog'oz yelimlashtirilgan bir qatlamli shipanoy slyudadir. Yelim rolini bitum-moyli va asfalt- moyli lok bajaradi. Izolyatsiyaning ustidan eni 12 – 35 mm, qalinligi 0,08 - 0,17 mm bo'lgan lenta bilan o'raladi. To'liq o'ralmagan izolyatsiya qurutilib bitum - moy singdiriladi va yana qo'shimcha lenta bilan o'ralib keyinchalik takroran quritiladi. Birinchi quritish bosim ostida bo'lsa, ikkinchisi vakuumda amalga oshiriladi. Quritishning asosiy vazifasi izolyatsiya tarkibidagi namlikni va eritgichlarning qoldiqlarini chiqarishdir. Qurutilgandan keyin 150°C temperaturada va 7 - 8 atmosfera bosimida kampaund singdiriladi. Kampaundning ko'proq va chuqurroq singishini ta'minlash uchun quritish bir-biridan 24-27 soatga farqlanuvchi bir necha siklda amalga oshiriladi. Har bir sikl kuchlanishi 3-10,5 kV bo'lgan elektr mashinalar uchun 2 marta, kuchlanishi undan yuqori bo'lgan elektr mashinalari uchun esa 3 marta takrorlanadi. Natijada aralashma izolyatsiyaning past qismida yotuvchi qatlamlarga singdirilib mikalenddan monolit izolyatsiya hosil qilinadi.

Mikalent izolyatsiyani mexanik zarbalardan muhofaza qilish va kuchlanish gradientini bartaraf etish uchun temperaturadan kengayish koeffitsienti juda kichik bo'lgan temir - asbest lenta bilan o'raladi. Buning o'rniga ba'zida elektrokarton yoki lok singdirilgan shisha lenta ham qo'llanilishi mumkin,



5.1- rasm. Bosh izolyatsiyaning nominal kuchlanishga bog'liqligi: 1 – paz qismidagi mikalent uchun; 2 - paz qismidagi umumiy qalinlik uchun; 3 - peshona qismidagi umumiy qalinlik uchun.

Mis sterjenning pazdan chiqish qismida chekka effektning mavjudligi sterjenning qattiq izolyatsiyasi ichida va uni o'rab turgan gazli muhitda elektr maydon kuchlanganligining oshishiga olib keladi. Agar elektr maydonini kuchsizlantiradigan (tekislashtiradigan) tadbir qo'llanilmasa havoda yoki vodorodda izolyatsiyani buzadigan tojlanish razryadi kuzatiladi.

Tojlanish effektini bartaraf etish uchun sterjenning peshona qismidagi sirtida elektrik potensialning tekis taqsimlanishini ta'minlash kerak, bunda sirt bo'ylab elektr maydon kuchlanganligining tashkil etuvchisi havo yoki vodorodda ionlanish boshlanish kuchlanganligining kritik qiymatidan kichik ($E < 2 \text{ kV/mm}$) bo'lishi kerak. Hozirgi vaqtda sterjenning pazdan chiqishida elektr maydonini tekislash uchun izolyatsiyaning sirtida potensialni rostlashning ikkita usuli qo'llaniladi: sterjen izolyatsiyasining ustidan yarimo'tkazuvchan qatlam surtish yordamida - aktiv qarshilikli va sig'imiyl - izolyatsiyaning ichida butun qalinligi bo'yicha o'tkazuvchan yoki yarimo'tkazuvchan qoplama - ekranlar o'rnatish yordamida.

Tojlanishga qarshi o'tkazuvchan komponent ko'rinishida qurum yoki grafit ishlatilgan gliftal – moyli yoki moyli – bitumli yarimo'tkazuvchan loklar shimdirilgan asbest lentasi asosida bajarilgan yarim o'tkazuvchan qoplama ishlatiladi.

Tojlanishga qarshi himoyaning effektivligi va muhimligini oshirish, hamda yarimo'tkazuvchan lentaning shikastlanishining oldini olish uchun qalinligi 0,4 – 0,5 mm bo'lgan izolyatsiya qatlami bilan himoyalaniadi. Bunday holda qoplama qattiq muhitda turgan holatda uning elektrik mustahkamligi havonikidan yoki vodorodnikidan ancha yuqori bo'lib, izolyatsiyaning sirtida potensialning taqsimlanishini yaxshilash hisobiga tojlanish razryadlanishi boshlanadigan kuchlanish 1,5 martaga oshiriladi. Bunday yarimo'tkazuvchan qatlam nominal kuchlanishi 20 - 24 kV bo'lgan elektr mashinalarida qo'llaniladi.

Kuchlanishi 6 kV va undan yuqori mashinalarda tojlanish paydo bo'lishi mumkin. Sovitish sistemasi yopiq ventilyatsiya bo'lgan sistemada tojlanish havodagi namlik hisobiga izolyatsiyani yemiruvchi kislota hosil qiluvchi azot oksidining paydo bo'lishiga olib keladi. Tojlanishning yemiruvchan ta'siriga asosan elektrokarton, ip-gazlama lenta kabi ko'rinishidagi izolyatsiyalar uchraydi. Buni bartaraf etish uchun ochiq ventilyatsiyani qo'llash o'rindir.

Tojlanish natijasida qattiq izolyatsiya bilan paz devori orosidagi havo qatlamida katta maydon kuchlanganligi paydo bo'lishi mumkin.

Nazorat savollari

1. Aylanuvchi elektr mashinalariga qanday mashinalar kiradi?
2. Aylanuvchi elektr mashinalarining izolyatsiyasi haqida umumiy ma'lumotlarni keltiring.
3. Aylanuvchi elektr mashinalarining izolyatsiyasiga qanday talablar qo'yiladi?
4. Elektr mashinalarining aktiv materiallariga nimalar kiradi?
5. Stator chulg'aminging izolyatsiyasi qanday guruhlarga bo'linadi?
6. Stator chulg'aminging izolyatsiyasi tuzilishi bo'yicha qanday turlarga bo'linadi?

5.2. Elektr mashinalari izolyatsiyasining turlari va konstruksiyalari

Keyingi paytlarda har xil izolyatsiya materiallarini yaratishda erishilgan yutuqlar ularni elektr mashina izolyatsiyasida qo'llash

hisobiga samaradorlikni oshirishni ta'minlamoqda. Sintetik izolyatsiyaning birinchi varianti nominal kuchlanishi 11 kVgacha bo'lgan mashinalarda qo'llanilgan. Bu izolyatsiyaning tarkibi epoksid smolasi shimdirilgan shishalentadan iborat. Bu variantda slyuda shishalenta bilan, asfalt – moy loki esa, suyuq epoksid smolasi bilan almashtirilgan. Bu suyuq epoksidga yarimefirar (ftal va malina kislotalari) aralashtirilganda qotib monolit izolyatsiya hosil qiladi. Uning dielektrik xarakteristikasi quyidagicha: $\tan\delta < 10\%$, elektr maydon kuchlanganligi 20 kV/mm. Bu smolaning dielektrik xarakteristikasini asfalt-bitum lohniki bilan solishtirganimizda unikidan past emasligini ko'ramiz.

Sintetik izolyatsiyaning ikkinchi varianti kuchlanishi 3,3-6,6 kV bo'lgan mashinalarda qo'llaniladigan va yelimlovchi tarkibi eskopon bo'lgan shishalenta hisoblanadi. Eskopon – kauchikka termik qayta ishlov berishdan olinadigan mahsulotdir. U shisha tola bilan birgalikda ishlatilganda monolit massani hosil qilib, mexanik kuch ta'siriga juda chidamli bo'ladi. Bu izolyatsiyaning asosiy kamchiligi tojlanishga chidamsizligidir.

Hozirgi vaqtda generatorlarni tayyorlashda faqat termoreaktiv izolyatsiya qo'llanilmoqda. Bu izolyatsiya boshqalarga qaraganda yuqori mexanik mustahkamlikka ega, yuqori haroratda ham yumshamasligi izolyatsiyani ishlab chiqarishda uni bir necha marta kampaundlashga ehtiyoj qoldirmaydi. Bundan tashqari bu izolyatsiyaning ruxsat etilgan ishlash temperaturasi 120°C gacha hisoblanadi. Termoreaktiv izolyatsiya uni tayyorlashda qo'llaniladigan komponentlar – oquvchan neftli bitum va lokning asosida hosil qilingan kompoz. o'rniga asosan epoksid, yarimefir bo'tqalari yoki ikkalasining kompozitsiyasi o'rniga termo qayta ishlov berishda polimerlashgandan keyin juda qattiq holatga keladigan, yumshamaydigan, mustahkam, amalda erimaydigan ko'rinishga keladi.

Elektr mashinalarida foydalaniluvchi izolyatsiyaning yana bir turi – slyuda qog'oz va termoaktiv smoladan tashkil topgan kompozitsiyadir. Bunda slyuda qog'oz o'ralgandan keyin seksiya termokameraga joylashtirilib, termoreaktiv smola singdiriladi. Bu holda smola monolit holatiga o'tadi va presslanganidan keyin seksiyaning aniq o'lchamini oladi. Bu turdagi izolyatsiyaga "termolistik" deyiladi.

Termoreaktiv izolyatsiyaning asfalt - slyudaga nisbatan afzalligi uning issiqlikdan kengayish koeffitsientini juda kichikligi sababli termik deformatsiyaga uchramasligi hisoblanadi.

Mashinaning ishchi temperaturasida bog'lovchining yuqori mexanik mustahkamligi va bu izolyatsiyani tayyorlash texnologiyasining xususiyati izolyatsiyani ishlab chiqarishda mexanik shikastlanishining ehtimolini kamaytirish, slyudaning o'rniga arzonroq va uncha defitsit bo'lmagan, ammo mexanik mustahkamligi uncha yuqori bo'lmagan slyudanitni qo'llashga imkon beradi. Slyudanit ishlab chiqarish chiqindilaridan tayyorlanadi.

Slyudanit juda mayda bo'lgan slyudaning ko'plab tangalaridan tashkil topib, qalinligi bo'yicha bir nechta qatlamlardan iborat bo'ladi. Shuning uchun ham slyudanit qalinligi bo'yicha bir jinsli bo'lib, mikalent va mikofoliyga nisbatan katta elektrik mustahkamlikka ega. Mikalent izolyatsiyada bir slyuda varag'ida ba'zi joylarida bir nechta qatlamlar mavjud bo'ladi.

Statorning pazlariga sterjen o'rnatilganidan so'ng u o'zining ishchi holatini egallaydi. Bunda yuklanish darajasiga bog'liq holda izolyatsiya uzinasiga uchta qismga bo'linadi: paz qismi, sterjenning pazdan chiqish qismi va chulg'anining peshona qismi.

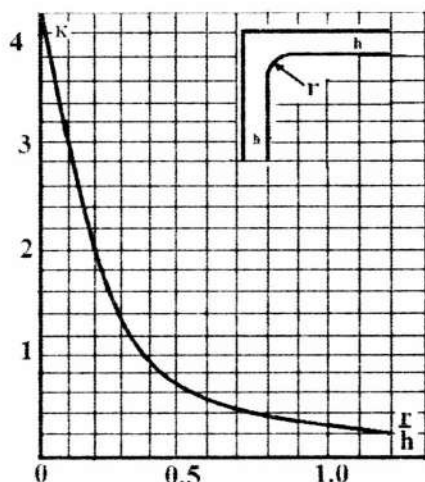
Paz qismi. Elektr maydon kuchlanganligi mashinaning nominal kuchlanishiga, izolyatsiyaning qalinligiga, mis sterjen sirtining konfiguratsiyasiga va stator paziga bog'liq. Amalda hozirgi vaqtda turbogeneratorlarda paz va sterjenlar to'g'ri burchakli shaklda bo'ladi. Elektrodslarning bunday shaklida elektr maydonning maksimal elektr yurituvchi kuchi mis sterjenning burchaklarida bo'lib pazdagi izolyatsiya juda notekis yuklanadi.

Bo'ylama izolyatsiyada maydon kuchlanganligining maksimal qiymati mis sterjenning burchaklarida bo'lib, izolyatsiya hajmi bo'yicha maydon kuchlanganligi notekis bo'ladi. Pazdagi elektr maydonini tekislash elektr maydonning notekislik darajasi K bilan xarakterlanadi va u pazdagi maksimal elektr maydon kuchlanganligining bir jinsli maydon kuchlanganligiga nisbati bilan aniqlanadi $\frac{E_M}{E_0} = K$. Elektr maydonining notekisligi yassilanish qirrasining radiusiga bog'liq.

Stator pazidagi elektr maydon kuchlanganligini tekislash yuqorida keltirilgan notekislik koeffitsienti bo'yicha amalga oshiriladi. Paz elektr maydonining notekisligi mis sterjen qovurg'asining aylanaga yaqinlashish radiusiga bog'liq. 5.2-rasmdan ko'rinadiki, sterjen qirralarining o'tmaslashishi bilan elektr maydonining notekisligi keskin kamayadi. O'tmaslashish radiusining 0 dan 0,5h gacha o'zgarishida

notekislik keskin o'zgarib, keyinchalik esa juda sekin o'zgaradi (Bu yerda h - izolyatsiyaning qalinligi).

Generator statorining kuchlanishini 30 kV va undan yuqori ko'tarish uchun izolyatsiyaning qalinligini oshirish va tok bo'yicha yuklanishni kamaytirish zarur. Birinchisida izolyatsiyaning o'lchami va massasi oshib ketsa, ikkinchisi misning kamayishiga olib keladi.



5.2- rasm. Elektr maydon notekisligi K ni o'tmaslashtirish radiusi r ning izolyatsiya qalinligi h ga nisbatiga bog'liqligi

egri chiziq hozirgi zamonoviy kampaundlangan izolyatsiyaga mansub; 2 - egri chiziq yangi tipdagi termoreaktiv izolyatsiya uchun.

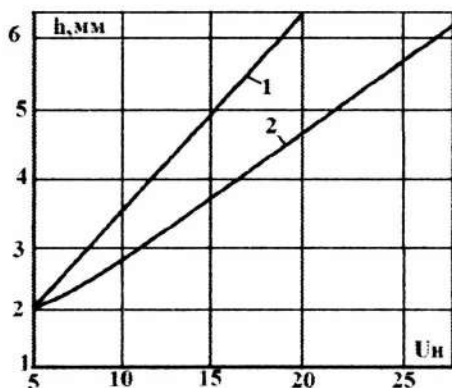
Tajriba ko'rsatadiki, yangi izolyatsiyaga o'tish natijasida izolyatsiyaning tekis qismida elektr maydon kuchlanganligi 2,5 - 3,0 dan 3,0 - 4,0 kV/mm gacha oshadi. Agar sterjenning qovurg'asini 0,5 mm egrilik radiusi bo'yicha o'tmaslashtirilsa, elektr maydon kuchlanganligi 10,5 kV/mm gacha oshadi.

Chulg'am sterjenlarining pazdan chiqish joyida qirralar ef'ekti mavjud bo'lib u sterjenning qattiq izolyatsiyasi ichida va sterjenni o'rao turgan izolyatsiyalovchi muhitda ham (havo yoki vodorod) elektr maydon kuchlanganligining oshirilgan qiymatining kuzatilishiga olib keladi. Agar bunga nisbatan maydonni kuchsizlantirish bo'yicha choralar qo'llanilmasa havoda yoki vodorodda asta-sekin izolyatsiyani yemiruvchi tojlanish razryadi paydo bo'ladi.

Generator nominal kuchlanishini oshirishga izolyatsiyaning yangi turlarini, mukammallashtirish sovitish sistemasi va yangi izolyatsiya materiallarini qo'llash orqali erishish mumkin.

Elektr maydonini tekislashning yana bir usuli sterjenning yuqorigi va pastki chetlariga talab etilayotgan kerakli o'tmaslashtirish radiusiga ega bo'lgan izolyatsiyalovchi prokladka yopishtirishdan iborat..

Pazdagi izolyatsiyalar qalinligining nominal kuchlanishga bog'liqligi 5.3- rasmda keltirilgan. Bu grafikdagi 1 -



5.3- rasm. Korpus izolyatsiyasi qalinligining generatr nominal kuchlanishiga bog'liqligi: 1 – kampaundlangan mikalent; 2 – termoreaktiv.

Tojlanish effektini bartaraf etish uchun sterjen izolyatsiyasining qismidagi sirt bo'ylab elektr potensialning sekin silliq taqsimlanishini ta'minlash talab etiladi. Bunda elektr maydon kuchlanganligining tashkil etuvchilari sirt bo'ylab havoning yoki vodorodning ionlanish jarayoni uchun kerak bo'lgan kritik maydon kuchlanganligidan kichik bo'lishi kerak (2 kV/mm dan kichik).

Hozirgi vaqtda sterjenning pazdan chiqish qismida elektr maydonini tekislash uchun izolyatsiyaning sirtida potensialni rostlashning ikkita usuli qo'llaniladi: izolyatsiya sirtini yarim o'tkazgichli qoplama bilan qoplash; izolyatsiyaning butun qalinligi bo'yicha o'tkazgich va yarimo'tkazgichdan prokladkalar yordamida ekranlash.

Eng oson va amalga oshirish sodda va keng tarqalgan tojlanishga qarshi usul bo'lib maxsus ishlab chiqilgan izolyatsiyaning peshona va pazdan chiqish qismini yarimo'tkazgichli qatlam bilan qoplash hisoblanadi. Izolyatsiyaning sirti bo'ylab potensialni tekis taqsimlash uchun yarimo'tkazgichli qatlam qo'llaniladi. Bunda qatlamning izolyatsiya bo'ylab sirtiy qarshiligi qoplamaga oqayotgan tokning zichligiga teskari proporsional bo'ladi.

Aylanuvchi elektr mashinalarining izolyatsiyasining teshilishi asosan izolyatsiyada sodir bo'ladigan ionlashish jarayonning mahsulidir. Chunki, sanoat chastotasida issiqlikdan teshilish deyarli uchramaydi.

Teshilish kuchlanishining qiymati asosan seksiya ustida olib boriladigan tajriba asosida topiladi. Teshilish kuchlanishi slyuda qatlamining shakli va uning qalinligiga bog'liq.

Qoplama qatlamining nisbiy qarshiligini o'zgartirish hisobiga maksimal maydon kuchlanganligini rostdash mumkin. Bundan tashqari qoplovchi qatlam uzunligi potensial tushishi uchun yetarlicha bo'lishi kerak. Har xil nisbiy qarshilikka ega bo'lgan ikki pog'onali qatlamni qo'llash kuchlanishning taqsimlanishini yaxshilaydi.

Ikki pog'onali o'tkazuvchan qoplovchi qatlam har xil sirt qarshiligiga ega bo'lgan moyli-kulli lokni qo'llash orqali hosil qilinadi. Bu massa lokka grafit kulini qo'shish bilan olinadi. Qabul qilingan terminga ko'ra sirt qarshiligi katta bo'lgan lokka "pazdagi" sirt qarshiligi kichik bo'lganiga esa "yuza" loki deyiladi.

Pazlar chetidagi maydon kuchlanganligini kamaytirishning yana bir usuli xuddi kondensatorlardagidek yarim o'tkazuvchan qoplama to'siq qo'llashdir. Ekran uzunligini o'zgartirish orqali izolyatsiya bo'ylab maydon kuchlanganligining taqsimlanishini tekislash mumkin. Lekin bu usul murakkab va narxi qimmatligi sababli amalda qo'llanilmaydi.

Izolyatsiyani kuchlanish impulsiga tekshirish uchun elektr mashinalari chulg'amlarida kechadigan o'tish jarayonini o'rganish zarur. Aylanuvchi mashinalar chulg'amlarida kechadigan o'tish jarayonini tahlil qilish transformatoridagiga nisbatan ancha murakkab hisoblanadi. Ikkinchi darajali detallarni e'tiborga olmasak elektr mashinalaridagi o'tish jarayonini ma'lum uzunlikdagi liniyada kechadigan to'lqin jarayoni bilan taqqoslash mumkin. Bu holatda chulg'amning to'lqin xususiyatini uchta parametr – to'lqin qarshiligi Z , to'lqinning tarqalish tezligi ϑ va so'nish koeffitsienti α bilan xarakterlash mumkin:

$$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}; \quad \vartheta = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}. \quad (5.1)$$

Shunday qilib, elektr mashinasining chulg'amini o'rtacha to'lqin qarshilikli ma'lum uzunlikdagi liniya bilan almashtirish mumkin. U bo'ylab to'lqin harakat qiladi, teskari yo'nalishda esa to'lqin statorning po'lat o'zagi bo'ylab qaytadi.

O'lehashlar ko'rsatadiki, elektromagnit maydon to'lqinining tarqalish tezligi $80 \div 15$ m/mksek. Tarqalish tezligi generatorning quvvati oshgani sari kamayib boradi. Generatorning quvvati oshishi

bilan, uning to'liqin qarshiligi ham kamayadi, chunki bu holda o'tkazgichning ko'ndalang kesimi kattalashishi bilan, uning induktiv qarshiligi kamayib, uning yerga nisbatan sig'imi oshadi. Chulg'amning to'liqin qarshiligi faqat generatorning kuchlanishi va quvvatiga bog'liq bo'lmasdan, chulg'amining konstruksiyasiga ham bog'liq. Elektr mashinalari chulg'amida to'liqinning so'nish koeffitsientini taxminan $\alpha = 0,02/\text{mksek}$ deb olish mumkin. Chulg'amning to'liqin qarshiligi mashinaning quvvati oshishi bilan kamayadi, chunki sig'im oshsa induktivlik kamayadi. Shu sababdan mashinaning nominal kuchlanishi oshishi bilan chulg'amning to'liqin qarshiligi o'sadi, tezlik ϑ esa tushadi.

Agar to'liqin statorning uchta faza cho'lg'amlari bo'yicha tushayotgan bo'lsa, mashinaning izolyatsiyalangan neytralida esa kuchlanish to'liqinining qaytishi hisobiga ikki martagacha ko'tariladi. Transformatorlardagi kabi kuchlanishning bunday sezilarli darajada o'sishi faqat chulg'amga yetarlicha qiyalikka ega bo'lgan kuchlanish to'liqinining tushishi hisoblanadi. Hisoblashlar ko'rsatadiki, neytralda kuchlanishning oshishini bartaraf etish uchun bu koeffitsient $a \leq 2$ kV/mksek bo'lishi kerak.

To'liqin frontining boshlanishi $\vartheta_0 = \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}}$ tezlik bilan xarakatlanadi,

Bu yerda ϵ' - izolyatsiyaning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi, c - yorug'lik tezligi. Chulg'amdagi to'liqin yassilanish koeffitsienti a bo'lgan qiyshiq burchakliligi tufayli o'rta va kam quvvatli elektr mashinalarining o'ramlararo izolyatsiyasiga ta'sir etayotgan kuchlanishni ushbu ifoda orqali aniqlaymiz:

$$\Delta U = \frac{al}{\vartheta}, \quad (5.2)$$

bu yerda ϑ - to'liqinning chulg'am bo'ylab tarqalish tezligi, m/mksek; l - o'ramning uzunligi, m; a - to'liqinning yassilanish koeffitsienti, kV/mksek.

Kuchlanish ΔU ni o'ramlararo izolyatsiyaga qo'yiladigan impuls kuchlanishning maksimal ruxsat etiladigan qiymatiga tenglashtirsak impulsning o'rtacha qiyalanish koeffitsientini aniqlaymiz.

$$a_{\text{max.et}} = \frac{U_{\text{sin}} \sqrt{2} \cdot 1,25 \vartheta}{l}, \quad (5.3)$$

bu yerda U_{sin} - o'ramlararo izolyatsiyani sinash kuchlanishi.

Aylanuvchi mashinalarning bosh izolyatsiyasi zavodda ishlab chiqarish paytida 4 marta sanoat chastotasidagi kuchlanishga sinaladi: 1-

alohida elementlarni pazga joylashtirguncha; 2- g'altaklar pazga o'rnatilib o'zaro ulangunga qadar; 3- alohida qismlar mahkamlanib, o'zaro ulangandan keyin; 4 - zavoddan chiqishidan oldin.

Sinash kuchlanishining tasir etish vaqti 1 minutdan - 1minutu 15 sek gacha olinadi. Sinash kuchlanishi qiymati sinash etaplarga qarab kamayib boradi. Bunga sabab chulg'am izolyatsiyasining elektrik mustahkamligi chulg'amni pazlarga o'rnatish paytida unga mexanik, termik va boshqa har xil texnologik jarayonlar ta'siri natijasida pasayishi mumkin.

Bosh izolyatsiya sinalayotganda mashinalar neytrali to'liq sinash kuchlanishiga qo'yiladi, chunki neytralning mustahkamlik zahirasi yetarlicha bo'lishi va u izolyatsiyaning chetki qismlarinikidan kam bo'lmashligi zarur. Yonma-yon joylashgan o'ramlar sanoat chastotasidagi kuchlanishda 5 minut davomida sinaladi. Katta quvvatli mashinalar uchun bu kuchlanish 100 V atrofida olinadi.

Nazorat savollari

1. Elektr mashinalarining izolyatsiyasi qanday turlarga bo'linadi?
2. Stator izolyatsiyasi uzunasiga qanday bo'limlarga bo'linadi?
3. Mashinada elektr maydonining kuchlanganligi nimalarga bog'liq?
4. Stator pazida elektr maydon kuchlanganligini tekislash qanday amalga oshiriladi?
5. Generatorning nominal kuchlanishini oshirishga qanday yo'l bilan yerishish mumkin?
6. Hozirgi davrda stator sterjenining pazdan chiqish qismida elektr maydonini tekislash uchun qanday tadbirlar amalga oshiriladi?
7. Aylanuvchan elektr mashinalarida izolyatsiya teshilishining asosiy sababi nimadan iborat?
8. Chulg'amning to'liq qarshiligi nima? U qanday aniqlanadi?
9. Chulg'amda to'liqning tarqalish tezligi qanday aniqlanadi?
10. Elektr mashinalari chulg'amlarining o'ramlari izolyatsiyasiga ta'sir qiluvchi kuchlanish qanday aniqlanadi?
11. Elektr mashinalarining izolyatsiyasini sinash shartlari nimalardan iborat?

5.3. Kuch transformatorlarining izolyatsiyasi

Kuch transformatorlarining, ayniqsa, yuqori kuchlanishga mo'ljallangan transformatorlarning izolyatsiyasi o'ta murakkab konstruksiyalarda bajariladi. Chulg'amlarning alohida elementlari (o'ram, g'altak, qatlam) bir-biriga va yerga, yani magnit o'zagi, bak devoriga nisbatan izolyatsiyalanishi zarur.

Chulg'amning oddiy sxemasi – ikki qatlamli silindrik yoki ko'p qatlamli qilib bajariladi. Chulg'am qog'oz – bakelit silindrga spiral ko'rinishida bir nechta qatlam qilib o'raladi. Bir qancha o'ramlar orasida moy oqadigan kanallar bajariladi. Bu tipdagi chulg'amlar kam quvvatli, kuchlanishi 35 kVgacha bo'lgan transformatorlarda keng tarqalgan. Eng keng tarqalgan chulg'am g'altakli chulg'am bo'lib u ikkita–uchta paralel o'tkazgichlardan iborat. Har bir g'altak o'nlab o'ramlardan iborat. G'altaklar orasida sovituvchi va izolyatsiylovchi moy kanallari bajarilgan. G'altaklararo o'tish navbatma-navbat chulg'amning ichki va tashqi tomonlarida joylashadi, bu chulg'amni yig'ish paytida amalga oshiriladi.

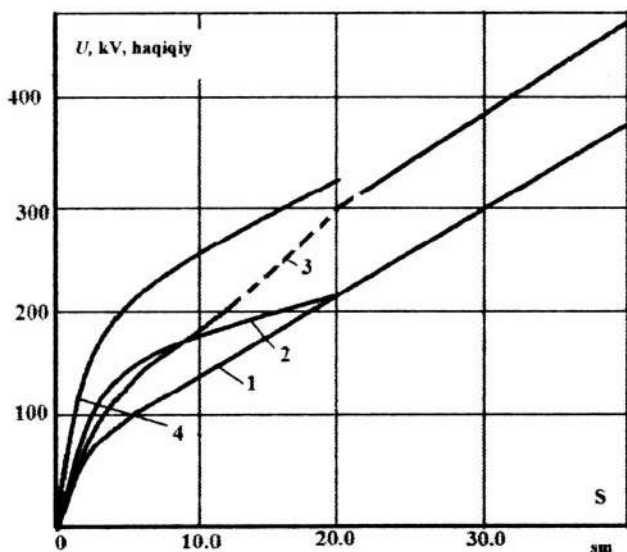
Transformatorning izolyatsiyasi ichki (bakdagi) va tashqi (transformatorning kirishlari orasidagi, kirish bilan bak orasidagi havo oralig'i) izolyatsiyalariga bo'linadi. Ayniqsa, ichki izolyatsiya alohida ajralib turadi.

Chulg'am izolyatsiyasi esa bosh va bo'ylama izolyatsiyaga bo'linadi. Bosh izolyatsiyaga chulg'amning zaminlangan qismga va boshqa chulg'amlarga nisbatan izolyatsiyasi kiradi. Bo'ylama izolyatsiyaga bir chulg'amdagi qismlarining o'zaro, o'ramlar, chulg'amlar qatlamlar va boshqa elementlar orasidagi izolyatsiyalar kiradi. Bu ikkala izolyatsiya uchun ham izolyatsiylovchi material rolini transformator moyi va u bilan birgalikda kattiq dielektriklar (elektrokarton, qog'oz, bakelit va o'rov o'tkazgichlarining ip-gazlama izolyatsiyasi) bajaradi.

Transformatorlarning kirishlari doimo qattiq va suyuq dielektriklar kombinatsiyasidan iborat. Uning ustunligi o'tuvchi izolyatorlarga qaraganda keng yoritilganligidir. Transformatorlar izolyatsiyasida moy ichida joylashtirilgan uch xil asosiy qattiq dielektriklar (qoplanish, izolyatsiyalash va bo'lgichlar (to'siq)) qo'llaniladi.

Qoplanish – nisbatan yupqa (1- 2 mm dan katta bo'lmagan) qattiq izolyatsiylovchi materialdan (ko'pincha qog'ozdan yoki

izolyatsiyalovchi lokdan) iborat bo'lib, elektrodga jips joylashishidan maydon kuchlanganligi nisbatan sezilarli darajada o'zgarmaydi. Bu tadbir sanoat chastotasida, ayniqsa, transformator moyining namlanganida va ip-tola bilan ifloslanganida effektiv hisoblanadi. Transformator moyining elektrik mustahkamligi pasayganida qoplanishning ta'siri 5.4- rasmda ilyustratsiya qilingan. Bu grafikdagi egri chiziqlardan qoplanish, ayniqsa, kuchsiz bir jinsli bo'lmagan maydonlarda sezilarli bo'lishini ko'ramiz. Chunki, bunda elektrodlar ustining qoplanishi natijasida uning ustida zarrachalar to'planishi va o'tkazuvchan qatlamning paydo bo'lish ehtimoli kamayib ketadi. O'tkazuvchi zarrachalar qoplangan elektrod ustida ushlanib qolmasdan moyga cho'kib, uning tagida cho'kma hosil qiladi – moy yuzasida o'tkazuvchan ko'prik paydo bo'lmaydi (5.4- rasm).

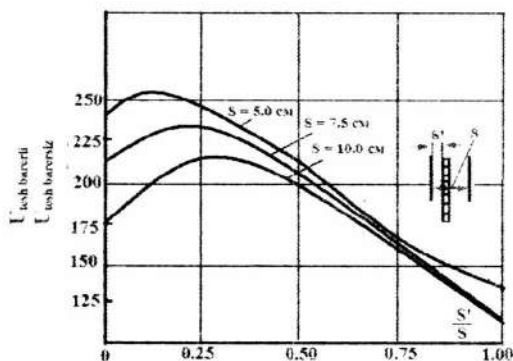


5.4- rasm. Sanoat chastotasida elektrodلarni yupqa qatlamli dielektrik bilan qoplanishining ta'siri. Elektrodلar parallel: 1 – diametri 3 mm qoplamasiz; 2 – diametri 10 mm qoplamasiz; 3 – diametri 3 mm ikki qavatli kabel qog'ozi yasalgan qoplama o'rnatilgan; 4 – diametri 10 mm ikki qavatli kabel qog'ozidan yasalgan qoplama o'rnatilgan. Moyni norma bo'yicha elektrik mustahkamligi $26 - 28 \text{ kV}_{\text{ta'sir}} \text{ et } 2,5/\text{mm}$

Izolyatsiyalash – qoplamadan dielektrik qatlamning qalinligi bilan farqlanadi. Bunda dielektrikning qalinligi 10 mm gacha bo'lishi mumkin. Qoplamaning mavjudligi elektrodلar atrofida elektr maydon

kuchlanganligini sezilarli darajada kamaytiradi. Bu izolyatsiyani kuchli bir jinsli bo'lmagan maydonlarda qo'llash alohida ahamiyatga ega. Bu o'z navbatida kuchli bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlarda maydon kuchlanganligining taqsimlanishini tekislaydi.

To'siq – transformatorlarda elektrokartondan, bakalizlangan qo'g'ozdan yoki gazlama materialdan doska, silindr, shayba va boshqa shakldagi ko'rinishda bajariladi. Keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda, to'siq maksimal maydon kuchlanganligining paydo bo'lishining oldini oladi va uning teshilish kuchlanishini 2 marta oshiradi. To'siq kuchsiz va keskin bir jinsli bo'lmagan maydonlarda qo'llaniladi, lekin ularning roli har xil bo'ladi. Keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda qattiq dielektrikdan yasalgan bo'lgich moyda xuddi gazli oraliqda to'siqlar bajargan rolni bajaradi, shuning uchun ularni maydon kuchlanganligi maksimal bo'lgan zonaga joylashtiriladi (5.5- rasm).



5.5- rasm. To'siqning izolyatsiyani teshilish kuchlanishiga ta'siri.

Bu grafiklardan ko'rinadiki yupqa to'siqlar sanoat chastotasida (50 Gts) taxminan xuddi havodagidek teshilish kuchlanishini 2 va undan ortiq marta oshiradi. Lekin to'siqning mavjudligi ionlashish jarayoni eng katta kuchlanganlikli maydondagi sohada, kuchlanishning, teshilish kuchlanishidan past qiymatlarida ham sodir bo'lishiga olib keladi. Ionlashish jarayonining uzoq davom etishiga yo'l qo'yib bo'lmaydi u nafaqat moyni parchalab qolmasdan balki to'siqning ham yemirilishiga olib keladi. Shuning uchun bu usul qisqa muddatga ta'sir etishda teshilish kuchlanishini oshirish uchun qabul qilinishi mumkin. Transformator o'lchamini oshirib yubormaslik uchun unda yassi to'siq o'rniga fasonli to'siqlar qo'llaniladi. Elektr mustahkamlikni oshirish

uchun bir nechta nisbatan bir jinsli maydonlarda to'siqlar boshqa funksiyani. Ya'ni moyda o'tkazuvchan ko'priklarning paydo bo'lishining oldini oladi. Yuqori kuchlanish transformatorlarida razryadlanish boshlanadigan yo'nalishlar bo'yicha qattiq dielektrlardan to'siqlar o'rnatiladi.

Yuqorida aytilgan fikrlarning barchasi o'lchami moyli oraliqning o'lchamiga nisbatan ancha kichik bo'lgan to'siqlarga taalluqli. Agar to'siqning o'lchamini moyli oraliqning o'lchami bilan solishtirish mumkin bo'lsa, qattiq dielektrikning dielektrik singdiruvchanligidan moyniki kichik bo'lganligi tufayli moyda elektr maydon kuchlanganligining o'sishi natijasida ularning ta'siri teskari ham bo'lishi mumkin. Bir jinsli maydonlarda to'siqning roli uncha katta emas. Shu bilan birga to'siqlarni mexanik mustahkamlik nuqtai nazaridan o'ta yupqa qilib yasash mumkin emas. Moyda qisqa muddatga yupqa o'tkazuvchan qatlam paydo bo'lganda kuchlanishning anchagina qismi to'siqqa qo'yiladi, shuning uchun to'siq yetarlicha elektrik mustahkamlikga ega bo'lishi kerak. Hosil qilinganda ham lekin moy ifloslanganda to'siqning xomiyalash roli ancha oshadi.

Transformatoridagi qattiq dielektrlar izolyatsiyalovchi rolini bajarish bilan birga mexanik funksiyani ham bajardi. Bu qattiq dielektrlar sirti bo'ylab moyda sirtiy razryadlanish rivojlanishi mumkin. Moyda qattiq dielektrik sirtida rivojlanadigan sirtiy razryadlanish xuddi havodagiday amalga oshadi va maydonning shakliga juda bog'liq, birinchi navbatda elektr maydonining normal tashkil etuvchisining mavjudligiga.

Transformatorlar ko'ndalang izolyatsiyasi ham bosh izolyatsiyaga o'xshash bajariladi. Transformatorlarda qo'llaniladigan o'tkazgichlarda o'ramlarning oralig'i izolyatsiya rolini bajaruvchi ip - gazlama bilan qoplangan doska o'rnatiladi. G'altaklar va qatlamlar orasidagi izolyatsiya kabel qog'ozidan yoki moy kanali ko'rinishidagi qattiq dielektrik trubkalardan iborat bo'lishi mumkin.

Transformatorida o'ta kuchlanish ta'siridagi o'tish jarayonlari va uning xarakteri transformatorning ichki tuzilishiga bog'liq. Transformatorlar izolyatsiyasining alohida elementlariga tasir etayotgan kuchlanish, o'ta kuchlanish qiymatiga bog'liq bo'lib qolmasdan balki chulg'am konstruksiyasiga ham bog'liqdir. Bu xususiyat faqat bo'ylama izolyatsiyaga ta'luqli bo'lib, uni ratsional konstruksiyalash yo'li bilan kamaytirish mumkin

Neytrali zaminlangan sistemada ishlashga mo'ljallangan transformatorlarda kuchlanishni chulg'amning o'rtasiga kiritilsa izolyatsiya ancha soddalashtirilishi mumkin. Bu holda chulg'am ikkita (yoki to'rtta) boshlanish qismi chulg'amning o'rtasida umumlashtirilgan parallel shaxobchaga bo'linishi mumkin. Barcha faza chulg'amlarning oxiri birlashtirilib transformatorning neytrali tashkil etiladi. Chunki neytrali zaminlangan sistemada barcha transformatorlarning neytralidagi kuchlanish uncha katta emas, shuning uchun chulg'amlar oxirining yerga va zaminlangan konstruksiyaga nisbatan izolyatsiyasi kuchsizlantirilgan ko'rinishda bajarilishi mumkin. Shunday qilib elektr maydon shakli nuqtai nazarida eng noqulay joyda chulg'am eng kichik kuchlanishda bo'lganligi tufayli uning izolyatsiyasini yengillashtirish imkonini beradi.

Oxirgi paytlarda transformator qurilishi amaliyotida oddiy moyli – to'siqli izolyatsiya o'rniga kabel qog'ozidan tayyorlangan izolyatsiya ham qo'llanilmoqda.

Transformatorlar chulg'amidagi o'tkazgichlar uzunligining yig'indisi bir necha kmga etadi, shuning uchun chulg'amni manbaga turli ulashda chulg'amda xuddi uzun liniyada to'lqinning tarqalishi kabi to'lqin jarayoni boshlanadi.

Faraz qilaylik transformatorga amplitudasi U_0 bo'lgan to'g'ri burchakli to'lqin ta'sir etayotgan bo'lsin. Jarayonning boshlanish lahzasida ($t=0$) chulg'amning induktivligi tok o'tkazmaydi, shuning uchun o'zaro induksiyaning mavjudligi hech qanday rol bajarmaydi va bu holat uchun transformatorning almashtirish sxemasi C va K sig'implardan iborat. Toza sig'imi sxema uchun ikkita tenglamani yozishimiz mumkin. Bular $\frac{K}{dx}$ sig'imdagi zaryad :

$$Q = \frac{K}{dx} dU = K \frac{dU}{dx}, \quad (5.4)$$

Cdx sig'imning zaryadlanishi:

$$dQ = CdxU \quad \text{yoki} \quad \frac{dQ}{dx} = CU. \quad (5.5)$$

Yuqoridagi (5.4) va (5.5) differensial tenglamalardan yerga nisbatan kuchlanishni aniqlovchi differensial tenglamani olamiz:

$$\frac{d^2U}{dx^2} - \frac{C}{K}U = 0. \quad (5.6)$$

Uning umumiy yechimi

$$U = Ae^{\alpha x} + Be^{-\alpha x} \quad (5.7)$$

ko'inishda bo'lib, bu yerda

$$\alpha = \sqrt{\frac{C}{K}}; \quad (5.8)$$

A va B - boshlang'ich shartdan, ya'ni chulg'amning boshlanishidagi va oxiridagi shartdan topiladigan integrallash doimiysi. Chulg'amning boshlanishida ($X = 0$ bo'lganda) kuchlanish har doim U_0 ga teng. CHulg'amning oxiri (transformator neytrali) uchun neytral rejimiga ko'ra chegaraviy shartlar har xil bo'ladi. Neytral zaminlanganda $X = l$ bo'lib, kuchlanish nolga teng bo'ladi. Neytral izolyatsiyalanganda esa chulg'amning oxirida ($X = l$) bo'ylama tok nolga teng bo'lishi kerak, ya'ni ($\frac{dU}{dx} = 0$). Bu chegaraviy shartlardan foydalanilganda transformator chulg'ami bo'ylab kuchlanishning tarqalish qonuniyatini beradi.

Neytral zaminlanganda

$$U = U_0 \frac{e^{\alpha l(1-\frac{x}{l})} - e^{-\alpha l(1-\frac{x}{l})}}{e^{\alpha l} - e^{-\alpha l}} = U_0 \frac{\text{Sh}\alpha l(1-\frac{x}{l})}{\text{Sh}\alpha l}, \quad (5.9)$$

Neytral izolyatsiyalanganda

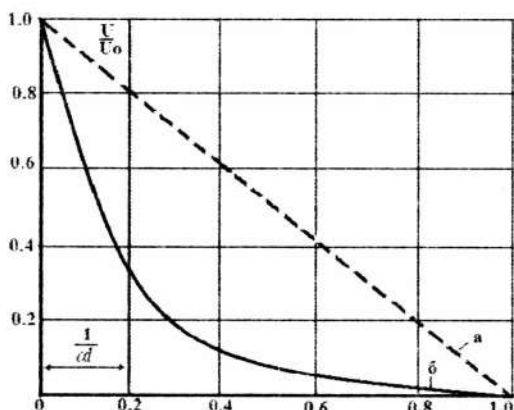
$$U = U_0 \frac{e^{\alpha l(1-\frac{x}{l})} + e^{-\alpha l(1-\frac{x}{l})}}{e^{\alpha l} + e^{-\alpha l}} = U_0 \frac{\text{Ch}\alpha l(1-\frac{x}{l})}{\text{Ch}\alpha l}. \quad (5.10)$$

Hozirgi zamonoviy transformatorlar uchun $(\alpha)_{0,r} \approx 10$ va har holda bu $\alpha l > 5$ shart bajariladi.

5.6-rasmda $\alpha l = 5$ bo'lgan holat uchun chulg'amlar bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishi keltirilgan. Bu grafiklardan ko'rinadiki, kuchlanishning chulg'am bo'ylab boshlang'ich paytdagi taqsimlanishi noxiziq va notekis, ya'ni kuchlanishning ancha qismi birinchi elementga qo'yiladi.

Tebranishning rivojlanish jarayonida chulg'amning elementlari orasida o'ta kuchlanish paydo bo'lib, u gradient deyiladi. Maksimal kuchlanish gradienti chulg'amning boshlanishida bo'lib, u kuchlanishning tekis taqsimlanishidagi gradientga qaraganda α marta katta. Normal rejimga nisbatan chulg'amning boshlanish qismidagi bo'ylama izolyatsiyadagi kuchlanish 50 martagacha o'sib ketishi mumkin.

$$\left(\frac{dU}{dx}\right)_{\max} = U_0 \alpha = \frac{U_0}{l} \alpha l \quad (5.11)$$



5.6- rasm. $cd = 5$ ga teng bo'lgan chulg'am bo'ylab kuchlanishning boshlang'ich taqsimlanishi. a – neytral izolyatsiyalangan; b – neytral zaminlangan.

Nazorat savollari

1. Kuch transformatorlarining izolyatsiyasi qanday tuzilishga ega?
2. Transformatorning izolyatsiyasi qanday klassifikatsiyalanadi?
3. Transformator chulg'amining izolyatsiyasi qanday turlarga bo'linadi?
4. Transformator moyi qanday vazifani bajaradi?
5. Transformatorning chulg'ami bo'ylab kuchlanishning tarqalish qonuniyatini tushuntiring.

5.4. Yuqori kuchlanish kondensatorlarining izolyatsiyasi

Kuch kondensatorlari elektroenergetik qurilmalar zanjirlarida energiyani o'zgartirishda yoki katta quvvatni uzatish uchun salmoqli darajada reaktiv quvvatni ishlab chiqarishda yoki katta reaktiv energiyani yig'ishda har xil mas'ul funksiyalarni bajaradi. Shuning uchun kondensatorlar ham barcha elektr sistema elementlari kabi asosiy kuch elementlari qatoriga kiradi

Kondensatorlar izolyatsiyasi nafaqat izolyatsiyalashda, balki elektr maydon tashuvchisi bo'lib ham xizmat qiladi. Kondensatorlarning qoplamalari bir-biriga qancha yaqin bo'lsa, elektr maydon

kuchlanganligi va mos holda uning sig'imi hamda solishtirma reaktiv quvvati shuncha katta bo'ladi.

Elektr qurilmalarining qog'oz-moyli izolyatsiyali konstruksiyalarda elektr maydonini rostdash kondensator qoplamalariga o'xshash metal folgadan yasalgan qo'shimcha elektrod yordamida amalga oshiriladi va u izolyatsiyaning qalinroq qismida bosh elektrodlar orasiga o'rnatiladi.

Qoplamaning o'lchamini va uning simmetrik izolyatsiyada joylashishini tanlashning asosi qilib qoplama bo'ylab oqimning siljishini o'zgarmas deb olinishi hisoblanadi:

$$2\pi l \epsilon_0 \epsilon_r E_r = \text{const}, \quad (5.12)$$

bu yerda E_r - kondensator qoplamalaridagi elektr maydon kuchlanganligi; r - qoplamaning radiusi; l - qoplamaning uzunligi

Agar elektr maydon kuchlanganligini ikkita qo'shni qoplamalar orasidagi har bir qatlam chegarasida maksimal va o'zgarmas deb qabul qilsak, qoplamalarning o'lchami quyidagi shartdan kelib chiqqan holda tanlanadi:

$$rl = \text{const}, \quad (5.13)$$

Barcha holatlarda kuch kondensatorlari o'zining funksiyasini elektrodlar orasida joylashgan izolyatsiyaning aktiv qismida muayyan vaqt davomida yig'iladigan eneggiya vositasida bajaradi. Kondensatorda yig'iladigan energiya quyidagi formula yordamida topiladi:

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r E_{ishchi}^2 V_a}{2}, \quad (5.14)$$

bu yerda V_a - izolyatsiya aktiv qismining hajmi; E_{ishchi} - izolyatsiyadagi ishchi kuchlanganlik.

Kondensatorning to'la hajmi V taxminan V_a ga proporsional, shuning uchun ushbu ifodadan foydalanamiz. Tabiiyki, kuch kondensatorlarida yuqori nisbiy dielektriklik singdiruvchanlik ϵ_r va yuqori elektrik mustahkamlikka ega bo'lgan izolyatsiya materiallarini qo'llash maqsadga muvofiq. Chunki unga avvalo ishchi elektr maydon kuchlanganligining qiymati bog'liq:

$$V = \frac{k}{\epsilon_r E_{ishchi}^2}.$$

Kondensatorlarning solishtirma quvvatini ko'paytirish uchun u yasalayotgan materialning nisbiy dielektrik singdiruvchanligini oshirish

talab etiladi. Solishtirma reaktiv quvvat quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$Q_0 = k\varepsilon'E^2 . \quad (5.15)$$

Ikkinchi tomondan izolyatsiyaning ishonchliligi elektr maydon kuchlanganligi oshishi bilan kamayib boradi. Chunki, katta elektrik mustahkamlikga ega bo'lgan materiallar past nisbiy dielektrik singdiruvchanlikga ega bo'ladi. Bundan ko'rinadiki solishtirma quvvatni oshirish bilan izolyatsiya konstruksiyasining ishonchliligi bir-biriga zid. Bu zidlik yuqori sifatli izolyatsiyalovchi materiallarni qullash orqali yechiladi. Kondensatorlarda yuqori zichlikdagi qalinligi 5-30 mk bo'lgan qog'oz-moyli izolyatsiya qo'llaniladi. Bu qog'oz yuqori mexanik, elektrik mustahkamlikka va oshirilgan nisbiy dielektrik singdiruvchanlikka ega bo'ladi.

Kondensatorlarning qattiq va suyuq dielektrikli izolyatsiya konstruksiyalarida ham xuddi kabel izolyatsiyasidagi kabi gazli ulanishlar kuzatiladi. Gazli ulanishlarning paydo bo'lishiga sabab kondensatorni tayyorlashda va ekspluatatsiya davrida uchraydigan deffektlar hisoblanadi. Gazli ulanishlarning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi ($\varepsilon' = 1$) juda past. Shu sababdan gazli ulanishlarda razryadning paydo bo'lishi ko'pincha butun izolyatsiya konstruksiyasining teshilishiga olib keladi.

Kondensatorning ekvipotensial sirtida joylashgan juda yupqa havo qatlamidagi bir jinsli maydonning kuchlanganligi havo qatlami joylashgan joyda quyidagi formula yordamida topiladi:

$$E_1 = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} . \quad (5.16)$$

Havo qatlamidagi elektr maydon kuchlanganligi:

$$E_2 = E_1 \frac{\varepsilon_1^3}{\varepsilon_2^2} . \quad (5.17)$$

Ko'pincha izolyatsiyalovchi muhitda, ayniqsa, suyuq dielektrikda (jumladan moyda) gazli ulanish sferik ko'rinishda bo'ladi. Radiusi elektrodleri orasidagi masofadan kichik bo'lgan sferik kondensatorda tashqi maydonni bir jinsli deb qabul qilish mumkin bo'lsa uning elektr maydon kuchlanganligi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$E_2 = \frac{3\varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1} E_1 . \quad (5.18)$$

Elektr energetikada qo'llaniladigan kondensatorlar bir-biridan sig'imi, kuchlanishi va konstruksiyalari bilan farq qiladi.

Elektr energetikada qo'llaniladigan kondensatorlarni quyidagi guruhlariga bo'lish mumkin:

1. Sanoat chastotasidagi kuchlanishda ishlashga mo'ljallangan kondensatorlar;
2. Kuchlanish impulsida ishlashga mo'ljallangan kondensatorlar;
3. Pulslanuvchi va o'zgarmas tok kuchlanishlarida ishlashga mo'ljallangan kondensatorlar;
4. Yuqori chastotada (bir necha kGts) ishlashga mo'ljallangan elektrotermik kondensatorlar.

Birinchi guruhga elektroenergetikada keng tarqalgan elektr uskunalarining quvvat koeffitsientini yaxshilashga hamda uzun havo elektr uzatish liniyalarining induktiv qarshiliklarini kompensatsiyalashga ishlatiluvchi bo'ylama kompensatsiya qurilmalarda, taqsimlovchi tarmoqlarda kuchlanishni rostdlashda, yuqori kuchlanish elektr uzatish liniyalaridan uncha katta bo'lmagan quvvatni olishga hamda ularga aloqa va himoya uskunalarini ulashga mo'ljallangan kondensatorlar kiradi. Bunday kondensatorlarning izolyatsiyasi uzoq vaqt ishchi kuchlanish ta'sirida, ayrim hollarda esa o'ta kuchlanishlar ta'sirida bo'ladi. Bunday kondensatorga ham barcha elektr qurilmalariga quyilgani singari yuqori darajadagi ishonchlilik talabi qo'yiladi. Kosinus kondensatorlarida ruxsat etiladigan ishchi kuchlanganlik 12-14 kV/mm, bo'ylama va ko'ndalang kompensatsiyalovchi qurilmalarda esa 7 – 10 kV/mm ga teng deb olinadi.

Ikkinchi guruh kondensatorlari yuqori kuchlanish laboratoriyalarida qo'llaniladigan kuchlanish va tok generatorlarida, bog'lanish kondensatorlarida, sig'imi transformatorlarda, kuchlanishni bo'lgichlarda foydalanishga mo'ljallangan. Shu bilan birga bunday kondensatorlar maxsus qurilmalarda, masalan, kondensatorning nisbatan sekin zaryadlanishi va tez razryadlanish xususiyati ancha katta quvvat berishni talab etiladigan yuqori parametrlil plazma olishda, kuchli magnit maydoni hosil qilishda va elektrogidravlik effekt olishda ham ishlatiladi. Bunday kondensatorlarning barchasi nisbatan kichik sig'imli bo'lib ularning ishchi kuchlanganligi 7 – 8 kV/mm.

O'zgarmas va pulslanuvchi kuchlanishda kuch kondensatorlari yuqori kuchlanishli to'g'rilagich qurilmalarida filtr rolini bajaradi. Kuchlanishning pulslanishi kondensator izolyatsiyasiga sezilarli ta'sir

ko'rsatadi. Laboratoriya qurilmalarida ular o'zgarmas tok elektr uzatish liniyalarida ham qo'llaniladi. Bunda ularning ishchi kuchlanganligi 30 – 40 kV/mm.

To'rtinchi guruh kondensatorlari yuqori chastotali elektrotermik uskunalarning tebranish konturlarida ishlashga mo'ljallangan. Ularning ishchi elektr maydon kuchlanganligi 100 kV/mm gacha bo'ladi.

Sistemaning quvvat koeffitsientini oshirishga mo'ljallangan kondensatorning germetik korpusida yassi preslangan o'ramli seksiya keltirilgan. Kondensatorning sig'imi va nominal kuchlanishiga bog'liq holda seksiyalari peremechka orqali parallel, ketma-ket va kombina-tsiyalangan sxema bo'yicha ulanadi. Ba'zi kondensatorlarda seksiyalar peremechkaga xususiy saqlagichlar orqali ulanadi. Bu holda kondensatorlarda ba'zi seksiyalar ishdan chiqsa ham ular ishlash qobiliyatini yo'qotmaydi. Alohida seksiyalar orasiga elektrkartondan yasalgan to'siq (prokladka) joylashtiriladi. Bu esa qo'shimcha qizishni chegaralab, moyning parchalanishiga to'sqinlik qilib, ba'zi seksiyalar ishdan chiqqan holda ham kondensatorning ishlash qobiliyatini saqlaydi. Spiral ko'rinishida dielektrik lentadan o'ralgan seksiya kondensa-torlarning asosiy elementi hisoblanadi. Seksiyalarning ikkala tomoni elektrod rolini bajaradi. Bu elektrodga ketadigan metal sarfini kamayti-radi.

Hozirgi vaqtda elektr energetikada qo'llanilayotgan kondensator-larning barchasida seksiyalar yassi presslangan bo'ladi. Seksiyalarni qolipda o'rab keyinchalik presslanganligi uchun ular juda ixcham bo'ladi. Bitta seksiyaning sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C_{seksiya} = \frac{2\epsilon a l}{d}, \quad (5.19)$$

bu yerda a - elektrodning (folga lentaning) kengligi; l - elektrodning uzunligi; d - elektrodlar orasidagi dielektrikning qalinligi; ϵ - dielek-trikning dielektrik singdiruvchanligi.

Bu formuladan ko'rinadiki, kondensatorlarni tayyorlashda yuqori dielektrik singdiruvchanlikga ega bo'lgan izolyatsiyalovchi materiallar qo'llaniladi, chunki u elektrodning uncha katta bo'lmagan yuzasidan kerakli sig'imni olishga imkon beradi. Dielektrikning elektrik mustah-kamligi uchun xuddi shunday muhim parametrlaridan biri tangens yo'qotish burchagi ($\tan\delta$) va ruxsat etiladigan qizish temperasturasi hisoblanadi. Barcha kuch kondensatorlarida bajariladigan asosiy funksiya elektrodlar oralig'iga kiritilgan dielektrikda ma'lum bir vaqt

ichida ma'lum miqdordagi energiya jamlashir. Kondensatorda jamlanadigan energiya W quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\epsilon SU^2}{2d} = \frac{\epsilon V_{ad}}{2} E^2, \quad (5.20)$$

bu yerda S - elektrodning yuzasi; $V_{ad} = Sd$ - dielektrik aktiv qismining hajmi; $E = \frac{U}{d}$ - dielektrikning aktiv qismidagi elektr maydon kuchlanganligi.

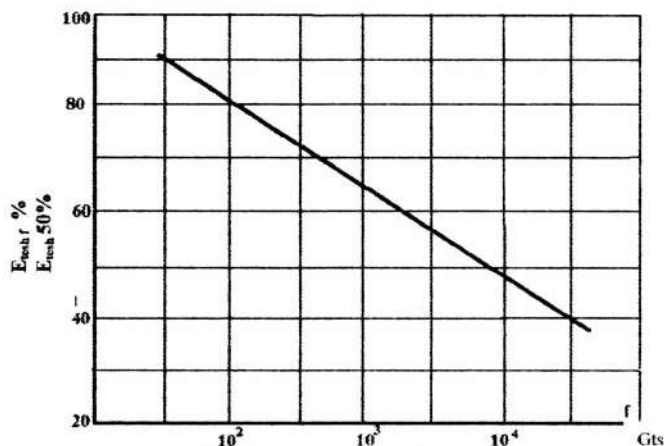
Kondensatorni yasashga sarflanayotgan aktiv materialning hajmi va uning narxi dielektrikning dielektrik singdiruvchanligiga va yanada kuchliroq maydon kuchlanganligiga bog'liq. Ishchi elektr maydon kuchlanganligi o'z navbatida dielektrikning qisqa muddatli, ayniqsa uzoq muddatli elektrik mustahkamligiga hamda dielektrikdagi isrofga bog'liq. Boshqacha qilib aytganda ishchi kuchlanganlik shunday o'rnatiladiki, u dielektrikning elektrik mustahkamligidan yuqori va ruxsat etilgan diapazondan ortiqcha qizdirilmasligi kerak. Kondensatorlarda shunday dielektrik ishlatilishi kerakki, ularning elektr mustahkamligi, $tg\delta$ va qizish temperaturasi ma'lum munosobotda bo'lishi kerak.

Yuqoridagi talabga javob beradigan dielektrik suyuq yoki yarim suyuq izolyatsiyalovchi material singdirilgan kabel yoki kondensator qog'ozi hisoblanadi. Ko'pincha bu qog'ozlarga kondensator yoki kostor moylari singdiriladi. Xorijiy mamalakatlarda esa mineral moylarga nisbatan bir qancha ustunlikka ega bo'lgan sintetik izolyatsiyalovchi suyuqlik - sovol qo'llaniladi.

Chunki, moy singdirilgan qog'ozning elektr mustahkamligi va dielektrik singdiruvchanligi keskin oshadi. Bunga sabab qog'ozdagi o'yiqlarning ko'pchiligi, ya'ni qog'ozning 25 - 35% qismini moy bilan tulishi hisoblanadi.

Kondensatorga qo'yilgan kuchlanishning chastotasi oshishi bilan qog'oz-moyli dielektrikning elektrik mustahkamligi va ionlashtirish kuchlanishi sezilarli darajada pasayadi (5.7- rasm). Bundan tashqari birlik vaqt ichida tebranish davri sonining ko'payishi va $tg\delta$ ning oshishi hisobiga dielektrikda bo'layotgan isrof kupayadi. Shuning uchun qog'oz-moyli izolyatsiyali kondensatorlar 10 kGts dan yuqori chastotaga tayyorlanmaydi. Agar chastota 10 kGtsdan ancha kam bo'lsa ishchi kuchlanganlikni keskin pasaytirish va sovutishning maxsus tadbirlarini qo'llash talab etiladi. Qog'oz-moyli izolyatsiyada ionlanish

jarayoni boshlanadigan kuchlanganlikni bakdagi bosimni oshirish hisobiga sezilarli darajada oshirish mumkin. Misol uchun kabel qog'ozining qalinligi 8 mk bo'lib, uning bosimini 1,5 asmosferaga oshirsak ionlashish kuchlanganigi taxminan 25% ga oshadi.



5.7- rasm. Qog'oz-moyli izolyatsiya elektr mustahkamligining chastotaga bog'liqligi.

1. Elektr maydon kuchlanganligining oshib borishi bilan izolyatsiyaning ishonchliligi qanday o'zgaradi? Sababini tushuntiring.
2. Elektr energetikasida qo'llaniladigan kondensatorlar qanday turlarga bo'linadi? Bu turlarga mansub kondensatorlarning xarakterli jihatlarini tushuntiring.
3. Berilgan kuchlanish chastotasining oshishi bilan qog'oz-moyli dielektrikning elektr mustahkamligi va ionlashtirish kuchlanishi qanday o'zgaradi?

5.5. Kondensatorlarning turlari va ularning sig'implari

Elektrodlargi o'zgarmas tok kuchlanishi qo'yilganda ionlashish jarayonning intensivligi sezilarli darajada kichik, ya'ni razryadlarning paydo bo'lish chastotasi ancha kam bo'ladi.

Ma'lumki, kondensator izolyatsiyasi uchun ishchi kuchlanganlik ta'sir etayotgan kuchlanishning shakli va ta'sir etish vaqti; dielektrikning elektrik mustahkamligi va ionlashish xarakteristikasi; kondensatordagi

isrof va uning sovutish shartlaridan kelib chiqib tanlanadi. Bundan tashqari ishonchlilik darajasi, talab etilayotgan ishlash muddati, dielektrik xarakteristikasining ma'lum darajada yomonlashishi kabi bir qancha faktorlar hisobga olinadi. Hozirgi vaqtda yuqori kuchlanishli kuch kondensatorlarining qog'oz-moyli dielektriklari uchun quyidagi ishchi kuchlanganlik tavsiya etiladi:

1. O'zgaruvchan tok kuchlanishli kondensatorlar uchun:

a) chastotasi 50 Gts uzoq davom etuvchi kuchlanish va o'takuchlanish mavjud bo'lmagan holatda $12 - 14 \text{ kV}_{\text{ta'sir etuvchi}}/\text{mm}$;

b) xuddi shunday va kommutatsiyali o'takuchlanishning paydo bo'lishida $8 - 9 \text{ kV}_{\text{ta'sir etuvchi}}/\text{mm}$;

v) xuddi shunday va kommutatsiyali hamda atmosfera o'takuchlanishning paydo bo'lishida $7 - 8 \text{ kV}_{\text{ta'sir etuvchi}}/\text{mm}$;

g) chastotasi 0,1 – 10 kGts bolgan o'zgaruvchan kuchlanishning o'zoq davom etishida va tabiiy sovutishda $3 - 6 \text{ kV}/\text{mm}$;

d) xuddi shunday suv bilan sovutishda $8 - 10 \text{ kV}/\text{mm}$;

2. O'zgarmas tok kuchlanishli kondensatorlar uchun:

a) o'zoq muddatga xizmat qilishda $25 - 40 \text{ kV}/\text{mm}$;

b) chegaralangan muddatga xizmat qilishda $100 \text{ kV}/\text{mm}$ gacha.

3. Impulsi kondensatorlar uchun:

a) o'zoq muddatga xizmat qilishda $30 - 40 \text{ kV}/\text{mm}$;

b) chegaralangan muddatga xizmat qilishda $100 \text{ kV}/\text{mm}$ gacha.

Bu raqamlar dielektrikning ishchi kuchlanishida ishlash rejimini xarakterlaydi. Uzun liniyalarda uning induktiv qarshiligini buylama kompensatsiyalashga, taqsimlovchi tarmoqlarda kuci o'zlashni rostlash shartlaridan va kosinusli kondensatorlarda ishchi kuchlanishini qisqa va uzoq muddatga oshirilgan qiymatidan kelib chiqib tanlanadi.

Sanoatda kondensatorlar uchun ikki turdagi – qalinligi $5 \div 30 \text{ mk}$ va zichligi bilan bir-biridan farqlanuvchi KON I va KON II kondensator qog'ozi ishlab chiqariladi. Bu qog'ozlar yuqori mexanik va elektrik mustahkamlikka hamda kichik noorganik ulanishlarga ega. Bu qog'ozlarning elektrik mustahkamligi $30 \div 50 \text{ kV}/\text{mm}$ ga teng.

KON I qog'ozi asosan o'zgaruvchan, KON II esa o'zgarmas tok kuchlanishlarida qo'llaniladi. Qalinligi $50 \div 120 \text{ mk}$ bo'lgan kabel qog'ozlari yuqori kuchlanish kondensatorlarida ishlatiladi.

Ma'lumki yuqori kuchlanishga mo'ljallangan kondensatorlar uchun qog'oz mineral kondensator moyi bilan to'yintiriladi. Konden-

sator moyi transformator moyini qayta tozalash yordamida olinadi. Bu moyning elektr mustahkamligi 200 kV/mm gacha bo'lishi mumkin.

O'zgaruvchan kuchlanishda ishlashga mo'ljallangan kondensatorlarda mineral moydan tashqari sovola (pentaxlordifenil) sintetik moy ham qo'llaniladi. Bu sintetik moyning dielektrik singdiruvchanligi mineral moynikiga qaraganda 2 marta katta va $\text{tg}\delta=0,003\div0,006$ gacha bo'lganida kondensatorning massasi $35\div40\%$ ga kamayadi.

Kondensator dielektriklari uchun asosiy xarakteristikalaridan biri $\text{tg}\delta$. Chunki, ishchi kuchlanganlik ko'p tomondan ushbu parametrga ham bog'liq. Kuchlanishi 525 kV bo'lgan kondensatorlarda atrofidagi temperatura 20°C da qog'oz- moyli dielektriklar uchun norma bo'yicha $\text{tg}\delta=0,004$, o'ta yuqori kuchlanishlarda esa $\text{tg}\delta=0,003$ qabul qilinadi.

Kondensatorlardagi dielektrik isroflar quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$P_a = kU^2 C \text{tg}\delta \quad (5.21)$$

Kondensatordagi isrof uning sig'imiga proporsionaldir.

Elektr maydon kuchlanganligining ionlanish jarayoni boshlanadigan boshlang'ich qiymati quyidagi ifoda bo'yicha topiladi:

$$E_{l.b} = (1,85 - 1,6) d^{0,58}, \text{ kV/mm.}$$

Bu yerda d - kondensator qoplamalari orasidagi izolyatsiya qalinligi. 1,85 - KON I uchun; 1,6 - KON II uchun.

Xususi razryadlanishda paydo bo'ladigan mayda gaz po'fakchalari moyda erib, asta-sekin izolyatsiyaning elektr mustahkamligini pasayishiga olib keladi.

Izolyatsiyaning yashash (xizmat qilish) davri maydon kuchlanganliklarining nisbati bilan baholanadi:

$$\tau = \frac{T_0}{I \left(\frac{E_{ishchi}}{E_{l.b}} \right)^6 - \left(\frac{E_{ishchi}}{E_{l.b}} \right)^2 \int \arccos \frac{E_{l.b}}{E_{ishchi}}}. \quad (5.22)$$

Normal ishlash sharoitiga mo'ljallangan kondensatorlar uchun $T_0=150-200$ qabul qilinadi.

Kondensator tuzilishi bo'yicha elektrodlarining o'zaro joylashishiga qarab quyidagi uchta ko'rinishda bo'lishi mumkin:

- yassi kondensatorlar;
- silindrik kondensatorlar;
- sferik ko'rinishdagi kondensatorlar.

Yassi kondensator

Kondensatorning sig'imi quyidagi bog'lanishdan aniqlanadi:

$$C = \frac{\epsilon' \epsilon_0 S_a}{a}, \quad (5.23)$$

Agar kondensatorga quyilgan kuchlanishning qiymati berilgan bo'lsa, kondensator izalyatsiyasidagi elektr maydon kuchlanganligini hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$E = \frac{Q}{\epsilon S_a} = \frac{UC}{\epsilon S_a} \frac{U \epsilon S_1}{\epsilon S_a} = \frac{U}{a}, \quad (5.24)$$

bu yerda a – elektrodlar orasidagi masofa; S_a – elektrodlar sirtining yuzasi.

Ko'p qatlamli kondensatorning sig'imi va elektr maydon kuchlanganligini hisoblash ikkita ko'rinishda bajariladi:

a) kondensatorning tashqi qoplamalariga quyilgan kuchlanish har bir qatlamiga to'g'ri keladigan kuchlanishlarning yig'indisiga teng:

$$U_0 = U_1 + U_2 + U_3 \dots \dots \dots + U_n;$$

b) elektrik siljish va har qanday qatlamning tekisligidagi zaryadi o'zgarmas:

$$D = E_1 \epsilon_1 + E_2 \epsilon_2 + E_3 \epsilon_3 + E_n \epsilon_n,$$

$$Q = CU = C_1 U_1 + C_2 U_2 = C_3 U_3 = C_n U_n.$$

Ikki va uch qatlamli kondensatorning sig'imini hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \quad C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3}.$$

Zaryadlar tengligidan

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}.$$

Yonma-yon joylashgan qatlamlar orasidagi kuchlanish taqsimlanishi kondensatorning turidan qat'iy nazar shu kondensator qatlamlarining sig'imlariga teskari proporsionaldir.

Ikki qatlamli kondensator uchun kuchlanishni aniqlash formulasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$U = E_1 a_1 + E_2 a_2 = E_1 a_1 + E_1 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} a_2 = E_1 \left(\frac{a_1 \epsilon_2 + a_2 \epsilon_1}{\epsilon_2} \right),$$

$$E_1 = \frac{U \epsilon_2}{a_1 \epsilon_2 + a_2 \epsilon_1}.$$

Bu ifodani shaklini biroz o'zgartirishimiz mumkin:

$$E_1 = \frac{U}{a_1} \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_2 + \frac{a_2 \varepsilon_1}{a_1}} = \frac{U}{a_1 \left(1 + \frac{\varepsilon_1 S a_2}{a_1 S \varepsilon_2} \right)} = \frac{U}{a_1 \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right)} \right).$$

Uch qatlamli yassi kondensator uchun

$$E_n = \frac{U}{a_n \left(\frac{C_n}{C_1} + \frac{C_n}{C_2} + \frac{C_n}{C_3} \right)}.$$

Kondensatorning har bir qatlamidagi kuchlanishni rostdlashni materialning nisbiy dielektrik singdiruvchanligi va materialning qalinligini o'zgartirish yordamida amalga oshiriladi.

Tajriba shuni ko'rsatadiki kondensatorning elektrodleri orasidagi havo oralig'ining o'rtacha teshilish kuchlanganligi elektrodler oralig'iga bog'liq.

Silindrik kondensator

Silindrik kondensatorning elektr maydoni yassi parallel va o'qlari buyicha simmetriyaligi bilan xarakterlanadi. Shu bilan birga ekvipotensial sirt koaksial silindr ko'rinishida bo'ladi.

U holda potentsiallar ayirmasi va Gauss teoremasidan foydalanib, kuchlanishni aniqlash ifodasini keltiramiz:

$$U = \frac{Q}{2\pi\varepsilon'_0 l} \ln \frac{R}{r}.$$

Sig'imni aniqlash uchun zaryadning kuchlanishga bo'lgan nisbatidan foydalanib, qo'yidagi ifodani hosil qilamiz:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon'_0 l}{\ln \frac{R}{r}}.$$

Zaryadni kuchlanish va sig'imning ko'paytmasi ko'rinishida olib, amaliy hisoblar uchun yaroqli bo'lgan elektr maydon kuchlanganligini aniqlash ifodasini hosil qilamiz:

$$E_x = \frac{U}{2.3 \lg \frac{R}{r}}.$$

Ko'pchilik hollarda bizni elektr maydon kuchlanganligining maksimal va minimal qiymatlari qiziqtiradi. Unda

$$E_{maks} = \frac{U}{2.3 r \lg \frac{R}{r}}, \quad E_{min} = \frac{U}{2.3 R \lg \frac{R}{r}}.$$

Agar elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishini qaraydigan bo'lsak, uning qiymati kichik radiusli sirtida maksimal bo'ladi. Shunday qilib, agar ichki elektrod yaqinida kuchlanganlik bo'yicha yuklangan bo'lsa, tashqi elektrod sirti esa elektr maydon kuchlanganligi bo'yicha yuksizlangan bo'ladi. Shuning uchun elektr maydon kuchlanganligi

$$E_{maks} = \frac{U}{2,3r \lg \frac{R}{r}}$$

ni minimal bo'yicha tekshirish izolyatsiyaning barcha nuqtalari bo'yicha bir xil yuklanishini ta'minlaydigan radiusning ratsional qiymati topiladi.

Ichki silindr yaqinida maksimal elektr maydon kuchlanganligining qiymati minimal bo'ladi, agar tashqi va ichki radiuslarning nisbati natural logarifm asosiga teng bo'lsa

$$E_{maks} = \frac{U}{2,3r \lg \frac{R}{r}} = \frac{U}{r \ln e} = \frac{U_0}{r}.$$

Agar silindrik kondensator bir nechta qatlamdan, masalan, to'rtta bir-biridan farq qiladigan qatlamdan iborat bo'lsa (r_1, r_2, r_3, r_4), uni uchta ketma-ket ulangan C_1, C_2 va C_3 kondensator ko'rinishida ifodalash mumkish. U holda har bir kondensatorning sig'imi qo'yidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon'\epsilon_0 l}{\ln \frac{r_{n+1}}{r_n}}.$$

Qatlamli izolyatsiyali silindrik kondensatorning izolyatsiyalovchi muhitlar chegarasida elektr maydon kuchlanganligi sakrab o'zgaradi.

Ko'p qatlamli kondensatorning qatlamlaridagi elektr maydon kuchlanganligi qo'yidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$C_x = \frac{U}{x \ln \frac{r_{x+1}}{r_x} \left(\frac{C_x}{C_1} + \frac{C_x}{C_2} + \frac{C_x}{C_3} + \dots + \frac{C_x}{C_n} \right)},$$

bu yerda C_x – maydon kuchlanganligi aniqlanayotgan qatlamning sig'imi; r_x – ko'rilyotgan qatlamning ichki radiusi; r_{x+1} – ko'rilyotgan qatlamning tashqi radiusi.

Misol uchun uch qatlamli silindrik kondensatorning birinchi qatlamidagi x radiusli nuqtaning elektr maydon kuchlanganligi:

$$E_I = \frac{U}{x \ln \frac{r_2}{r_1} \left(\frac{C_1}{C_1} + \frac{C_1}{C_2} + \frac{C_1}{C_3} \right)}$$

Sfera ko'rinishidagi kondensator

Sfera ko'rinishidagi kondensatorlar yuqori kuchlanish elektr qurilmalarida juda kam uchraydi. Ko'pchilik hollarda uning shakli osuluvchan izolyatorlar qalpog'i bilan pestik orasidagi qismiga o'xshaydi. Ayrim hollarda YUKT bittalik sfera qo'llaniladi, chunki bu holda ikkinchi cheksiz o'lchamli sfera rolini bino yoki yer bajaradi.

Amaliy hisoblashlarda elektr maydon kuchlanganligining maksimal va minimal qiymati qo'yidagi ifodalar yordamida topiladi:

$$E_{maks} = U \frac{R}{r_1(R-r_1)}, \quad E_{min} = U \frac{r_1}{R(R-r_1)}.$$

Agar $r_1 = \frac{R}{2}$ deb qabul qilsak, u holda $E_{maks} = \frac{4U}{R}$,

$$C = 4\pi\epsilon'\epsilon_0 r_1, \quad E_{maks} = \frac{U}{r_1}.$$

Nazorat savollari

1. Kondensatorlar qanday turlarga bo'linadi?
2. Kondensatorlarda qanday tipdagi izolyatsion qog'ozlardan foydalaniladi?
3. Kondensatordagi dielektrik isroflar qanday aniqlanadi? U nimalarga bog'liq?
4. Elektrodlarining joylashuviga bog'liq holda kondensatorlar qanday turlarga bo'linadi? Ular qanday xarakterli jihatlariga ega?

6. ELEKTR SISTEMASI ELEMENTLARINING IZOLYATSIYASINI PROFILAKTIK SINASH

6.1. Elektr uskunalari va jihozlarining izolyatsiyasini profilaktik sinash masalasi va usullari

Izolyatsiyaning profilaktikasi deb elektr qurilmalari va jihozlarini ekspluatatsiya qilish jarayonida izolyatsiyaning ishonchli ishlashini ta'minlashga qaratilgan tadbirlar sistemasiga aytiladi. Bu tadbirlar avvalo izolyatsiyaning normal ishlashini ta'minlashga qaratilgan o'ta qizishga yo'l qo'ymaslik, ho'llanishdan himoya qilish, changdan muhofazalash, mexanik shikastlanishning oldini olish kabi ishlarning bajarilishini o'z ichiga oladi. Ammo, normal sharoitda ekspluatatsiya qilinganida ham izolyatsiya umumiy eskirish hisobiga har xil mahalliy defektlarning paydo bo'lishi tufayli asta-sekin o'zining dastlabki dielektriklik xususiyatini yo'qota boshlaydi. Bu defektlarning rivojlanishi natijasida izolyatsiyaning dielektriklik xossasini shunchalik pasaytirib yuborishi mumkinki, ayrim hollarda sistemada kuzatiladigan o'takuchlanishga emas hatto ishchi kuchlanishga ham chidash bera olmay qoladi. Shuning uchun izolyatsiyaning dielektriklik xususiyati davriy ravishda ta'mirlash ishlarini bajarishda tiklanib turiladi. Bu ta'mirlashning davriyligi izolyatsiyada paydo bo'lgan defektlarning xususiyatiga bog'liq bo'ladi. Ko'pchilik holatlarda bu defektlarni oddiy kuzatish yo'li bilan ilg'ab bo'lmaydi, ular profilaktika deb yuritiluvchi maxsus dastur asosida aniqlanadi. Izolyatsiyani normal sharoitda to'g'ri ekspluatatsiya qilinganda uni profilaktik sinash ishlari davriy ravishda olib boriladi. Bu uzliksiz nazoratni talab etadi.

Har bir izolyatsiya uchun uning o'ziga xos bo'lgan defektlari mavjud. Ularning paydo bo'lish sabablarini va fizik xususiyatlarini o'rganish ham profilaktika qilish masalalari tarkibiga kiradi. Izolyatsiyada kechadigan jarayonlarni o'rganish bir tomondan elektr qurilmalarni to'g'ri ekspluatatsiya qilishni tashkillashtirishga imko bersa, ikkinchi tomondan aynan shu defektni ilg'ashga yo'naltirilgan profilaktik sinash usullarni ishlab chiqishga imkon yaratadi.

Defektlarni har xilligiga qaramay ularni ikkita asosiy guruhga bo'lish mumkin: a) yig'ilgan (mahaliy) defektlar va b) tarqalgan defektlar. Yig'ilgan defektlar dielektrik hajmining nisbatan uncha katta

bo'lmagan qismida rivojlanadi. Ammo u izolyatsiya uchun tarqalgan deffektga nisbatan ko'proq xavf to'g'iradi. Yig'ilgan deffektga tipik misol tariqasida osma chinni izolyator qolpog'ining tagida mexanik yuk ta'sirida yoriqning paydo bo'lishini olish mumkin. Odatda bunday defekt mexanik mustahkamlikning pasayishiga olib keladi.

Tarqalgan deffekt ko'pincha dielektirikning kattaroq hajmini egallaydi. Bunga misol sifatida qog'oz tolalarining (masalan, aylanuvchi elektr mashinalarining izolyatsiyasida) atrof muhitdan namlikni yutishi hisobiga ko'p qatlamli izolyatsiya tashqi qatlaminin xo'llanishini olish mumkin.

Dielektrik holatining yomonlashishini aniqlaydigan usullardan keng tarqalgani – dielektrik isrofni o'lchash hisoblanadi. Ma'lumki, dielektrik isrof dielektrik materialning sifatini belgilaydi. Toza dielektriklarda isrof juda kam bo'lib, begona aralashmalarning mavjudligi dielektrik isrofni sezilarli darajada ko'payishiga olib keladi. Dielektrikning eskirishi uning asta-sekin ximik chirishi natijasida dielektrik isrof ($\epsilon\delta$)ning o'sishiga olib keladi. Ushbu usul izolyatsiyani dielektrik sinashning yagona usuli emas. Bu usulda ayrim hollarda dielektrikning ancha kichik qismini egallaydigan mahaliy deffektlarni topishga imkon bo'lmaydi. Masalan, dielektrik hajmining taxminan 2% ni egalagan qismida $\epsilon\delta$ ning o'sishi taxminan 5% kuzatiladigan bo'lsa, u vaqtda dielektrikdagi umumiy isrof $2 \cdot 5 = 10\%$ bo'lib, bu o'lganayotgan $\epsilon\delta$ ni ham ko'payishini bildiradi. Bunday hollarda $\epsilon\delta$ ning o'lgangan qiymati izolyatsiyaning yomonlashgani to'g'risida to'liq ma'lumot bera olmasligini kuzatamiz. Shuning uchun to'plangan deffektlarni topish uchun maxsus usullarni qo'llash kerak bo'ladi. Ayrim hollarda bunday usullar izolyatsiyada bo'ladigan shikastlanishlarni topishga imkon bermaydi. Bunday defekt izolyatsiyaning teshilish mustahkamligining keskin pasayib ketishiga olib keladi, uni topish uchun esa izolyatsiyaga oshirilgan kuchlanish berib, sinalishi zarur. Bunday sinash elektr qo'rilma izolyatsiyasini nafaqat zavodda, balki ta'mirlashdan keyin ham amalga oshiriladi.

Izolyatsiyada deffektning rivojlanishi ko'p jihatdan izolyatsiyaga namlikning singishiga bog'liq. Namlikning singishi, ayrim holatlarda izolyatsiya konstruksiyalarining mexanik shikastlanishi natijasida yuz berishi mumkin. Izolyatsiyada deffektning paydo bo'lish jarayoni va dielektrikning izolyatsiyalovchi xususiyatini buzilishi boshlanishida

juda sekin kechadi va faqat oxirgi bosqichlarda keskin o'shib ketishi kuzatiladi.

Elektr qurilmalarni texnik to'g'ri ekspluatatsiya qilish izolyatsiyaga ta'sir etadigan buzuvchi ta'sirlarni bartaraf etish, izolyatsiyaning elektr qurilmalarning ishonchli ishlashini ta'minlash zamini hisoblanadi. Izolyatsiyaning xizmat qilish vaqti ko'pincha izolyatsiyaga qaratilgan texnik nazoratga bog'liq bo'ladi. Izolyatsiyaning profilaktikasi faqat izolyatsiyani tekshirishning bitta elementi hisoblanadi.

Har xil izolyatsiyaning turiga bog'liq holda paydo bo'luvchi deffektlar ham har xil bo'ladi. Bu deffektlarning fizik xususiyatini va paydo bo'lish sabablarini o'rganish ham izolyatsiyani profilaktik tekshirish va sinash tadbirlari tarkibiga kiradi. Bu jarayonni o'rganish bir tomondan elektr qurilmalarining ekspluatatsiyasini to'g'ri tashkil etishga imkon bersa, ikkinchi tomondan, xuddi shunday deffektni aniqlash uchun profilaktik sinash usullarini ishlab chiqish imkonini yaratadi.

Elektr qurilmalar izolyatsiya konstruksiyasida bir-birini to'ldiruvchi dielektriklar kombinatsiyasining qo'llanilishi natijasida izolyatsiyaning xususiyati ancha yaxshilanadi. Hozirgi vaqtda ko'p qatlamli izolyatsiya keng tarqalgan. Ko'p qatlamli izolyatsiya tarkibida tolali materiallar bo'lib, ular kabellar, kondensatorlar, aylanuvchi elektr mashinalari va boshqa elementlarda keng qo'llaniladi. Ko'p qatlamli izolyatsiya sifatining yomonlashuvi ko'p holatlarda bir yoki bir nechta qatlamning izolyatsion xususiyati bir tekis o'zgargani holda qolgan izolyatsiya qatlamlarining izolyatsion xususiyatlarini o'zgarmasligi bilan bog'liq.

Nazorat savollari

1. Izolyatsiyani profilaktik sinash deganda nimani tushunasiz?
2. Izolyatsiyani profilaktik sinash qanday maqsadlarda amalga oshiriladi?
3. Dielektrikning sifatini yomonlashishini belgilovchi asosiy ko'rsatkich nima?
4. Dielektrik isrofni ko'rsatuvchi asosiy parametr nimadan iborat?
5. Ko'p qatlamli izolyatsiya qanday qurilmalarda qo'llaniladi?

6.2. Izolyatsiyalarning deffektlarini aniqlash usullari

Izolyatsiyani tekshirishning barcha usullarini buzuvchi va buzmaydigan usullarga bo'lamiz. Birinchisiga izolyatsiyani oshirilgan kuchlanish bilan sinash kirs, ikkinchisiga izolyatsiyani teshilishiga olib keladigan kuchlanish qo'ymasdan bajariladigan usullar kiradi.

Izolyatsiyada paydo bo'ladigan deffektlarni aniqlash uchun quyidagi buzmaydigan usullar ishlab chiqilgan va ular amalda qo'llanib kelinmoqda:

a) izolyatsiyaning qarshiligini o'lchash yoki sirg'ish tokiga bo'lgan o'tkazuvchanlikni o'lchash;

b) dielektrik yo'qotish burchagini o'lchash;

v) dielektrikning sig'imini o'lchash;

g) kuchlanishning taqsimlanishini o'lchash;

d) izolyatsiyadagi qisman (xususiy) razryadlanishni o'lchash;

e) dielektrikni rentgen nurlari va ultra tovush bilan tekshirish.

1. Izolyatsiyani uning qarshiligi yoki o'tkazuvchanligi bo'yicha tekshirish.

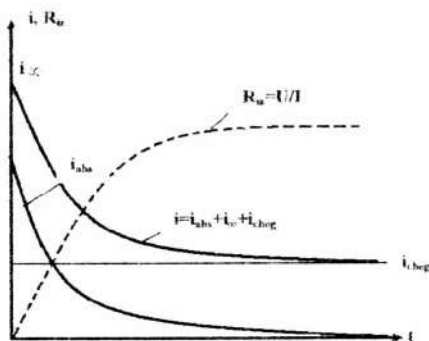
Bu profilaktik sinash usuli eng oddiy, shuning uchun u juda keng qo'llaniladi. Bu usul bo'yicha izolyatsiyaning qarshiligini o'lchash asboblari yordamida amalga oshiriladi. Asboblarning ko'rsatkichi faqat sekin polyarlanish jarayonini qayd etadi (6.1- rasm). Qarshilik quyidagicha aniqlaniladi: $R_x = \frac{U}{i}$. Tabiiyki, tokning pasayishi bilan

izolyatsiyaning qarshiligi o'shadi. Tajriba yo'li bilan o'rnatilganki, ko'pchilik izolyatsiyalovchi konstruksiyalarda polyarlanishning vaqt doimiysi T bir minutdan kam. Kuchlanish qo'yilgandan $T=1$ min vaqtdan keyin R_x turg'unlashgan qiymatiga erishadi. Bu qarshilik izolyatsiyani kesib o'tadigan o'tkazuvchan yo'lning mavjudligini bildiradi. Bu qarshilikning keskin tushib ketishi dielektrikda deffektning rivojlanayotganini bildiradi.

Izolyatsiya polyarlanish (qutblanish) tokining pasayishi uning qarshiligini vaqt bo'yicha o'sishini xarakterlaydi. Qarshilikning o'sishi $\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}}$ nisbat bilan ifoda etiladi. Bu yerda R_{t_1} va R_{t_2} izolyatsiyaning t_1 va t_2 lahzalarda o'lchangan aktiv qarshiliklari.

Izolyatsiyaning qarshiligini o'lash megommetr yordamida amalga oshiriladi.

Izolyatsiyadagi sirg'ish tok dielektrikning o'tkazuvchanligi yoki uning sirtini ko'payishi bilan oshib boradi.



6.1- rasim. O'zgarmas kuchlanishda izolyatsiya orqali oqayotgan tok va izolyatsiya qarshiligining o'zgarishi.

2. Izolyatsiyaning dielektrik isroflar burchagi bo'yicha tekshirish.

Dielektrik orqali qutblanish tokining oqishi izolyatsiyaning qizishiga olib keladi. U bilan bog'liq energiya isrofiga dielektrik isrof deyiladi. Sanoat chastotasida dielektrik isrof asosan tezkor qutblanish hisobiga paydo bo'ladi. 6.2-rasmda keltirilgan almashtirish sxemasiga o'zgaruvchan kuchlanish qo'yilganda o'rnatilgan qutblanish toki rC va R shaxobchalari orqali oqadi.

Sxemada oqayotgan aktiv tok yig'indisi quyidagicha aniqlanadi:

$$I_w = U \left[\frac{1}{R} + \omega C \frac{\omega T}{1 + (\omega T)^2} \right], \quad (6.1)$$

bu yerda $T = rC$ ($f = 50$ Gts).

Sxemada oqayotgan umumiy sig'imi tok quyidagicha aniqlanadi:

$$I_c = U \left[\omega C_w + \omega C \frac{\omega T}{1 + (\omega T)^2} \right]. \quad (6.2)$$

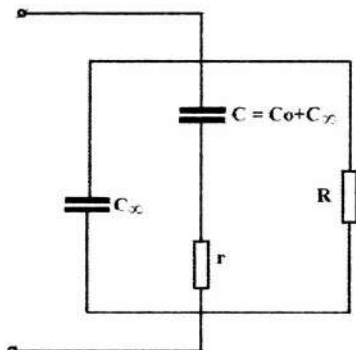
Sxemadagi toklarning vektor diagrammasi 6.3- rasmda keltirilgan.

Aktiv va sig'imi toklarning nisbati $\frac{I_w}{I_c} = \tan \delta$ izolyatsiyadagi quyidagi

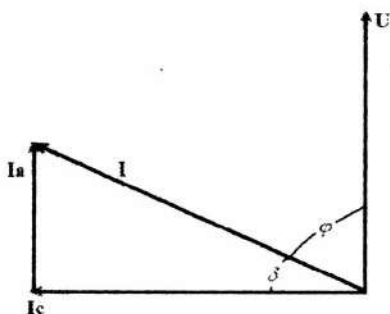
formula bo'yicha aniqlanuvchi dielektrik isrofnı karakterlaydi:

$$W = UI \cos \varphi \approx UI \tan \delta. \quad (6.3)$$

Burchak δ odatda juda kichik qiymatga ega bo'lganligi sababli $tg\delta \approx \delta$ deb qabul qilinadi va bu burchak dielektrik yo'qotish burchagi deyiladi



6.2- rasm. Izolyatsiyaning almashtirish sxemasi.



6.3- rasm. Sanoat chastotasidagi kuchlanish ostidagi izolyatsiyada tok va kuchlanishning vektor diagrammasi.

Shunga ko'ra dielektrik isrofni o'lchashda almashtirish sxemasidagi (6.2- rasm) rC shaxobcha nazorat qilinadi. Dielektrik yo'qotish burchagi birinchi navbatda izolyatsiyada tashqi qo'shimchalarning, xususan, namlanishning mavjudligini bildiradi.

Agar $R = \infty$ qabul qilsak (6.1) va (6.2) ifodalardan quyidagini hosil qilamiz:

$$tg\delta = \frac{\left(\frac{C_0}{C_\infty} - 1\right)\omega T}{\frac{C_0}{C_\infty} + (\omega T)^2}. \quad (6.4)$$

Bu ifodadan ko'rinadiki, dielektrik isrof $tg\delta$ obyektning absolyut sig'imiga bog'liq bo'lmasdan, faqat sig'imlarning nisbati $\frac{C_0}{C_\infty}$ ga bog'liq.

Shuning uchun, $tg\delta$ izolyatsiya sifatining universal ko'rsatkichi hisoblanadi. Agar dielektrikda gazli ulanishlar soni ko'p bo'lsa, ular o'zi- o'zidan $tg\delta$ ni o'sib ketishiga olib kelmaydi, chunki neytral gazlar juda past dielektrik isrofga ega. Biroq, gazli ulanishdagi elektr maydon kuchlanganligi o'lchash paytida kritik kuchlanganlikdan katta bo'lsa gazli ulanishda ionlanish jarayoni boshlanib $tg\delta$ keskin o'sib ketadi.

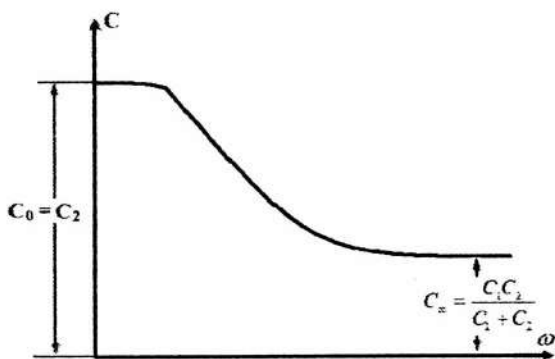
Katta sig'imli jihozlar (masalan, katta quvvatli generatorlar, elektr matorlari, transformatorlar, kabellar va kondensatorlar) uchun dielektrik isrofning qiymati izolyatsiyadagi shunday deffektlarni masalan, ho'llanish, umumiy eskirish va buzilishni ko'rsatsada, mahalliy deffektlar o'ta rivojlanmagan bo'lsa uni ilg'ay olmaydi.

Ko'p qatlamli dielektriklarning sig'imini chastota o'sishi bilan kamayib borishini ushbu formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$C_E = C_2 \frac{g_1^2 + \omega^2 C_1 (C_1 + C_2)}{g_1^2 + \omega^2 (C_1 + C_2)^2} = C_2 \frac{1 + \omega^2 \tau^2 \frac{C_1}{C_1 + C_2}}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (6.5)$$

O'zgaras kuchlanishda $\omega = 0$ bo'lib, yuqoridagi formuladan $C_E = C_0 = C_2$ kelib chiqadi. Boshqa chegaraviy holatda, ya'ni $\omega \rightarrow \infty$ bo'lganda, sig'im quyidagicha aniqlanadi: $C_E \rightarrow C_\infty = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$.

Sig'imlar farqi namlikning yig'ilishi hisobiga sig'imning o'zgarishini ifodalaydi: $C_E - C_\infty = C_{obs}$. Chastotaning yetarlicha keng diapazonda o'zgarishida bir jinsli dielektrikning va gazli ulanish tekis taqsimlangan dielektrik uchun $\tau g \delta$ ni aniqlash jarayonida na'munaviy sig'im C_∞ ni ham o'lchash mumkin. Bu ko'p qatlamli izolyatsiya uchun alohida ahamiyat kasb etadi. Buni ko'rsatish uchun 6.4- rasmda ikki qatlamli dielektrikka o'zgaruvchan tok kuchlanishi qo'yilgan holatda sig'imning o'zgarishi keltirilgan.



6.4- rasm. Ikki qatlamli bir jinsli bo'lmagan dielektrik sig'imning chastotaga bog'liqligi.

Ikki qatlamli dielektrikning almashtirish sxemasidan o'zgaruvchan tok kuchlanishida o'tkazuvchanlik quyidagicha aniqlanadi:

$$B = \frac{(j\omega C + g_1)j\omega C_2}{j\omega(C_1 + C_2) + g_1} = \frac{g_1\omega^2 C_2^2 + j\omega C_2[g_1^2 + \omega^2 C_1(C_1 + C_2)]}{g_1^2 + \omega^2(C_1 + C_2)^2}. \quad (6.6)$$

Shunday qilib, sxemani parallel ulangan o'tkazuvchanlik ko'rinishida tasvirlash mumkin:

$$g_2 = g_1 \frac{\omega^2 C_2^2}{g_1^2 + \omega^2(C_1 + C_2)^2} = g_1 \frac{\frac{\omega^2 C_2^2}{g_1^2}}{1 + \omega^2 \tau^2}. \quad (6.7)$$

Bunda ekvivalent sig'im quyidagicha aniqlanadi:

$$C_E = \frac{g_1^2 + \omega^2 C_1(C_1 + C_2)}{g_1^2 + \omega^2(C_1 + C_2)^2} = C_2 \frac{1 + \omega^2 \tau^2 \frac{C_1}{C_1 + C_2}}{1 + \omega^2 \tau^2}.$$

Ikki qatlamli dielektrik uchun $tg\delta$ qiymatini quyidagi ifodadan aniqlaymiz:

$$tg\delta = \frac{g_0}{\omega C_0} = \frac{C_2}{C_1} \frac{\omega \tau}{\frac{C_0}{C_\infty} + \omega^2 \tau^2}, \quad (6.8)$$

bu yerda $C_0 = C_2$ va $C_\infty = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

Keltirilgan formulalardan ko'rinadiki $tg\delta$ va ekvivalent sig'im chastotaga (ω) va vaqt doimiysiga (τ) bog'liq. Bu bog'lanishlar izolyatsiyani profilaktik sinashda qo'llanilishi mumkin.

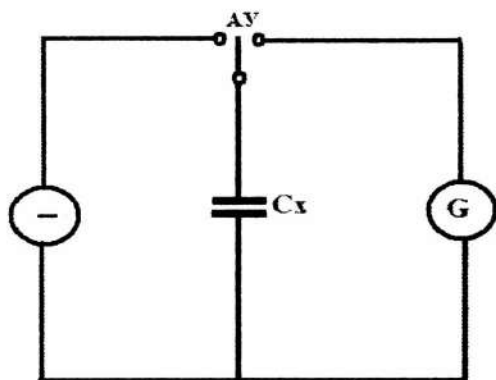
Ushbu yuqorida qayd etilgan sig'im-chastota usulining ma'nosi ikkita biri-biridan farq qiluvchi chastotada o'lgan sig'imning qiymatlarini solishtirishga asoslangan bo'lib, u, masalan, transformator izolyatsiyasini sinashda va asosan izolyatsiyaning ustki qatlamida ho'llanishni topishga imkoniyat beradi. Bunda dielektrikning sig'imi chastotaning ikki xil, masalan 50 Gts (C_{50}) va 2 Gts (C_2) qiymatlarida o'lganadi. Sig'imlar nisbatining $\frac{C_{50}}{C_2} > 1.3$ qiymatlarida ho'llanish ruxsat yetib bo'lmaydigan darajada deb baholanadi.

Har xil chastota uchun sig'imlar nisbatini aniqlash uchun 6.5-rasmda keltirilgan asbob qo'llanilishi mumkin. Almashlab ulagichning chap tomondagi holatida sinalayotgan sig'im C_x o'zgarmas tok kuchlanishli (bir necha yuz volt) manbadan zaryadlansa; o'ng tomondagi holatida esa sig'im C_x galvanometr G orqali razryadlanadi. Almashlab

ulash davriy ravishda $f_1 = 2$ Gts va $f_2 = 50$ Gts bilan amalga oshiriladi. Izolyatsiya sig'iminining o'rtacha razryadlanish toki $i = qf = C_{\infty} U f$ ga teng. Yuqorida keltirilgan chastotaning ikkita qiymati uchun

$$\frac{i_2}{i_{50}} = \frac{C_2 \cdot 2}{C_{50} \cdot 50}.$$

Galvanometr yordamida toklar nisbatini o'lchash orqali sig'implar nisbati $\frac{C_2}{C_{50}}$ ni aniqlaymiz.



6.5- rasm. Ikkita chastotada izolyatsiyaning sig'imini o'lchashning prinsipial sxemasi.

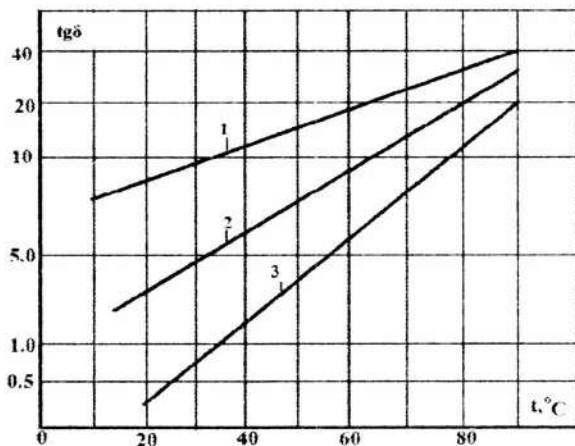
tomondan vaqt doimiysi τ kamayadi. Shunday qilib, temperaturaning oshishi xuddi chastota kamayishi kabi ta'sir ko'rsatadi. Bu usulni qo'llagan holatda dielektrikning sig'imi temperaturaning 70^0 va 20^0 C qiymatlarida o'lchanadi. Sig'implar nisbatining $\frac{C_{70^0}}{C_{20^0}} > 1.3$ qiymatlarida

ho'llanish ruxsat yetib bo'lmaydigan darajada deb baholanadi.

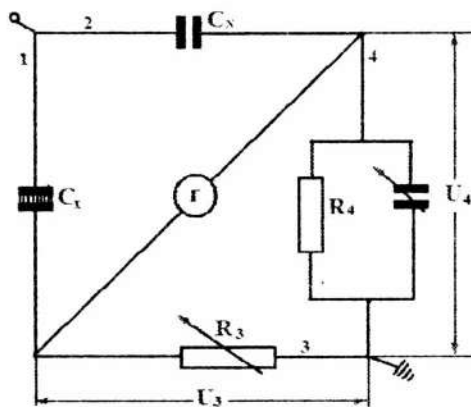
Elektr mustahkamlikni aniqlashning yana bir usuli $tg\delta$ ning chastota va temperaturaga bog'liq holda o'zgarishini aniqlashga asoslangan. Bunda $tg\delta = f(f)$ va $tg\delta = f(t^0)$ bog'lanishlardan foydalanish mumkin. Biroq $tg\delta$ ni har xil chastota uchun o'lchash o'ta murakkab tadbir hisoblanadi. Shu sababli $tg\delta = f(t^0)$ bog'lanishdan foydalanish keng qo'llaniladi. Transformatorlarning qog'ozli-moyli izolyatsiyasi uchun $tg\delta$ ning temperaturaga bog'liqligini xarakterlaydigan grafik 6.6- rasmda keltirilgan.

Dielektrikning elektr mustahkamligini har xil temperaturadagi sig'implar nisbati bo'yicha ham baholash mumkin. Chunki, dielektrikning temperaturasi oshishi bilan uning o'tkazuvchanligi asta-sekin oshib boradi, eng katta o'tkazuvchanlik ho'llangan qatlamlarda kuzatiladi. Temperatura oshganda bir tomondan bir jinsli bo'lmaganlik darajasi kuchaysa, ikkinchi to-

Yuqorida keltirilgan usullar bo'yicha izolyatsiyaning sig'imini o'lchash Shering ko'prigi yordamida amalga oshiriladi. Bu usulga ko'ra ko'priknig bir yelkasiga o'lchanayotgan sig'im ulanadi (6.7- rasm).



6.6- rasm. Transformatorlar izolyatsiyasi uchun $tg\delta = f(t^0)$ funksional bog'lanishlarning grafigi: 1 va 2 – ho'llangan holatlar; 3 – quruq holat.



6.7- rasm. Shering ko'prigining prinsipial sxemasi.

Bu sxemada C_x – o'lchanayotgan sig'im (shaxobcha 1); R_3 – rostlanuvchan aktiv qarshilik (shoxobcha 3); C_N – etalon sig'im (shoxobcha 2); R_4 – dekadali aktiv qarshilik (shaxobcha 4); S_4 – dekadali sig'im. Juft shoxobchalardagi qarshilik va sig'imlarning qiymatlari berilgan bo'ladi.

Dekadali qarshilik R_4 va dekadali sig'im S_4 larni o'zgartirish orqali 3- va 4- shoxobchalardagi kuchlanish tushuvlarini qiymati va fazasi bo'yicha tengligiga, ya'ni $U_3 = U_4$ bo'lishiga erishamiz. Bu vaqtda galvanometr G orqali oqayotgan tok nolga teng bo'lib, ko'prik muvozanatlashadi.

$U_3 = U_4$ shart bajarilganda quyidagi munosabat ta'minlanadi:

$$\frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_3} = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_4}, \quad (6.9)$$

bu yerda $\dot{Z}_1$, $\dot{Z}_2$, $\dot{Z}_3$ va $\dot{Z}_4$ ko'prik yelkalarining to'la qarshiliklari.

Nazorat savollari

1. Izolyatsiyani tekshirishning buzuvchi va buzmaydigan usullarining ma'nosini tushuntiring. Misollar keltiring.
2. Izolyatsiyada paydo bo'luvchi deffektlarni tekshirishning buzmaydigan usullariga qanday usullar kiradi? Ularning ma'nosini tushuntiring.
3. Izolyatsiyani dielektrik isroflar burchagi bo'yicha tekshirishda uning almashtirish sxemasi qanday ko'rinishda tasvirlanadi?
4. Ko'p qatlamli dielektriklarning sig'imi chastota o'sishi bilan qanday o'zgaradi? Sababini tushuntiring.
5. Shering ko'prigining prinsipial sxemasini chizing va uning parametrlarini ta'riflang.

7. ELEKTR SISTEMASIDA KUZATILADIGAN O'TAKUCHLANISHLAR

7.1. Elektr sistemasida tashqi o'takuchlanishlar

Elektr sistemada tashqi o'takuchlanishlar atmosferada kuzatiluvchi hodisalar ta'sirida yuzaga keladi. Shu sababli bunday o'takuchlanishlar atmosfera o'takuchlanishlari deb ham yuritiladi. Bunday o'takuchlanishining paydo bo'lish manbai bo'lib bulut bilan yer yoki bulutlar orasida yashin ko'rinishida razryadlanish hisoblanadi. Yashin elektrodlar oralig'idagi masofa juda katta bo'lgan holatda uchqunli razryadlanishning xususiy ko'rinishi hisoblanadi. Olib borilgan tekshirishlar ko'rsatadiki, yashin kanalining uzunligi o'rtacha 5 km gacha yetishi mumkin. Ko'p hollarda bu kanalning kattagina qismi bulutlar orasida joylashadi. Yashinli bulutda zaryadning o'ziga xos ravishda taqsimlanishi tufayli yashin bir yo'nalishda rivojlanayotgan bir necha razryadlardan tashkil topadi. Bunda har bir razryad lider bosqichidan rivojlanib yashinli razryad bilan tugallanadi.

Yashindan oldin bulutlarda kuchli havo oqimining paydo bo'lishi va ularda suv bug'ining kondensatsiyalanishi natijasida yashinli bulutlarda elektr zaryadlarining bo'linish va yig'ilish jarayoni kechadi.

Manfiy temperatura sohasiga yetgan suv tomchisi muzlaydi. Muzlash suv tomchisining sirti bo'ylab rivojlanib, uning sirtida yupqa muz qatlami hosil qiladi. Muzlash paytida ajraladigan harorat suv tomchisining ichida taxminan 0°C temperaturani ta'minlaydi. Suvdagi musbat ionlar temperatura farqidan suv tomchisining sirti tomon harakatlanadi. Suv tomchisining markazi muzlaganda va uning kengayishi natijasida oldin hosil qilingan muz qatlami sinib uning musbat zaryadlangan bo'laklari shamol ta'sirida bulutning yuqori qismi tomon olib ketiladi. Shunday qilib bulutning yuqori qismi (90% gacha) musbat zaryadlanib pastki qismi esa manfiy zaryadlangan bo'ladi. Shu sababli odatda yashin yerga manfiy zaryad olib keladi.

Yer sharining o'rtacha kengligida olib qaralganda umumiy yashinning 30 – 40 % qismi yerga yetib kelsa, qolgan 60 – 70% qismi har xil ishorali zaryadlangan bulutlar orasida sodir bo'ladi.

Bulutning pastki qismida manfiy zaryadlarning konsentratsiyalanishi tufayli bulutning yerga nisbatan balandligiga qarab elektr may-

don kuchlanganligi ko'payadi va uning qiymati yerga nisbatan bulutning balandligiga bog'liq holda 20-24 kV/sm ga yetganda ionlanish jarayoni tufayli yerga tamon yo'nalgan razryadlanish rivojlana boshlaydi. Birlamchi razryadning lider bosqichidagi yerga tomon tushish tezligi $1.5 \cdot 10^7$ sm/sek bo'lsa, navbatdagi bosqichda rivojlanayotgan razryadlanishning tezligi $2 \cdot 10^8$ sm/sek teng bo'ladi. Teskari razryadlanishning rivojlanish tezligi esa $1.5 \cdot 10^9$ - $1.5 \cdot 10^{10}$ sm/sek chegarada o'zgaradi.

Lider kanali har qanday strimer kanali kabi plazma bilan to'lgan bo'lib, u ma'lum o'zkazuvchanlikka ega. Lider kanali o'zining tepadagi uchi bilan birorta zaryadlangan bulutlar markazlaridan biri bilan ulangan bo'ladi. Bu zaryadning kanalda taqsimlanishi notekis bo'lib, u kanal oxiri tomon o'sib boradi. Bilvosita olib borilgan o'lchashlar zaryadning eng minimal qiymati kanalning o'rtasida bo'lishini ko'rsatadi. Shunday qilib, kanal oxirida zaryadning yig'ilishi ikkinchi darajali rolni bajaradi. Shuning uchun ayrim hisoblash ishlarini bajarishda zaryadning chiziqli zichligi σ doimiy, ya'ni o'zgarmas deb qabul qilinadi. Bunda lider kanalining uzunligi l ga teng bo'lganda u bo'ylab tushayotgan umumiy zaryad quyidagicha aniqlanadi: $Q = \sigma l$. Liderning ionlanish sohasida bulut qanday ishorali zaryadlangan bo'lsa xuddi shunday ishorali ortiqcha zaryadga ega bo'ladi. Liderning yerga yoki uning sirtidagi birorta obyektga yaqinlashgani sari induksiyalangan zaryad va elektr maydon kuchlanganligi ortib boradi va undan teskari yo'nalishda rivojlanayotgan liderning ishorasi birinchisining nisbatan teskari ishorali bo'ladi. Bulutdan rivojlanayotgan lider kanalining yerga yoki qarama qarshi yo'nalgan liderga yaqinlashib borishida ular orasidagi masofa 25–100 metr bo'lganda elektr maydon kuchlanganligi taxminan 10 kV/sm atrofida bo'ladi. Bu oraliq juda qisqa vaqt ichida (bir necha mikrosekundlarda) teshiladi va unda 0,5 – 5 MJ energiya ajralib chiqadi. Bu energiya qizdirishga va termioionlashishga sarf bo'ladi. Kanalning bu qismini o'zkazuvchanligi keskin oshib ketadi va elektr maydon kuchlanganligi yuqori bo'lgan sohasi bulutga tomon yo'nalishda $1.5 \cdot 10^7$ - $1.5 \cdot 10^8$ sm/sek tezlik bilan harakatlanadi. Bu jarayonga bosh razryadlanish jarayoni deyiladi va unda liderning zaryadini neytrallashtirish kuzatiladi. Bosh razryadlanish tokining o'sishi (tok impulsi frontining kengayishi) lider kanalida zaryadning neytrallashtirishiga mos kelsa, tokning pasayishi esa liderning ionlashish sohasida zaryadning neytrallashtirishiga mos keladi.

Lider kanali bo'yicha yashinning tugallanish bosqichida tezligi bir necha millisekund davomida tok kanali bo'ylab bir necha o'nlab va yuzlab amper tok oqib o'tadi.

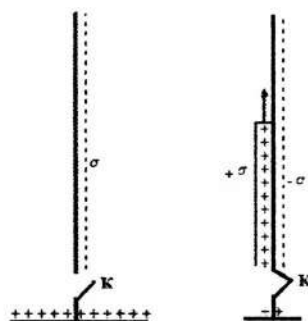
Teskari ishorali zaryadning siljishi natijasida yashin kanali nol potensialga ega bo'ladi va kanaldagi ortiqcha zaryadlar yerga oqib o'tadi, yashin urilgan joyda ma'lum yashin tokini hosil qiladi. Agar lider kanalida zaryadning chiziqli zichligi σ va teskari razryadning harakat tezligi g bo'lsa, u holda birlik vaqt ichida yerga σg ga teng zaryad oqib o'tadi va yashin urilgan joyda oqib o'tayotgan yashin toki quyidagi ifoda yordamida topiladi:

$$I_{ya} = \sigma g. \quad (7.1)$$

Lider razryadining teskari razryadga o'tishida kechadigan jarayon ko'p jihatdan vertikal zaryadlangan o'tkazgichning yerga qisqa tutashuv jarayoniga o'xshash bo'ladi. Bu vaqtda ma'lumki o'tkazgich bo'ylab yorug'lik tezligida musbat zaryadli razryad to'lqini tarqaladi, natijada o'tkazgichning potentsiali nolgacha pasayib, qisqa tutashuv joyida oqayotgan tok (7.1) formula bo'yicha aniqlanadi. Agar o'tkazgich yerga ma'lum qarshiliq orqali qisqa tutashtirilganda yashin toki ushbu formula yordamida topamiz:

$$I_{ya} = \sigma g \frac{Z}{Z + R}, \quad (7.2)$$

bu yerda Z - o'tkazgichning to'lqin qarshiligi.

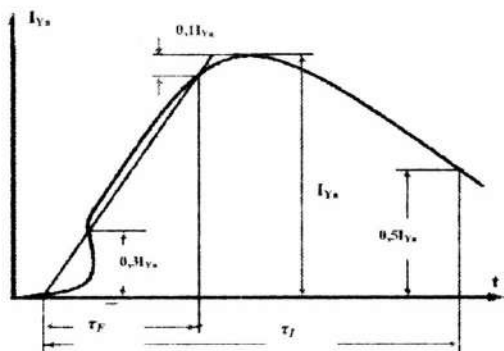


7.1- rasm. Bosh razryad rivojlanishining soddalashtirilgan sxemasi.

Yashining lider bosqichidan bosh razryadga o'tishini vertikal zaryadlangan o'tkazgichning yerga qisqa tutashuvi bilan ifodalashimiz mumkin (7.1- rasm). Lider bosqichida birlik uzunlikda manfiy zaryadlar zichligi o'zgarmas bo'lgan vertikal o'tkazuvchan kanal paydo bo'ladi deb qabul qilamiz. Kalit K ni qisqa tutashtirishda yerning sirtidan yashin kanaliga kelayotgan musbat zaryadlar manfiy ionlarni neytrallashtiradi.

Yuqori kuchlanish elektr qurilmalariga elektromagnit ta'siri nuqtai nazaridan bosh razryad tokining shakli va qiymati muhim ahamiyatga ega (7.2- rasm).

Yashin tokining maksimal qiymati, o'tkazgichning aktiv va to'liq qarshiligi hamda zaminlash qarshiligida maksimal kuchlanishning tushishi kuzatiladi.



7.2- rasm. Yashin toki impulsining parametrlarini aniqlash.

Yashin toki impulsi frontining qiyalanishi magnit bog'langan zanjirlarda induksiyalangan kuchlanishni va o'tkazgichning induktiv qarshiligida kuchlanishning tushishini belgilaydi:

$$a = \frac{di_{ya}}{dt}, \quad (7.3)$$

Yashin razryadlanishini son jihatidan xarakterlaydigan asosiy xarakteristika yashin tokining amplitudasi bo'lib, uni qayd etish muhim hisoblanadi. Uni qayd etish uchun keng qo'llaniladigan asbob elektromagnit ferromagnit qayd qilgich hisoblanadi. Odatda elektromagnit qayd qilgich elektr uzatish liniyasining tayanchlarida o'rnatiladi va yaxshi zaminlanadi. Chunki, havodagi elektr uzatish liniyalari (HEUL) tez-tez yashinning bevosita urilishiga uchraydi (odatda, HEULning har bir 100 km uzunligiga yashinning ta'sir etish intensivligi bir yilda 10 – 20 marta teng).

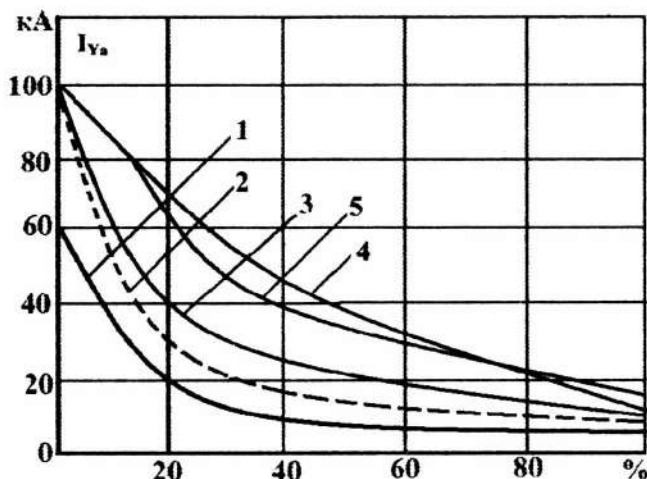
Tayanchning o'qiga nisbatan R masofada joylashgan nuqtadagi magnit maydon kuchlanganligi tayanch bo'yicha oqib o'tayotgan tokning funksiyasi hisoblanadi. Agar tayanchni metalni silindr ko'rinishida tasavvur qilsak, tayanch o'qidan R masofadagi magnit maydon kuchlanganligi N ni quyidagi formula yordamida aniqlaymiz:

$$H = \frac{i_{ya}}{2\pi R}. \quad (7.4)$$

O'lashlar yashin toki keng diapazonda o'zgarishini ko'rsatadi. Ammo bu kamchilik o'lashlar statikasi bilan kompesatsiyalanadi. Har xil obyektlarda va turli olimlar tomonidan olib borilgan o'lashlarning natijalari 7.3- rasmda keltirilgan. O'takuchlanishdan himoyalanih yo'riqnomaga ko'ra (7.3- rasm, 2 – egri chiziq) quyidagi empirik formula yordamida yetarlicha aks ettiriladi:

$$\vartheta_1 = 10^{-\frac{I_m}{60}} = e^{-\frac{I_m}{26.1}} \quad \text{yoki} \quad \lg \vartheta_1 = -\frac{I_m}{60}, \quad (7.5)$$

bu yerda I_m - yashin tokining amplitudasi, kA; ϑ_1 - yashin toki amplitudasining I_m ga teng va katta bo'lish ehtimoli.



7.3- rasm. Turli manbalardan olingan yashin toki amplitudasining protsentlardagi egri chizig'i: 1- Amerikaning osmono'par binosidagi razryadlar; 2- Amerika injener – elektriklar institutining tavsiyasi asosida olingan ma'lumot; 3- Sobiq SSSRda qabul qilingan ma'lumot; 4 – Lyuis va Faustning ma'lumotlari bo'yicha; 5 – Amerikaning elektr uzatish liniyalarida oxirgi marta kuzatilgan tok amplitudasi.

Agar elektr sistemada o'takuchlanish yashinning bevosita elektr uzatish liniyasiga yoki biror elektr qurilmaga urilishidan paydo bo'lsa, u yashining bevosita urilishidan hosil bo'lgan o'takuchlanish deb tushiniladi. Agar o'takuchlanish elektr uzatish liniyasiga yaqin joylashgan biror obyektga urilishidan paydo bo'lsa, unga induksiyalangan o'takuchlanish deb tushiniladi.

Elektr qurilmaning qismlariga kuchlanish qo'yilganda uning atrofida elektromagnit maydon paydo bo'ladi. Agar bu maydonga qandaydir keskin turtki (yashin) kiritilsa, maydon bir holatdan qandaydir ikkinchi holatga to'liq jarayoni ko'rinishida o'tadi. Bu holda elektromagnit to'liq elektr uzatish liniyasi bo'ylab ikkala tomonga qarab tarqaladi.

Elektromagnit to'liqni elektr maydon energiyasining tashuvchisi hisoblanuvchi kuchlanish to'liqini va magnit maydon energiyasining tashuvchisi hisoblanuvchi tok to'liqlari ko'rinishda ifodalash mumkin. Bu to'liqlarning tezligi va yunalishi bir xil bo'ladi. Elektr energiyasi zahirasining ko'payishi faqatgina xuddi shunday qiymatga magnit maydon energiyasining kamayishi hisobiga amalga oshadi.

Elektromagnit maydon nazariyasiga qo'ra elektr maydon kuchlanganligi E va magnit maydon kuchlanganligi H orasida qo'yidagicha bog'lanish mavjud.

$$E = \mu_0 \cdot \mu' H v, \quad H = \varepsilon_0 \varepsilon' E v; \quad (7.6)$$

$$v = \pm \frac{300}{\sqrt{\varepsilon' \mu'}}; \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}.$$

Bu elektromagnit to'liq o'zaro teskari bo'lgan ikkala yo'nalishda bir xil tezlik bilan tarqalishini ko'rsatadi.

To'liq kuchlanishining o'zgarishi magnit maydon oqimining o'zgarishiga proporsionaldir:

$$U = \Phi_{0n} = L_0 i n. \quad (7.7)$$

Havodagi elektr uzatish liniyasining yashindan shikastlanishi o'z navbatida izolyatsiyaning qoplanishiga, uchqun impulsining turg'un yoyga aylanishiga va natijada qisqa tutashuv tufayli HEULning avtomatik o'chirilishiga olib keladi. Bu holda paydo bo'ladigan o'takuchlanishdan qoplanish izolyatsiyaning impuls xarakteristikasiga bog'liq.

Yashindan muhofazalanish asosan ushbu hududning yashin intensivligi bilan bog'liq. Shuni ta'kidlash lozimki, yashinli kunlar soni 5 dan kam bo'lgan rayonlarda maxsus yashindan paydo bo'ladigan o'takuchlanishdan muhofazalagichlar o'rnatilmaydi.

Elektr uzatish liniyasining yashindan qoplanishining asosiy xususiyati undan kuchlanish olingandan keyin uning izolyatsiyasining elektr mustahkamligini tiklanishidir. Qilingan tahlil natijalari ko'rsatadiki, yashindan qoplanishning 90-95%da elektr uzatish

liniyasida avtomatik qayta ulagich qo'llanganda uning normal ishlashi tiklangan. Avtomatik qayta ulagichning qo'llanilishi elektr uzatish liniyasining yashinbardoshligini oshiradi. Hozirgi vaqtda elektr sistemasida zamonaviy avtomatik qurilmalar va o'chirgichlar tezkor avtomatik qayta ulagichni qo'llashga va sistemaning dinamik turg'unligining oshishiga olib keladi.

Yashinning bevosita urilishidan paydo bo'ladigan o'takuchlanish har qanday kuchlanishga mo'ljallangan havo elektr uzatish liniyasining izolyatsiyasini qoplashga yetarli bo'lishi mumkin. Bu o'takuchlanishdan himoya qilishning asosiy usuli yaxshi zaminlangan himoya trosi hisoblanadi. Chunki zaminlangan himoya trosi elektr uzatishida induktsiyalangan kuchlanishni pasaytiradi.

Nazorat savollari

1. Elektr sistemasida yuz beruvchi tashqi o'takuchlanishlarning manbai nimadan iborat bo'ladi?
2. Statistik ma'lumotlarga ko'ra yer yuzi bo'yicha yashinning qancha qismi yerga yetib keladi?
3. Yashinning paydo bo'lish jarayonini tushuntiring.
4. Yashin urilgan joyda o'tuvchi yashin toki qanday aniqlanadi?
5. Qandaydir qarshilik orqali yerga ulangan o'tkazgichga yashin urilgan vaziyatda undagi tok qanday aniqlanadi?
6. Tayanchning o'qiga nisbatan R masofada joylashgan nuqtada magnit maydoni kuchlanganligi tayanch orqali o'tuvchi tok bo'yicha qanday aniqlanadi?
7. Elektr va magnit maydon kuchlanishlari orasida qanday bog'lanish mavjud?
8. Havo elektr uzatish liniyasi yashinning bevosita urilishidan qanday himoyalanaadi?

7.2. Yashinning elektr uzatish liniyasi elementlariga urilishidan hosil bo'luvchi o'takuchlanishlar

Agar yashinning zaminlangan elektr uzatish liniyasining tayanchiga urilishini qaraydigan bo'lsak, tayanch va qarshiligi R_i bo'lgan zaminlash o'tkazgichi orqali I_{ya} yashin toki oqayotganda tayanchning zaminlangan joyidagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{\text{tayanch}} = I_{\gamma a} R_i . \quad (7.8)$$

Shikastlangan tayanchning o'tkazgichidagi maksimal potensial quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$U = ah_{o't} ,$$

bu yerda a - tok to'liqining yassilanish koeffitsienti; $h_{o't}$ - o'tkazgich osilishining o'rtacha balandligi.

Shikastlangan tayanchning izolyatsiyasiga ta'sir etuvchi kuchlanishlar U_{tayanch} va U lar har xil qutbli bo'lganligi sababli ularning ayirmasi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{\text{iz}} = U_{\text{tayanch}} + U = I_{\gamma a} R_i + ah_{o't} . \quad (7.9)$$

Agar izolyatsiyadagi kuchlanish razryadlanish kuchlanishining 50% qismidan katta bo'lsa, izolyatsiyaning qoplanishi sodir bo'ladi. Bu turdagi potensialning oshishidan sodir bo'ladigan qoplanishga teskari qoplanish deyiladi.

Himoyalash trosi orqali oqayotgan tokning o'tkazgichlarda induksiya kuchlanishi (manfiy qutbli):

$$U_{\text{ind}} = KU_{\text{tayanch}} , \quad (7.10)$$

bu yerda K - trosning o'tkazgich bilan bog'lanish koeffitsienti deyiladi. Bu holda kuchlanish:

$$U = U(1-K) = ah_{o't}(1-K).$$

Demak, himoyalash trosi mavjud bo'lgan HEULdagi kuchlanish quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$U_{\text{iz}} = (I_{\text{tayanch}} R_i + ah_{o't})(1-K). \quad (7.11)$$

Tayanchining balandligi 20-25 m gacha bo'lgan HEUL uchun $ah_{o't}(1-K) - U_{\text{tayanch}} K = 0$ deb qabul qilish mumkin. Bunda

$$U_{\text{iz}} = I_{\text{tayanch}} R_i .$$

Himoyalash trosi bo'lmagan HEULda yashinning bevosita urulishidan shikastlangan o'tkazgichning ikkala yo'nalishi bo'ylab yashin tokining tarqalishidan paydo bo'ladigan o'takuchlanish to'liqini quyidagiga teng:

$$U = \frac{I_{\gamma a} Z_{\text{toj}}}{2} , \quad (7.12)$$

bu yerda Z_{toj} -impuls tojlanishni hisobga olingandagi to'liq qarshiligi. Yashinning bevosita o'tkazgichga urilishida bu qarshilikni 300 Om deb qabul qilish tavsiya etiladi.

Metall tayanchli elektr uzatish liniyalarida paydo bo'ladigan U amplitudali o'takuchlanish to'liqini tayanch bilan o'tkazgich orasidagi izolyatsiyaga ta'sir etadi.

Yog'och tayanchli elektr uzatish liniyalarida paydo bo'ladigan o'takuchlanish to'liqini o'tkazgichning yerga nisbatan izolyatsiyasiga shoda-travers-tayanch yo'nalishi yoki tayanchlar orasidagi masofaning o'rtasida o'tkazgich - yer yo'nalishi bo'yicha ta'sir etadi. Lekin yerga nisbatan izolyatsiya ancha yuqori bo'lganligi sababli o'tkazgichlar orasida impulsli razryadlanish ko'rinishidagi qoplanish sodir bo'ladi. Yuqori kuchlanish to'liqlarida impuls tojlanishni hisobga olganimizda bog'lanish koeffitsientini $K_r = 1,5K$ deb olish mumkin.

Havo elektr uzatish leniyasida paydo bo'ladigan o'takuchlanish to'liqini podstantsiyaga yetib kelib shinalar, apparatlar va transformatorlar izolyatsiyasiga ta'sir etadi. Bu o'takuchlanishdan himoyalash uchun asosan ventilli razryadlagichlar qo'llaniladi.

Elektr sistemasining o'takuchlanishdan himoyalalanish sxemalarida qo'shimcha apparatlar – ventilli razryadlagich, uchqun oralig'i va o'takuchlanishni chegaralovchi nohiziqli qarshilik qo'llanilganda, yashin paytida HEULda paydo bo'ladigan to'liqin jarayonining xarakterli xossasi uning katta tezlikda HEUL bo'ylab tarqalishi hisoblanadi.

Yashinning bevosita o'tkazgichga urilishidan yuzaga keluvchi yashin toki HEULning ikkala yo'nalishi bo'yicha tarqalishidan paydo bo'ladigan o'takuchlanishni ushbu formula orqali aniqlaymiz:

$$U = \frac{I_{ya} Z_t}{4} + U_{ind} , \quad (7.13)$$

bu yerda I_{ya} - yaxshi zaminlangan obyektidagi yashin toki; Z_t - impuls tojlanishni hisobga olgandagi to'liqin qarshiligi. U 300 Ohm deb qabul qilinadi.

Ko'pgina hollarda yuqori kuchlanishdagi HEULLarida paydo bo'ladigan o'takuchlanish izolyatorlar shodasining qoplanishiga olib keladi va juda ko'p faktorlarga, jumladan tayanchlarning turiga bog'liq bo'ladi.

Metall tayanchli HEULLardagi o'takuchlanish to'liqini o'tkazgichning izolyatsiyasiga ta'sirni ko'radigan bo'lsak, masalan, yashin tokining 5 - 10 kA qiymatida izolyatorlar shodasining to'la qoplanishi uchun yetarli bo'lgan o'takuchlanish paydo bo'ladi. Bu o'takuchlanish to'liqini yuqori nominal kuchlanishli sistemalar uchun ham o'rindir.

Yog'och tayanchli HUEllarda yerga nisbatan izolyatsiya sathi yuqori bo'lganligi sababli uning yerga nisbatan razryadlanishida impuls qoplanish paydo bo'ladi. Shikastlanish paytida fazadagi kuchlanish to'liqini boshqa faza o'tkazgichlarida bog'lanish koeffitsientiga mos kuchlanish hosil qiladi. Uch fazada paydo bo'ladigan o'takuchlanish fazalararo izolyatsiyaga bir xil ta'sir ko'rsatmaydi.

O'tkazgichlar orasida paydo bo'ladigan kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U = \frac{I_{\text{ra}} Z_{\text{L}} (1 - K_{\text{L}})}{2}. \quad (7.14)$$

Havodagi elektr uzatish liniyasiga ulangan elektr mashinalarining bosh va chulg'amlararo izolyatsiyalariga atmosfera o'takuchlanishi ta'sir etadi. O'takuchlanishning amplitudasini pasaytirish uchun kelayotgan to'liqinning qiyalanishini 5 - 6 kV/mksek gacha kamaytirish talab etiladi. Tushayotgan to'liqinning qiyalanishini kamaytirish uchun mashinalar yaqiniga sig'imi 0,25 - 0,5 mkF bo'lgan muhafazalovchi kondensatorlar o'rnatilishi talab etiladi. Katta quvvatli generatorlar yaqiniga RVM rusumli razryadlagich o'rnatilishi talab etiladi.

Elektr stansiyalari va podstansiyalarini atmosfera o'takuchlanishidan himoya qilish ishonchliligi, havo elektr uzatish liniyasini himoyalash ishonchliligidan ancha yuqori bo'lishi kerak. Chunki, stansiya yoki podstansiyaning yashindan shikastlanishidan keladigan iqtisodiy zarar liniyaning shikastlanishidan keladigan zararga nisbatan ancha katta hisoblanadi. Atmosfera o'takuchlanishi stansiya yoki podstansiya elektr qurilmalarining va apparatlarining (transformatorlar, o'chirgichlar, generatorlar, yig'ma shifalar, o'lchash transformatorlari kabilarning) butunlay ishdan chiqishiga olib kelsa, elektr uzatish liniyalarining yashin urilishidan shikastlanishida u rele himoyasi yordamida o'chiriladi.

Yashining bevosita urilishi ochiq va yopiq taqimlovchi elektr qurilmalari (OTQ va YOTQ), mashina zali binosi, boshqaruv pultlariga, moy - neft xo'jaliklariga, graderniyalarga, stansiya va isitish sistemasi mo'rilariga va boshqa yerda joylashgan obyektlar izolyatsiyasining elektr mustahkamligiga xavf tug'diradi.

Metall bilan yopilgan va metall tayanchli binolar va inshootlar metall qismlarini yaxshi zaminlash orqali yetarli darajada himoyalash ta'minlanadi. G'ishtli binolar, temir beton inshootlar, podstansiya

o'tkazgichlarini ko'tarib turuvchi metall tayanchlar (portallar) yashin qaytargichlar yordamida himoyalaniadi.

Yashin toki yashin qaytargich orqali o'tganda zaminlagichning qarshiligida hosil bo'ladigan kuchlanishning tushishi oqib o'tayotgan tokning qiymatiga va uning fronti shakliga (yassilanishiga) bog'liq. Agar yashin qaytargich orqali oqib o'tayotgan tokning fronti o'tkir burchakli bo'lsa, zaminlagichdan l masofada joylashgan nuqtaning potentsiali quyidagicha aniqlanadi:

$$U_i = I_{ya} R_i + L \frac{di_{ya}}{dt} \quad (7.15)$$

yoki

$$U_i = I_{ya} R_i + aL_0 l, \quad (7.16)$$

bu yerda L - zaminlagichdan qaralayotgan nuqtagacha bo'lgan l uzunlikdagi tok o'tkazgichning induktivligi.

Yashin qaytargichlarning potentsialini hisoblash uchun $I_{ya} = 150$ kA, $\frac{di_{ya}}{dt} = 32$ kA/mksek deb qabul qilinadi. Panjara sifat yashin qaytargich va alohida yotqizilgan tok o'tkazgich uchun induktivlik $L = 1,7$ mkgn/m olinadi.

Himoyalalanayotgan obyektga qoplanish sodir bo'lmasligi uchun, obyekt bilan yashin qaytargich oralig'i izolyatsiyasining mustahkamligi yashin qaytargichdagi kuchlanish qiymatidan yuqori bo'lishi kerak.

Nazorat savollari

1. Tayanchga yashin urilganda yashin toki va zaminlagichning qarshiligi bo'yicha tayanchga qo'yilgan kuchlanish qanday aniqlanadi?
2. Yashin urilishidan shikastlangan tayanchning o'tkazgichdagi maksimal potentsial qanday aniqlanadi?
3. Yashin qaytargich trosi bo'lmagan liniyaning o'tkazgichiga yashin urilganda bu nuqtaning ixtiyoriy tomonidagi o'takuchlanish qanday aniqlanadi?
4. Liniyalarda vujudga keluvchi o'takuchlanishlardan himoyalash uchun qanday razryadagichlar qo'llaniladi?
5. Podstansiyalarda o'takuchlanishlardan himoyalash uchun qanday razryadlagichlar qo'llaniladi?
6. Quvursimon razryadlagichning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring?

7. Vetilli razryadlagichning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.

8. Nima sababdan podstansiyalarni o'takuchlanishlardan himoyalashda ishonchlilik bo'yicha talab havo liniyalaridagiga nisbatan yuqori qo'yiladi? Sababini tushuntiring.

7.3. Elektr uzatish liniyasida va u qatnashuvchi zanjirlarda to'liq jarayonlari

Elektr uzatish liniyasiga bevosita va unga yaqin joylashgan birorta obyektga yashin urilganda liniya o'tkazgichlari bo'ylab tarqaluvchi elektromagnit to'liq paydo bo'ladi. Liniyada va podstansiyada paydo bo'ladigan atmosfera o'takuchlanishi bu to'liqlarning sinishi va qaytishi bilan aniqlanadi. Shu sababli yashindan himoyalash qurilmalarini tanlash uchun olib boriladigan hisoblash ishlarini bajarishda to'liq jarayonini tahlil qilish muhim ahamiyatga ega.

Elektr uzatish liniyasida to'liq jarayoni to'rtta asosiy parametr – liniyaning birlik uzunligiga to'g'ri keluvchi sig'imi C , induktivligi L , aktiv qarshiligi va aktiv o'tkazuvchanligi bilan xarakterlanadi. Ular quyidagi ko'rinishdagi differensial tenglamalar orqali bog'langan:

$$\begin{cases} -\frac{\partial U}{\partial X} = ir + L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial X} = gU + C \frac{\partial U}{\partial t} \end{cases} \quad (7.15)$$

Barcha to'rtala parametrlar hisobga olinganda bu differensial tenglama murakkab ko'rinishga ega bo'ladi. Ayrim hollarda liniyaning o'tkazuvchanligi juda kichik bo'lganligi sababli u e'tiborga olinmaganda bu tenglamalar ancha soddalashadi. Biroq liniya bo'ylab katta amplitudali to'liq tarqalayotgan bo'lsa, liniyaning o'tkazgichlarida tojlanish razryadi paydo bo'lib, bunday sharoitlarda aktiv o'tkazuvchanlikni hisobga olmaslik mumkin emas.

Liniyada kechadigan jarayonga uning aktiv qarshiligi sezilarli darajada ta'sir ko'rsatib, u o'takuchlanish amplitudasini so'ndirishga va to'liqning deformatsiyalanishiga olib kelishi mumkin. Yashinning elektr uzatish liniyasi o'tkazgichlariga razryadlanishda yerga nisbatan o'takuchlanish sodir bo'ladi. Shu sababli elektromagnit to'liqning to'g'ri toki liniya o'tkazgichlari bo'yicha tarqalsa, teskari toki yer bo'ylab

qaytadi. Liniyaning aktiv qarshiligi o'tkazgichning aktiv qarshiligi r_{ov} , va tok qaytayotgan yerning aktiv qarshiligi r_{er} dan iborat bo'ladi.

To'lqin rejimida tokning vaqt bo'yicha o'zgarishi juda katta bo'lganda ekvivalent aktiv qarshilik sirtiy effekt hisobiga oshib ketadi va to'lqin amplitudasining deformatsiyalanishiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Bu jarayonning nazariy tahlili o'ta murakkab bo'lib, kuchlanish to'lqinining o'zgarish xarakteriga yerning sirtiy effektining ta'siri 7.4- rasmda keltirilgan.

Kuchlanish to'lqini ekvivalent frontining o'zgarishini kuchlanish o'zgarishining maksimal tezligi bo'yicha aniqlash maqsadga muvofiq bo'ladi. Ekvivalent frontning uzunligini aniqlash uchun M.V. Kostenko tomonidan quyidagi taxminiy hisoblash formulasi taklif etilgan:

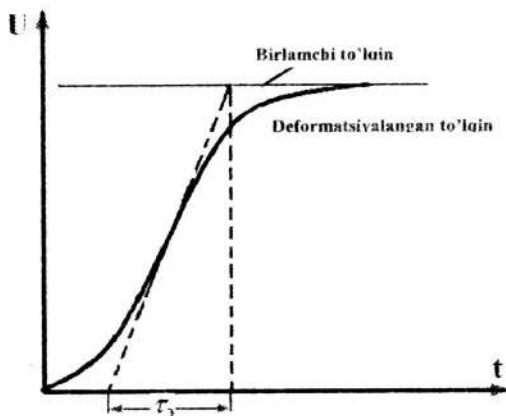
$$\tau_3 = \frac{\rho l^2}{260 h^2 Z^2}, \text{ mksek,} \quad (7.16)$$

bu yerda ρ - tuproqning solishtirma qarshiligi, Om/m;

l - to'lqinning o'tgan yo'li uzunligi, m;

h - yerning sirtiga nisbatan faza o'tkazgichlarining osilish balandligi, m;

$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - liniyaning to'lqin qarshiligi.



7.4- rasm. Yerning sirtiy effekti ta'sirida to'lqin frontining stillashgan xarakteri

Liniyaning o'tkazgichlarining osilish balandligi $h=10$ m, to'lqin qarshiligi taxminan 500 Om deb qabul qilinganda, (7.16) formulaga ko'ra to'lqin frontining to'lqinni yugurib o'tish uzunligiga bog'liqligi 7.1-jadvalda keltirilgan.

Jadvaldan ko'rinadiki, agar tuproqning solishtirma qarshiligi $\rho=100$ Om/m bo'lsa, to'lqinning 2 km masofani bosib o'tishida to'lqin frontining deformatsiyalanishi sezib bo'lmaydigan darajada kam bo'ladi.

7.1-jadval. To'lqin frontining uni yugurib o'tish uzunligiga bog'liqligi.

ρ , Om/m	100			500			1000		
l , km	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
τ , mksek	0,004	0,015	0,06	0,02	0,08	0,03	0,04	0,15	0,6

Yashindan himoyalash sxemalarini hisoblashda ko'pchilik holatlarda to'lqin frontining deformatsiyasini hisobga olish zarur.

Ma'lumki, elektromagnit turtki sodir bo'lgan nuqtadan to'lqinning ikkala tomonga tarqalishi sodir bo'ladi. Isrofsiz elektr uzatish liniyasida to'lqin jarayoni quyidagi differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial U}{\partial x} &= L_0 \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} &= C_0 \frac{\partial U}{\partial t} \end{aligned} \quad (7.17)$$

bu yerda L_0 , C_0 elektr uzatish liniyasining solishtirma sig'imi va induktivligi. Bu tenglamalarning yechimi umumiy holda yashin urilgan nuqtadan ikkala yo'nalishda tarqalayotgan to'lqinlarning yig'indisi kabi hisobga olinadi. Bunda musbat yo'nalishda tushayotgan to'lqin tarqalsa, qaytgan to'lqin esa manfiy yo'nalishda tarqaladi.

(7.17) tenglamalar sistemasining yechimi kuchlanish va tok to'lqinning funksiyasi hisoblanadi:

$$\begin{aligned} U &= U^+ + U^- = F^+(x - \vartheta) + F^-(x + \vartheta) \\ i &= i^+ + i^- = \frac{1}{Z} F^+(x + \vartheta) - \frac{1}{Z} F^-(x + \vartheta) \end{aligned} \quad (7.18)$$

bu yerda $Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ - liniyaning to'lqin qarshiligi; $\vartheta = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon' \mu'}}$ to'lqinning tarqalish tezligi; c - yorug'lik tezligi; HEUL uchun $\varepsilon' = \mu' = 1$, $\vartheta = c$; kabel liniyalari uchun esa, $\varepsilon' \approx 4$, $\mu' = 1$, $\vartheta = \frac{c}{2} = 150$ m/mksek;

$U^+ = F^-(x - \mathcal{A})$ - to'g'ri yo'nalishda tarqalayotgan kuchlanish to'liqini;
 $U^- = F^+(x + \mathcal{A})$ - teskari yo'nalishda tarqalayotgan kuchlanish to'liqini.

Bu ikkala to'liqin $F^-(x - \mathcal{A})$ va $F^+(x + \mathcal{A})$ larning har biri berilgan lahzada uchun fazoviy koordinalar $-(x - \mathcal{A})$ va $(x + \mathcal{A})$ larning funksiyasi hisoblanadi.

Ushbu ifodalarni vaqtning funksiyasi ko'rinishida ham yozish mumkin. Ko'z oldimizga keltiraylikki elektr uzatish liniyasi bo'ylab to'g'ri yo'nalishda tarqalayotgan U^+ kuchlanish to'liqinini yozib olish uchun liniyaning X_1 va X_2 nuqtalariga ostsilograf ulaymiz. Ikkala nuqtada ostsilograf $f^+(t')$ to'liqinni yozib oladi (Bu yerda t' - to'liqinning boshlanishi X nuqtaga kelgan lahzadan boshlab hisoblangan vaqt). Ma'lumki, $t' = t - \frac{X}{g}$ bo'lib, bu yerda t $X=0$ nuqtada jarayonning boshlanishida hisoblanadigan vaqt, g - to'liqinning tezligi. Shunday qilib, to'g'ri va teskari to'liqlar quyidagicha yozib olinadi.

$$f^+(t') = f^+(t - \frac{X}{g}); \quad f^-[t - (-\frac{X}{g})] = f^-(t + \frac{X}{g}).$$

To'liqinning vaqt funksiyasi ko'rinishidagi tasviridan fazoviy koordinatalar funksiyasi tasviriga o'tish uchun argumentni to'liqin tezligiga ko'paytirish lozim. Yuqorida keltirilgan (7.18) formulaga ko'ra tokning va kuchlanishning to'g'ri hamda teskari yo'nalishdagi to'liqlari quyidagicha bog'lanishda bo'ladi:

$$i^+ = \frac{U^+}{Z} \quad \text{va} \quad i^- = \frac{U^-}{Z}. \quad (7.19)$$

O'tkazgichlari parchalanmagan HEUL uchun to'liqin qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = 60 \ln \frac{2h}{r} = 138 \lg \frac{2h}{r}, \quad (7.20)$$

bu yerda h - o'tkazgichning yerga nisbatan o'rtacha osilish balandligi; r - o'tkazgichning radiusi.

O'tkazgichlari parchalangan elektr uzatish liniyasi uchun o'tkazgichning ekvivalent radiusi to'plamdagi simlar radiusiga bog'liq holda quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$r_3 = \sqrt[n]{r_0 \left(\frac{a}{\sin \frac{\pi}{n}} \right)^{n-1} \prod_{k=1}^{n-1} \sin \frac{k}{n} \pi}. \quad (7.21)$$

Havo elektr uzatish liniyalari uchun to'liq qarshiligining qiymati odatda juda tor oralikda o'zgarib, o'tkazgichlari parchalangan liniyalar uchun 350–400 Om, o'tkazgichlari parchalanmagan liniyalar uchun esa, 450 - 550 Om ni tashkil etadi.

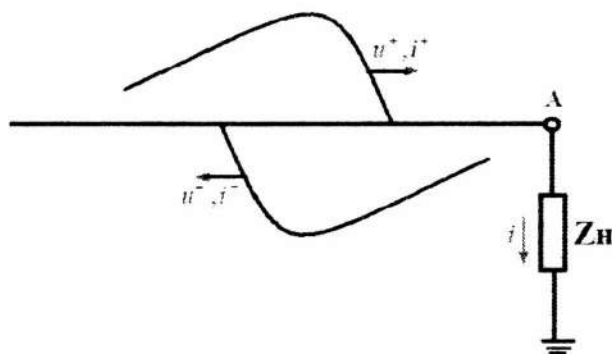
$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ va $\vartheta = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$ ekanligini e'tiborga olib, l uzunlikdagi

liniyaning induktivligi va sig'imini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\begin{cases} L = L_0 l = \frac{Z}{\vartheta} l \\ C = C_0 l = \frac{1}{Z \vartheta} l \end{cases} \quad (7.22)$$

To'liq qarshiligi Z bo'lgan liniya bo'ylab harakatlanayotgan to'g'ri elektromagnit to'lqinlari u^+, i^+ , to'la qarshiligi Z_H bo'lgan yuklama ulangan tugunga yetib keladi. Bu tugunga tushgan u^+, i^+ larning ta'siri oqibatida to'lqinning bir qismi tugunda sinib qo'shni bo'lakka o'tsa, qolgan qismini esa tugundan qaytishi natijasida tok va kuchlanish orasidagi munosabat buziladi (7.5- rasm):

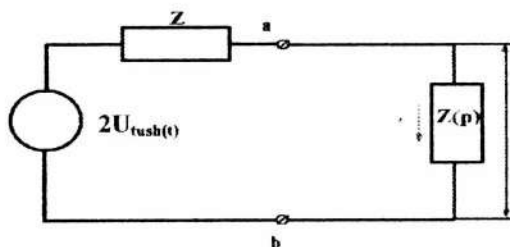
$$U = U^+ + U^-; \quad iZ = U^+ - U^-; \quad U + iZ = 2U^+.$$



7.5- rasm. Tugunda sinayotgan to'lqinni hisoblash uchun sxema.

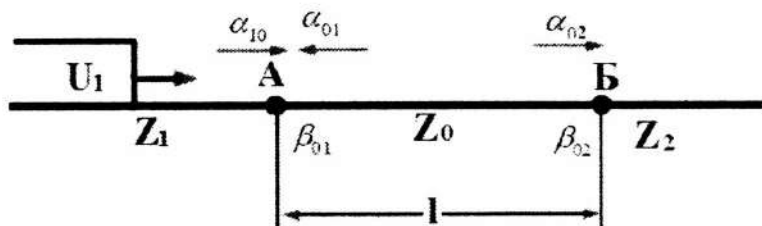
Ixtiyoriy tugunga to'lqinning tushishida tugundagi kuchlanishni aniqlash uchun qo'llaniladigan sxema 7.6- rasmda keltirilgan. Undagi manbaning EYUKsi tushayotgan to'lqin amplitudasining ikkilangan qiymatiga va ichki qarshiligi Z to'lqin tarqalib kelayot liniyaning to'lqin qarshiligiga teng. Bu manbaning qisqichlariga tugundagi elementlar,

uzun liniya o'rniga ularning to'liq qarshiligi ulanadi. Bu tushuncha tugunga ulangan liniya juda uzun liniya bo'lganda yoki tugunga keluvchi to'liq liniyaning oxiridan kelayotgan to'liq kelguniga qadar o'tib bo'lgan holatdagina o'rinli bo'ladi. Amalda esa, ko'pgina hollarda ancha qisqa liniyalar uchraydi va shu sababli liniyaning har ikkala oxiridan qaytgan to'liqlarning o'zaro bir-biri bilan ustma-ust tushishini hisobga olinishimiz kerak.



7.6- rasm. Liniyada singan to'liqning amplitudasini aniqlash uchun foydalaniluvchi almashtirish sxemasi: $Z(p)$ – tugunning ekvivalent qarshiligining operator ko'rinishida ifodalanishi.

Misol sifatida to'liq qarshiligi Z_1 bo'lgan 1 liniyadan to'liq qarshiligi Z_0 bo'lgan juda qisqa masofa orqali to'liq qarshiligi Z_2 bo'lgan 2 liniyaga o'tayotgan bo'lsin (7.7- rasm). 1 va 2 liniyalarning uzunliklari oraliqdagi uchastkaning uzunligiga nisbatan juda uzunligi sababli ularni cheksiz uzun liniyalar deb qarashimiz mumkin.



7.7- rasm. Qisqa uchastka orqali to'liqning bitta uzun liniyadan ikkinchi uzun liniyaga o'tishi.

To'liqning qaytish va sinish koeffitsientlarini tegishlicha α va β bilan belgilaymiz. Ko'pincha, ular ikkita sonli indeks bilan belgilanadi. Bunda birinchi son to'liq kelayotgan liniyaning, ikkinchi son esa, to'liq tushayotgan liniyaning nomerini bildiradi. Misol uchun α_{10}

to'liqning birinchi liniyadan to'liqin qarshiligi Z_0 bo'lgan uchastkaga o'tishidagi sinish koeffitsienti hisoblanadi. Keyingi tahlilni olib borish uchun quyidagicha sinish va qaytish koeffitsientlarini kiritamiz:

$$\alpha_{10} = \frac{2Z_0}{Z_1 + Z_0}; \quad \alpha_{01} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_0} = 2 - \alpha_{10}; \quad \alpha_{02} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_0}; \quad \beta_{02} = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} = \alpha_{02} - 1;$$

$$\beta_{01} = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} = \alpha_{01} - 1; \quad \alpha_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (7.23)$$

Faraz qilaylik, 1 liniya bo'ylab amplitudasi U_1 bo'lgan to'g'ri burchakli to'liqin tarqalayotgan bo'lsin. Dastlab 2 liniyaga to'liqin o'tayotganda sxemaning B nuqtasidagi kuchlanishni aniqlaymiz. Tushayotgan to'liqin A nuqtada sinadi va oraliqdagi qisqa uchastkaga amplitudasi $U_1\alpha_{10}$ bo'lgan kuchlanish to'liqini tarqaladi. Bu to'liqin B nuqtaga etganda yana bir marta sinishga uchraydi va uning amplitudasi $U_1\alpha_{10}\alpha_{02}$ ga o'zgaradi. Bu B nuqtadagi kuchlanish amplitudasining birinchi tashkil etuvchisi bo'ladi. To'liqinning B nuqtaga tushishida singan $U_1\alpha_{10}\alpha_{02}$ amplitudagi to'liqindan tashqari $U_1\alpha_{10}\beta_{02}$ ga teng bo'lgan amplitudali qaytgan to'liqin ham paydo bo'ladi. Qaytgan $U_1\alpha_{10}\beta_{02}$ amplitudali to'liqin uchastkaning boshlanishi A nuqtaga yetib kelib, undan qaytgan $U_1\alpha_{10}\beta_{02}\beta_{01}$ amplitudali kuchlanish to'liqini B nuqta tomon yo'naladi. Bu to'liqin B nuqtadan qaytib kuchlanishning $U_1\alpha_{10}\beta_{02}\beta_{01}\alpha_{02}$ amplitudali ikkinchi tashkil etuvchisini vujudga keltiradi. Yangi B nuqtadan qaytgan $U_1\alpha_{10}\beta_{02}\beta_{01}\beta_{02}$ amplitudali kuchlanish to'liqini yana A nuqtadan qaytadi va B nuqtadan singan $U_1\alpha_{10}\alpha_{02}(\beta_{02}\beta_{01})^2$ amplitudali kuchlanishning uchinchi tashkil etuvchisi paydo bo'ladi. Bu jarayon cheksiz uzoq vaqt davom yetib n marta qaytgandan keyin kuchlanish to'liqinining amplitudasi uchun quyidagi qatorni hosil qilamiz:

$$U_{Bn} = U_1\alpha_{10}\alpha_{02}[1 + \beta_{01}\beta_{02} + (\beta_{01}\beta_{02})^2 + \dots + (\beta_{01}\beta_{02})^{n-1}]. \quad (7.24)$$

Xuddi shunday tahlillab, uchastkaning boshlanishidagi A nuqtadagi kuchlanish to'liqinining amplitudasi uchun quyidagi ifodani yozamiz:

$$U_{An} = U_1\alpha_{10} + U_1\alpha_{10}\alpha_{01}\beta_{10}[1 + \beta_{01}\beta_{02} + (\beta_{01}\beta_{02})^2 + \dots + (\beta_{01}\beta_{02})^{n-1}]. \quad (7.25)$$

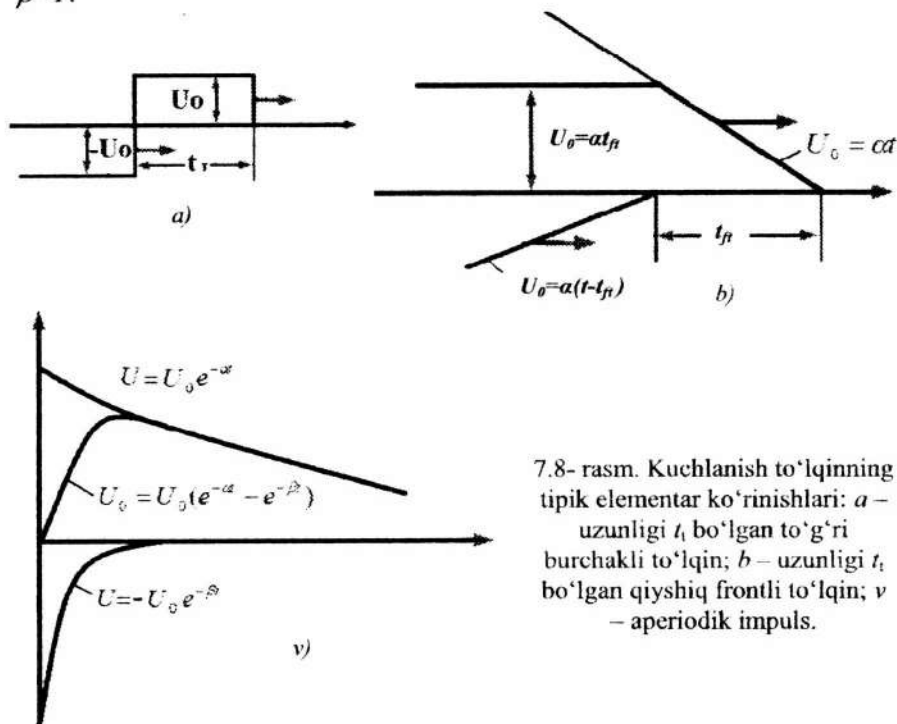
Kelayotgan kuchlanish to'liqini U^+ ning, HEUL oxiridan qaytgan va singan to'liqinlar bilan bog'lanishini qo'yidagicha ifodalash mumkin:

$$U = \alpha U^+, \quad U^- = \beta U^+. \quad (7.26)$$

Bu yerda $\alpha = \frac{2Z_{KO}}{Z + Z_{KO}}$ - tok va kuchlanish to'qlinining sinish koeffitsienti;

$\beta = \frac{Z_{KO} - Z}{Z + Z_{KO}}$ - tok va kuchlanish to'qlinining qaytarilish koeffitsienti; $\alpha -$

$\beta=1$.



7.8- rasm. Kuchlanish to'qlinining tipik elementar ko'rinishlari: a – uzunligi t_1 bo'lgan to'g'ri burchakli to'qlin; b – uzunligi t_1 bo'lgan qiyshiq frontli to'qlin; v – aperiodik impuls.

Agar yuklama aktiv xarakterda bo'lsa, u holda α va β haqiqiy son bo'ladi. Agar HEUL oxiridan uzilgan bo'lsa, u holda $\alpha=2$, $\beta=1$ bo'lib, kuchlanish o'z ishorasini saqlagani holda qaytadi, tok to'qlini esa ishorasini o'zgartiradi, natijada kuchlanish ikkilanadi. Agar HEUL oxirida qisqa tutashtirilgan bo'lsa ($Z_H=0$), u holda $\alpha=0$, $\beta=-1$ bo'lib, kuchlanish to'qlini o'z ishorasini teskarisiga o'zgartiradi, natijada kuchlanish nolga teng bo'ladi.

Elektr sistemasida kuchlanish to'qlinlarining tipik elementar ko'rinishlari (7.8,a,b,v- rasm) to'g'ri burchakli $u_0(t)=U_0$, o'tkir burchakli $u_0(t)=\alpha U_0$ va eksponentsial $u_0(t)=U_0 e^{-\alpha t}$ bo'ladi. Bu

elementar to'liqlarni ustma-ust qo'yib 7.8,a- rasmda keltirilgan uzunligi t_r bo'lgan to'g'ri burchakli to'liqinni hosil qilishimiz mumkin. Shu singari to'liqin frontining uzunligi t_n bo'lgan o'tkir burchakli to'liqinni (7.8,b- rasm) va aperiodik impulsli to'liqin $u_0(t) = U_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$ ni (7.8,v- rasm) hosil qilish mumkin.

Nazorat savollari

1. To'liqin jarayonlarni tahlil qilishda umumiy holatda elektr uzatish liniyasi qanday hisobiy parametrlari bilan qatnashadi?
2. Liniyalarda to'liqin jarayonlarni tahlil qilish uchun foydalaniluvchi differensial tenglamalarni keltiring va ularni tushuntiring.
3. Isrofsiz elektr uzatish liniyasida to'liqin jarayonini ifodalovchi differensial tenglamalarni keltiring va ma'nosini tushuntiring.
4. Havo elektr uzatish liniyalarida parchalangan faza o'tkazgichilarining ekvivalent radiusi qanday aniqlanadi? Formulasini keltiring va tushuntiring.
5. Liniyaning to'liqin qarshiligi va to'liqinnig tarqalish tezligi tushunchalarini ta'riflang.
6. Liniyada to'liqinning sinish va qaytish koeffitsientlari tushunchalarini ta'riflang va ma'nosini tushuntiring.
7. Liniyada o'takuchlanish sodir bo'lganda uning ixtiyoriy nuqtasida kuchlanish to'liqinining amplitudasi qanday aniqlanadi?

7. 4. Havo elektr uzatish liniyasining yashinbardoshligi

Elektr uzatish liniyasining yashinbardoshligi liniya izolyatsiyasining atmosfera o'takuchlanishiga qarshi turish qobiliyatini belgilaydi.

Izolyatsiyaning qoplanish imkoniyati uning razryad rivojlana-yotgan uchastkasi bo'yicha izolyatsiyaning tegishli xarakteristikasi va atmosfera o'takuchlanishi to'liqinining volt – sekund xarakteristikasini solishtirish asosida aniqlanadi.

Liniya izolyatsiyasining impuls qoplanishi elektr yoyining paydo bo'lishi va keyinchalik uning rele himoyasi tomonidan o'chirilishiga olib keladi. Yashindan himoya elementlarining samaradorligini baholash

uchun ikkita texnik xarakteristika kiritiladi: *liniyaning himoyalaniish sathi va liniya o'chirilishlarining solishtirma soni*.

Liniyaning himoyalaniish sathi – yashindan razryadlanish tokining shunday chegaraviy qiymatiki, bunda liniya izolyatsiyasining impuls qoplanishi sodir bo'lmaydi.

O'chirilishlarning solishtirma soni – liniyaning har bir 100 km bo'lagida bir yil davomida yashindan razryadlanish ta'sirida sodir bo'ladigan o'chirilishlar soni. Odatda bir yildagi yashindan razryadlanishlarning davom etish vaqti 30 soat deb qabul qilinadi.

Havo elektr uzatish liniyasining har bir 100 km bo'lagi bir yil davomida bir necha o'n martalab yashin ta'siriga uchraydi. HEUL fazasining o'tkazgichlariga yashin urilganda unda izolyatsiyasiga xavf soluvchi juda katta o'takuchlanish impulsu hosil bo'ladi. Bunday katta kuchlanish impulsiga bardosh bera oladigan izolyatsiyani yaratish juda qiyin va qimmat hisoblanadi. Shuning uchun ko'p hollarda liniyalarda faza o'tkazgichlaridan yuqorida bitta, ayrim hollarda esa ikkita zaminlangan himoya trosi o'rnatiladi. Biroq bunday trossning mavjudligi metal tayanchlar tepasida katta amplitudali kuchlanish impulsining paydo bo'lish ehtimolini to'liq bartaraf etmaydi. Tayanchdagi yuqori kuchlanish ta'sirida tayanchdan faza o'tkazgichlariga razryadlanish rivojlanishi mumkin, ya'ni teskari qoplanish sodir bo'lishi mumkin.

Himoya trosining mavjudligi yashinning faza o'tkazgichlariga urilish ehtimolini juda kamaytirsada, ayrim hollarda yashinning yorib o'tishi sodir bo'lishi mumkin. Elektr sistemani ekspluatatsiya qilish va olib borilayotgan tekshirishlar ko'rsatadiki nominal kuchlanishning o'sishi va mos ravishda tayanchlar balandligining oshishi bilan faza simlarini yashinning bevosita urilishidan himoya qilish murakkablashadi.

Liniya izolyatsiyasining qoplanishlar soni liniyaga yashinning bevosita urilishlar sonidan kamroq bo'ladi, chunki izolyatsiyaning qoplanishi uchun liniyaning parametriga bog'liq bo'lgan ma'lum darajadagi kuchlanish talab etiladi. Masalan, temir tayanchning impuls zaminlash qarshiligini kichik qiymatlarida teskari qoplanish faqat yashin tokining yetarlicha katta qiymatlarida uchraydi. Shu bilan bir vaqtda faza o'tkazgichining yashin bilan shikastlanishida teskari qoplanish yashin tokining kichik qiymatlarida ham kuzatilishi mumkin. Biroq bunday hollarda yashining himoya trosini yorib o'tish ehtimoli unchalik katta emas.

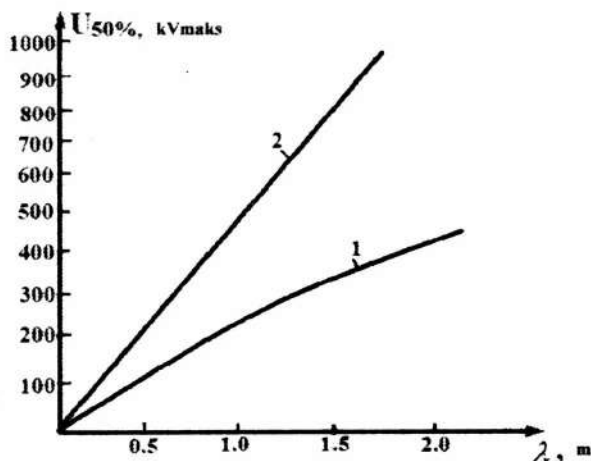
Elektr uzatish liniyasining o'tkazgichlari orasidagi va o'tkazgich bilan tros orasidagi izolyatsiya oralig'i uchun o'rtacha teshilish impuls kuchlanganligi qiymati tayanchlar oralig'ining uzunligiga bog'liq holda 500 – 700 kV/m chegarasida olinadi.

Ho'l yog'ochdan yasalgan traverslar uchun 50% impuls mustahkamlik har bir metr uchun 100 kV/m hisobidan yoki mustahkamlikning volt–sekund xarakteristikasiga mos ravishda qabul qilinishi mumkin.

Liniyaning 50%li impuls razryadlanish kuchlanishi deyilganda impuls kuchlanishining o'rtacha amplitudasi tushiniladi. Bu kuchlanish izolyatsiya oralig'iga ko'p marta takroran qo'yilganda 50% holatda bu kuchlanish oraliq bo'ylab razryadlanishga olib keladi. Bunday razryad impuls to'loqining dum qismi ta'sir etayotgan davrda amalga oshadi.

Shisha yoki chinnidan yasalgan II-4,5 yoki ПМ-4,5 rusmli izolyatorlardan yig'ilgan shoda uchun impuls yoki 50% li elektr mustahkamlik 7.9- rasmda keltirilgan bog'lanishdan topiladi.

Tajriba ko'rsatadiki, davom etish vaqti 3 mksek dan katta bo'lgan impulsli razryadlanish izolyatorlar shodasi sirti bo'ylab havoda amalga oshadi.



7.9- rasn. 50% li impuls razryadlanish kuchlanishining izolyatorlar shodasining uzunligiga bog'liqligi: 1 – ПМ -4,5 rusmli izolyatorlar shodasi uchun; 2 – II-4,5 rusmli izolyatorlar shodasi uchun.

Yashinning liniya izolyatsiyasini yorib o'tish ehtimolini izolyatorlar shodasining impuls mustahkamligi, liniyaning parametrlari va yashin tokining ehtimolidan kelib chiqib baholash mumkin.

Liniya izolyatsiyasining qoplanish yo'li bo'ylab yerga sanoat chastotasidagi qisqa tutashuv toki oqib o'tadi. Agar qisqa tutashuv yoyi turg'un yonayotgan bo'lsa u vaqtda liniyani o'chirish amalga oshiriladi. Agar bunda liniya avtomatik qayta ulash qurilmasi (AQU) bilan jihozlanmagan yoki muvafaqiyatsiz AQU bo'lsa, u holda elektr bilan ta'minlashda uzilish paydo bo'ladi.

Elektr uzatish liniyasining yashinbardoshligi uning izolyatsiyasini atmosfera o'takuchlanishiga bardosh bera olish qobiliyati bilan belgilanadi.

Elektr uzatish liniyasining ishonchli ishlashini xarakterlaydigan ko'rsatkich uning himoya sathi, ya'ni impuls qoplanish sodir bo'lmaydigan maksimal yashindan razryadlanish tokining chegaraviy qiymati hisoblanadi.

Elektr uzatish liniyasi elektr sistemasining eng uzun elementi bo'lganligi sababli u eng ko'p atmosfera o'takuchlanishi ta'sirida bo'luvchi element hisoblanadi. Yashinning bevosita liniyaga urilishida yashin toki shikastlangan o'tkazgich bo'ylab ikkala yo'nalishda tarqaladi. Shu sababli o'tkazgichdagi o'takuchlanish amplitudasi quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$U = \frac{I_{ya} Z_{oi}}{2}, \quad (7.27)$$

bu yerda Z_{oi} - o'tkazgichning to'lqin qarshiligi bo'lib, impuls tojlanish hisobga olinganda u 300 Om ga teng deb qabul qilinishi mumkin. Tojlanishda liniyaning sig'imi ko'payadi va uning to'lqin qarshiligi mos holda kamayadi.

Metal tayanchlarda bajarilgan liniyalarda amplitudasi U bo'lgan o'takuchlanish impulsi tayanchdagi o'tkazgichning izolyatsiyasiga ta'sir etadi. Yashin tokining 5–10 kA qiymatida ko'pincha liniyada yashindan razryadlanishda izolyatorlar shodasini qoplashga yetarli bo'lgan o'takuchlanish paydo bo'ladi.

Shikastlangan o'tkazgichdagi impuls qo'shni fazaning o'tkazgichlarida elektromagnit aloqa koeffitsientiga mos kuchlanishni induktsiyalaydi. O'tkazgichlar orasida quyidagi formula bilan aniqlanadigan kuchlanish paydo bo'ladi:

$$U = \frac{I_{ya} Z_{o'l}}{2} (1 - K) , \quad (7.28)$$

bu yerda K – impuls tojlanish hisobga olingandagi o'tkazgichlar orasi-dagi bog'lanish koeffitsienti bo'lib, hisoblashlarda $K=0,25-0,4$ deb qabul qilinadi.

Liniya izolyatsiyasining qoplanish ehtimoli p_{Qop} yashin tokining kri-tik qiymati bo'yicha hisoblanadi. Yashin tokining kritik qiymati ta'sir etayotgan kuchlanish U va izolyatsiyaning impuls razryadlanish kuchlanishi $U_{50\%}$ tengligi formulasidan topiladi:

temir va temir–beton tayanchda bajarilgan liniya uchun

$$I_{KP} = \frac{2U_{50\%}}{Z} ; \quad (7.29)$$

yog'och tayanchlarda bajarilgan elektr uzatish liniyasi uchun

$$I_{KP} = \frac{2U_{50\%}}{Z(1-K)} . \quad (7.30)$$

Himoya trosisiz yog'och tayanchlarda bajarilgan liniyadagi solishtirma o'chirilishlar soni juda kam bo'ladi. Buning sababi, odatda, impuls qoplanish koeffitsientining turg'un yoyga aylanish ehtimolining pastligidir. Temir tayanchlarda bajarilgan liniyada razryadlanish oralig'i bitta izolyatorga kamayadi. Bu esa, o'z navbatida, liniya izolyatsiya-sining qoplanish ehtimolini ko'payishiga olib keladi. Shu sababli kuchlanishi 110 kV va undan yuqori, hamda temir tayanchlarda bajarilgan himoya trosisiz va yashin intensivligi yuqori bo'lgan hududlardagi liniyalar ruxsat etib bo'lmaydigan darajadagi o'chirilishlarga uchraydi.

Liniyada paydo bo'lgan o'takuchlanish nafaqat liniya izolyatsiyasining qoplanishiga, balki liniya buylab to'lqin ko'rinishida tarqalib podstansiya izolyatsiyasining shikastlanishiga ham sabab bo'lishi mumkin. Shuning uchun yashindan muhofazalanish tadbiri ishlab chiqilayotganda yashinning podstansiya izolyatsiyasiga ta'siri ham e'tiborga olinishi zarur.

Nazorat savollari

1. Havo liniyasining yashinbardoshligi nimani bildiradi? U qanday aniqlanadi?
2. Liniyaning himoyalanish sathi nimani bildiradi?
3. Liniya o'chirilishlarining solishtirma soni nimani bildiradi?

4. Liniyaning 50%li impuls razryadlanish kuchlanishi nima? U qanday aniqlanadi?

7.5 Havo elektr uzatish liniyasining yashin ta'sirida o'chirilishini hisoblash

Yashinga qarshi himoya elektr uzatish liniyasi o'tayotgan hududda yashinning intensivligi, liniya trassasining relefi hamda hudud tuprog'ining geologik va mineralogik strukturasi bilan aniqlanadi. Agar hududda bir yil davomidagi yashinli kunlar soni 5 kundan kam bo'lsa, HEULda yashindan himoya qo'llanilmaydi.

Metal va temir–beton tayanchlarda bajarilgan liniyalarda yashindan muhofoza qilishning qulay yo'li bitta yoki ikkita himoya trosini qo'llash hisoblanadi. Himoya trosi o'rnatilmagan liniyalarning himoyalaniish sathi past bo'lib, ularga yashinning urilishi tez–tez uchraydi.

Hozirgi vaqtda iqtisodiy nuqtai nazardan qabul qilib bo'ladigan tadbirlarni qo'llash asosida hech qachon o'chirilishga uchramaydigan absolyut yashinbardosh elektr uzatishni yaratib bo'lmaydi. Shu sababli yashindan muhofaza qilishning asosiy maqsadi yashindan shikastlanishni butunlay bartaraf etmasdan, uni ma'lum bir chegaragacha kamaytirish hisoblanadi. Shu munosabat bilan atmosfera o'takuchlanishini tahlil qilishda bunday o'takuchlanishining maksimal amplitudasini emas, balki bir yilda liniyaning impuls elektr mustahkamligidan yuqori bo'lgan kuchlanishning yuzaga kelishlar sonini aniqlash masalasi muhim hisoblanadi. O'chirishlar soni bir yilda liniyaga uriladigan yashin razryadiga bog'liq.

Agar elektr uzatish liniyasining o'rtadagi faza o'tkazgichi yoki himoya trosining o'rtacha osilish balandligi h bo'lsa, u vaqtda yerning sirti bo'ylab $6h$ kenglikdagi va liniyaning uzunligi bo'yicha yashinni o'ziga qabul qiladi. Ikkinchi tomondan har bir yashinli kunda yer sirtining har bir 1 km^2 maydonida taxminan 0,1–0,15 marta yashining razryadlanishi sodir bo'ladi deb qabul qilganimizda elektr uzatish liniyasining l uzunligida yashinning ta'siridagi razryadlanishlarning o'rtacha soni quyidagicha aniqlanadi:

$$N_{o'r} = (0,6 \div 0,9) h \cdot 10^{-3} \ln_{kun}, \quad (7.31a)$$

bu yerda n_{kun} - bir yildagi yashinli kunlar soni.

Liniya yashining razryadlanishi har xil intensivlikka ega bo'lishi mumkin. U birinchi navbatda yashin tokining amplitudasi va uning vaqt bo'yicha o'sishi (qiyalik koeffitsienti - α) bilan aniqlanadi. Shu sababli, liniya izolyatsiyasiga ta'sir etayotgan kuchlanish yashin razryadining ikkita parametriga – yashin tokining amplitudasi (I_{ya}) va tok impulsining qiyalik koeffitsienti (α) ga bog'liq. Bu ikki parametrlarning ma'lum munosabatida izolyatsiyaga ta'sir etayotgan kuchlanish liniyaning impuls mustahkamligidan oshib ketib, uning qoplanishiga olib keladi. Biroq har qanday razryad ham izolyatsiyaning qoplanishiga olib kelavermaydi. Shunda liniya izolyatsiyasining qoplanish ehtimolini $\mathcal{Q}_{qop}$ belgilab, uni hisobga olganimizda qoplanishlar soni quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$N_{qop} = 0,9hLn_{kun}\mathcal{Q}_{qop} \cdot 10^{-3}. \quad (7.31b)$$

Liniya izolyatsiyasining qoplanishlari soni yashindan o'chirilishlar soniga teng bo'lmaydi. Buning sababi impuls qoplanish tezligi taxminan 100 mksek bo'lsa, rele himoyasining ishga tushish vaqti 0,1 sekdan kam bo'lmaydi. Shu sababli impuls qoplanish ishchi kuchlanish ta'sirida turg'un yoyga aylanmagan bo'lsa, u liniyaning yashindan uchirilishiga olib kelmaydi.

Impuls qoplanishning kuchli yoyga aylanishi ko'pgina faktorlarga, shu jumladan manbaning quvvatiga bog'liq. Ammo impuls razryadlanish kanalida ishchi kuchlanish tomonidan hosil qilinuvchi maydon kuchlanganligi qoplanish yo'nalishi bo'yicha kuchlanish gradientiga bog'liq (7.2- jadval).

η kattalik liniyaning barcha impuls qoplanishlarida yashindan o'chirilishiga olib keladiganlarining ulushini belgilaydi:

$$N_{o'chir} = 0,9h \cdot 10^{-3} Ln_{kun}\mathcal{Q}_{qop}\eta. \quad (7.32)$$

Yashin intensivligi har xil bo'lgan hududdagi har xil uzunlikdagi elektr uzatish liniyalarining yashinbardoshligini solishtirish uchun yashindan solishtirma o'chirilish deb nomlangan atama kiritamiz. U yashindan razryadlanish natijasida sodir bo'ladigan o'chirilishlar soni bo'lib, masalan, uzunligi 100 km va yashinli soatlar soni 20 ga teng bo'lgan liniyaning solishtirma o'chirilishlar soni quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$n = 1,8h\mathcal{Q}_{qop}\eta. \quad (7.33)$$

7.2- jadval. Impuls qoplanishning yashin ta'sirida o'chirilishlardagi ulushining ishchi elektr maydon kuchlanganligiga bog'liqligi.

$E_{ishchi} = \frac{U_{ishchi}}{l_{Qop}}, \text{ kV/sm}$	50	30	20	10
η (nisbiy birlikda)	0,6	0,45	0,25	0,1

(7.33) formuladan ko'rinadiki, liniyani yashindan muhofazalash darajasi prinsipial jihatdan qoplanish ehtimolligi g_{Qop} va η ning qiymatlari bilan belgilanadi. Izolyatsiyaning qoplanish ehtimolini kamaytirish uchun elektr uzatish liniyalari himoya trosarlari osiladi. HEUL uchun o'tkazgichlar va o'tkazgich bilan himoya trosi orasidagi havo oralig'i uchun o'rtacha elektr maydon kuchlanganligi $E_{o'r} = 500 - 700 \text{ kV/sm}$ deb qabul qilinadi.

Kuchlanishi 110 kV va undan yuqori bo'lgan HEULlari metal yoki temir-beton tayanchlarda bir ustunli, minorali qilib bajariladi. Ularning tan narxi arzon bo'lsada II shakldagi tayanchli liniyalarga nisbatan yashin ta'sirida shikastlanishga ko'proq uchraydi.

Yashinli soatlar 100 soatga teng bo'lgan hududdagi liniyaning har 100 km da o'chirilishlar soni quyidagicha aniqlanadi:

$$N_{O'chir} = 4h_{O'rta} P_{Qop} \eta. \quad (7.34)$$

Liniyaning yashin ta'sirida o'chirilishlar sonini ikkita yo'l bilan qoplanish ehtimolini va impuls qoplanishning turg'un yoyga aylanish ehtimolini kamaytirish orqali kamaytirish mumkin. Birinchi usul himoya troslarini osish va tayanchni kichik qarshilikli impuls zaminlashni hosil qilish orqali amalga oshiriladi. Bu bir tomondan faza o'tkazgichlariga yashinning bevosita urilish ehtimolini kamaytirs, ikkinchi tomondan yashinning trosga yoki tayanchga urilishida impuls shikastlanishlar sonini kamaytiradi.

Elektr energiya bilan ishonchli ta'minlash shartidan HEULning bir yilda ruxsat etiladigan o'chirilishlar soni ushbu formula bo'yicha topiladi:

$$n_{rux o'chir} = \frac{N_{rux}}{1 - \beta_{AQU}}, \quad (7.35)$$

bu yerda N_{rux} - bir yil davomida elektr ta'minotidagi uzilishlar soni bo'lib, rezervlash mavjud bo'lganda $N_{rux} \leq 0,1$ va mavjud bo'lmaganda $N_{rux} > 1,0$; β_{AQU} -110 kV va undan yuqori kuchlanishli metall va temir-

beton tayanchlarda bajarilgan HEUL uchun avtomatik qayta ulash (AQU) muvaffaqiyatli bo'lsa, 0,8-0,9 ga teng deb olinuvchi koeffitsient.

Shuni ta'kidlash joizki, AQUning tez-tez qo'llanishi o'chirgichlarni ekspluatatsiya qilishni biroz murakkablashtiradi, ya'ni navbatsiz rezervlashni talab etadi. Shuning uchun o'chirgichlar rusumi va tipiga qarab $n_{\text{ov'chir}} = 1 \div 4$ oralig'ida qabul qilinadi.

O'tkazgichlari gorizontall joylashgan liniyalarda yashinning razryadlanishi doimo chetdagi o'tkazgichda, o'tkazgichlari vertikal joylashgan liniyalarda esa yuqoridagi o'tkazgichda yuz beradi. Shikastlangan o'tkazgichda qoplanish sodir bo'lgandan so'ng tokning yo'liga o'tkazgichning to'lqin qarshiligi $\frac{Z_{ovr}}{2}$ o'rniga undan ancha kam bo'lgan – tayanchning zaminlash qarshiligi ulanadi. Agar yashinning razryadlanishi tayanchdan uncha uzoq bo'lmagan masofada sodir bo'lsa, zaminlagich orqali yashinning to'la toki oqib o'tadi va tayanchda $I_{ya}R_{iz}$ ga teng bo'lgan potensial paydo bo'ladi. Qo'shni fazadagi o'tkazgichda esa $kI_{ya}R_{iz}$ ga teng potensial induksiyalanadi.

Agar

$$I_{kr} \geq \frac{2U_{50\%}}{R_{iz}(1-K)}$$

bo'lsa, ikkinchi o'tkazgichning qoplanishi sodir bo'ladi.

Bu ifodadan ko'rinadiki, R_{iz} qancha kichik bo'lsa, izolyatsiyaning qoplanish ehtimoli P_{qop} shuncha kichik bo'ladi. Shuning uchun metal tayanchlarda bajarilgan kuchlanishi 35 kV bo'lgan liniyalar uchun qo'shimcha zaminlagich qo'llash tavsiya qilinadi.

Himoya trosi bo'lmagan liniyalarda yashining bevosita o'tkazgichga urilishidan paydo bo'ladigan o'takuchlanish elektr va magnit tashkil etuvchilardan iborat:

$$U = U_{t.e} + U_{t.m} \quad (7.36)$$

Induksiyalangan kuchlanishning elektr tashkil etuvchisini qiymati lider kanalidagi zaryadning zichligi σ , o'tkazgichning o'rta osilish balandligi h_{ovr} va yashin tokiga to'g'ri proporsional, o'tkazgichdan yashin urilgan joygacha bo'lgan masofa qarshiligiga teskari proporsional bo'ladi:

$$U_{t.e} = K_e \frac{h_{ovr}}{h} I_{ra} \quad (7.37)$$

bu yerda K_E — bosh razryadning o‘shish tezligining oshishida kamayadigan proporsionallik koeffitsienti.

Bosh razryad magnit maydonining o‘zgarishi induksiyalangan o‘takuchlanishning «tayanch izolyatorlar shodasi – o‘tkazgich» bo‘ylab yo‘nalgan magnit tashkil etuvchisining paydo bo‘lishiga olib keladi:

$$U_{IE} = K_M \frac{h_{or}}{b} I_{ya} . \quad (7.38a)$$

Hisoblash ishlarini bajarishda induksiyalangan kuchlanishni e‘tiborga olmaganimizda formula quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$U_{IE} = K_0 \frac{60h_{or}}{b} I_{ya} , \quad (7.38b)$$

bu yerda K_0 teskari razryadlanishning tezligiga bog‘liq bo‘lgan proporsionallik koeffitsienti.

Himoya trosi bilan jihozlangan HEULni yashin ta’sirida o‘chirilishi quyidagi sabablarga ko‘ra sodir bo‘lishi mumkin:

1) Yashining tayachlar oralig‘ining o‘rtasida trosga urilishi va tros – o‘tkazgich havo oralig‘ining qoplanishi;

2) Yashinning trosli yashin qaytargich himoya zonasini teshib o‘tib o‘tkazgichga urilishi;

3) Yashinning tayanchga urilishida tayanch–o‘tkazgich havo oralig‘ining teskari qoplanishi.

Yashinning himoya qurilmasiga razryadlanishida liniya izolyatsiyasining qoplanishi faqat yashinning razryadlanishi o‘ta intensiv bo‘lgan holatdagina sodir bo‘ladi. Bunday intensivlikning paydo bo‘lish ehtimoli juda past, oqibatda yil davomida izolyatsiyaning qoplanishlar soni juda kam bo‘ladi. Impuls qoplanishning kuchli yoyga aylanish ehtimolini kamaytirish qoplanish yo‘lini uzaytirish orqali amalga oshiriladi.

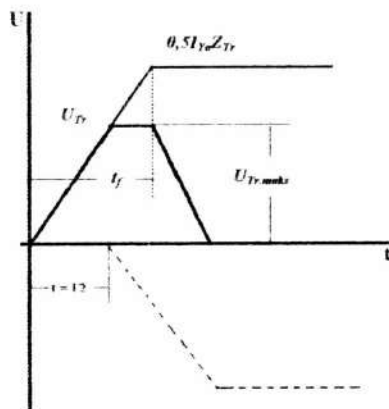
Yashin ikki tayanch oralig‘ining o‘rtasida himoya trosiga urilgan holatni ko‘rib o‘tamiz. Agar tros tayanchda yaxshi zaminlangan, ya’ni $R_{iz} \ll Z_{tr}$ (Z_{tr} -trosning to‘lqin qarshiligi) bo‘lsa, va hisoblash uchun yashin toki impulsini o‘tkir burchakli deb qabul qilganimizda yashin urilgan joydagi kuchlanish impulsini 7.10- rasmdagi ko‘rinishda qurishimiz mumkin.

Qo‘shni tayanchning zaminlash qarshiligidan qaytgan impuls yetib kelguncha trosdagi kuchlanish quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$U_{tr}(t) = i_{ra}(t) \frac{Z_{tr}}{2} = at \frac{Z_{tr}}{2} , \quad (7.39)$$

bu yerda l – tayanchlar oralig‘ining uzunligi. $\tau = 2\frac{l}{g} = \frac{l}{g}$ vaqt intervalidan keyin yashin urilgan joyga bir vaqtning o‘zida ikkita yaqin tayanchlarning zaminlash qarshiligida ishorasini o‘zgartirgan kuchlanish impulsi yetib keladi va kuchlanishning o‘ssishi to‘xtaydi. Yuqoridagi formulaga $t = \tau = \frac{l}{g}$ ni qo‘yib, trosdagi maksimal kuchlanishni hosil qilamiz. Bu kuchlanish yashin tokining amplitudasiga emas, balki tok impulsining qiyalanish koeffitsientiga bog‘liq:

$$U_{Tr, max} = al \frac{Z_{Tr}}{2} . \quad (7.40)$$



7.10- rasm. Tayanchlar oralig‘ining o‘rtasida trosga yashin urilgandagi kuchlanish impulsi.

O‘tkazgichda induksiyalangan kuchlanishni hisobga olganimizda tros bilan o‘tkazgich orasidagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{Tr, max} = (1 - K)al \frac{Z_{Tr}}{2} . \quad (7.41)$$

(7.41) tenglama tayanchlar oralig‘ining xarakteristikasi bilan yashin toki impulsining qiyalanish koeffitsientini o‘zaro bog‘laydi. Tayanchlar oralig‘ining xarakteristikasini bilgan holda formula (7.41) bo‘yicha tros bilan o‘tkazgich oralig‘ining teshilishi mumkin bo‘lgan yashin toki impulsining qiyalanish koeffitsienti a ni aniqlashimiz mumkin. Yoki oraliqning teshilish ehtimolini o‘zgartirib borib, ya‘ni a ning ayrim qiymatlarini berib borib, tros–o‘tkazgich oralig‘ining talab

etiladigan elektr mustahkamligini va ular orasidagi kerakli masofani aniqlaymiz.

Yashinning tayanchga yaqin joyda trosga va tayanchning o'ziga urilish ehtimolini $\frac{4h_{\text{tayanch}}}{l}$ bo'yicha baholashimiz mumkin. Bu yerda h_{tayanch} - tayanchning balandligi; l - tayanchlar oralig'ining uzunligi. U vaqtda yashinning tayanchga urilish ehtimoli quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$n_i = n_{\text{urilish}} \frac{4h_T}{l}, \quad (7.42)$$

bu yerda n_{urilish} - liniyaga uriluvchi yashinlar soni.

Izolyatsiyadagi kuchlanish uning impuls razryadlanish kuchlanishiga tenglashsa yoki undan oshsa, liniya izolyatsiyasining tayanchdan faza o'tkazgichlariga teskari qoplanishi kuzatilishi ro'y beradi.

Yashinning himoya trosini yorib o'tib, liniya izolyatsiyasini shikastlantirish ehtimoli quyidagi formuladan foydalanib topiladi:

$$\lg P_a = \frac{\alpha \sqrt{h_T}}{90} - 4, \quad (7.43)$$

bu yerda h_T - tayanchning balandligi, m; α - trosning ekranlash ta'sirini xarakterlovchi – vertikal va trosni o'tkazgich bilan bog'lovchi to'g'ri chiziqlar orasidagi burchak.

Nazorat savollari

1. Havo liniyalarini yashinning urilishidan himoyalash qanday amalga oshiriladi?
2. Yashinning urilishidan himoyalash qanday liniyalarda amalga oshiriladi?
3. Yashinning bevosita urilishidan himoyalovchi troslar soni nimalarga bog'liq holda aniqlanadi?
4. Havo liyalarida yashinning ta'siridan razryadlanishlar soni nimalarga bog'liq? U qanday aniqlanadi?
5. Havo liniyalarining yashining ta'sirida solishtirma o'chirilishlari soni qanday aniqlanadi?
6. Himoya trosi bo'lmagan liniya o'tkazgichiga yashin urilganda paydo bo'ladigan o'takuchlanish qanday aniqlanadi?
7. Himoya trosi bilan jihozlangan havo liniyalarining yashin ta'sirida o'chirilish sabablari nimalardan iborat bo'lishi mumkin?

8. Havo liniyalarida izolyatsiyaning tayanchdan o'tkazgichga tomon yo'nalishda teskari qoplanishi qanday holatlarda yuzaga kelishi mumkin?

7.6. Elektr sistemalarida ichki o'takuchlanishlar

Nominal kuchlanishning o'sishi, HEULning uzunligining oshishi, va shu bilan birga atmosfera o'takuchlanishini chegaralashda erishilgan yutuqlar shunga olib keldiki, hozirgi vaqtda elementlar izolyatsiyaning sathini o'rnatishda ichki o'takuchlanish katta rol o'ynaydi. Ichki o'takuchlanishni tekshirishni ikkita guruhga bo'lib o'rganamiz:

Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlari tebranuvchanlik xususiyatiga ega, chunki uning tarkibida jamlangan va tarqalgan sig'img'lar va induktivliklar mavjud. Normal rejimda aktiv quvvatni uzatishda bu xususiyat o'zini sezdirmaydi. Elektr tarmog'ining reaktiv elementlarida mujjasamlangan elektr va magnit energiyalari tebranishning asosiy sabablaridan biri hisoblanadi. Kommutatsiya izolyatsiyaning qoplanishiga olib keladigan o'takuchlanish bilan tugallanadigan o'tkinchi jarayonga olib kelishi mumkin. Bunday kommutatsiyalarga birinchi navbatda yuklanmagan liniyani o'chirishda o'chirgichda yoyning takroriy yonishi, generatorlarning asinxron yurishida liniyani o'chirish, avtomatik qayta ulash (AQU) va boshqalar kiradi.

Kommutatsiya paytida sodir bo'ladigan o'takuchlanishni – kommutatsiya o'takuchlanishi deb nomlash qabul qilingan.

Kommutatsiya o'takuchlanishi kommutatsiya paytida kechadigan o'tkinchi jarayonlar bilan bog'langan. Uning maksimal qiyosati ko'pgina faktorlarga, jumladan, ular orasida elektr tarmog'ining sxemasi va o'chirgichlarning xarakteristikalariga bog'liq. Demak, sistemada o'chirgichlarning, qisqa tutashtirgichlarning, saqlagichlarning (barcha kommutatsiya apparatlarining) ishlashida, hamda yoyli qisqa tutashuv paytida paydo bo'ladigan o'takuchlanish tushuniladi. O'takuchlanish kommutatsiya paytida kommutatsiya apparatlarining ishlashi natijasida paydo bo'ladigan o'takuchlanishdan tashqari, izolyatsiyaning qoplanishida kechadigan o'tkinchi jarayonlarda ham kuzatilishi mumkin. Masalan, liniyaga yashinning urilishidan, neytrali zaminlangan yoki rezonans – kompensatsiyalangan liniyada bir fazali qisqa tutashuv sodir bo'lgan joydagi yoyning noturg'un yonishida (yoyning ketma-ket

yonishi va so'nishi ma'lum ma'noda kommutatsiyani bildiradi) kuzatiladi.

Kommutatsiya o'takuchlanishini quyidagi guruhlariga bo'lish qabul qilingan:

1) Yuklanmagan uzun HEULni, sig'im xarakteridagi yuklamalarni va kondensatorlar batareyasini o'chirishda kuzatiladigan o'takuchlanish;

2) Uzun liniyalarni ulashda va avtomatik qayta ulagich qo'llanilganda paydo bo'ladigan o'takuchlanish;

3) Kichik induktiv tokli elementlarni o'chirishda, masalan, yuklanmagan transformatorlarni, asinxron dvigatellarni va reaktorlarni o'chirishda kuzatiladigan o'takuchlanish. U sistema rejimining simmetrik va nosimmetrik rejimida va nosimmetrik qisqa tutashuvlarda ham uchraydi;

4) Neytrali izolyatsiyalangan va zaminlangan elektr tarmoqlarida yerga yoyli qisqa tutashuvda va yoyning noturg'un xarakterida rivojlanadigan o'takuchlanish.

Keltirilgan sinflash shartli hisoblanadi. Ayrim holatlarda real elektr sistemasida bir vaqtning o'zida har xil guruhlariga mansub bo'lgan o'takuchlanishlar paydo bo'ladi. Masalan, rezonansli o'takuchlanish ustiga o'tkinchi jarayonlar bilan bog'liq bo'lgan o'takuchlanishning qo'yilishi natijasida amplitudasi ancha katta bo'lgan o'takuchlanish kuzatilishi mumkin.

Ko'pchilik o'takuchlanish turlari tarmoqning nominal kuchlanishiga nisbatan ma'lum aniq karalikka ega. Elektr sistemalarida ayrim hollarda yuklamani tashlash, qo'zg'atishni jadallashtirish va generatorlarni tezlashishi bilan bog'liq bo'lgan qisqa muddatli o'takuchlanishlar ham kuzatiladi.

Kommutatsiya o'takuchlanishini quyidagi turlarga bo'lish mumkin:

1) tok o'tkazuvchi qismlarning yerga nisbatan izolyatsiyasiga ta'sir etuvchi fazaviy o'takuchlanish;

2) har xil faza o'tkazgichlari orasidagi izolyatsiyaga ta'sir etuvchi fazalararo o'takuchlanish;

3) o'chirgich va ajratgichning ochiq kontaktlari orasidagi kontaktlararo o'takuchlanish.

Izolyatsiya konstruksiyalarini loyihalashda o'takuchlanish bo'yicha quyidagi berilgan qiymatlar qo'llaniladi:

1) o'takuchlanishning maksimal qiymati U_{max} yoki uning karrasi $K = \frac{U_{max}}{U_{eng\ katta\ ish\ kuch}}$, ya'ni o'takuchlanishning maksimal qiymatining eng

katta ruxsat etiladigan ishchi kuchlanishga bo'lgan nisbati;

2) Izolyatsiyaga ta'sir etayotgan o'takuchlanishning ta'sir etish vaqtini aniqlashga imkon beradigan o'takuchlanish shakli;

3) ma'lum ko'rinishdagi o'takuchlanish ta'sirida bo'ladigan elektr tarmog'i qurilmalarining tarkibi.

Yuqorida sanab o'tilgan xarakteristika katta statik tarqoqlikka ega, chunki ularning qiymatlari ko'pgina faktorlarga bog'liq. Shu bilan birga tasodifiy xarakterda ta'sir etadi. Shuning uchun izolyatsiyaning kerakli sathini hisoblashda shunga amin bo'lamizki, ma'lum vaqt intervali berilgan o'takuchlanish karrasidan ancha yuqori bo'lgan o'takuchlanishlarga duch kelamiz.

O'takuchlanishlarning ko'pchilik turlarini chegaralash talab etiladi. O'takuchlanishdan himoya qilishni texnik-iqtisodiy asoslash tarkibiga elektr qurilmalarning shikastlanishidan, elektr tarmoq qurilmalarining salt ishlashi va navbatsiz ta'mirlashdan kutiladigan statik zarar ham kiritiladi. Yana bunga elektr qurilmalarining buzilishi yoki ishlash rejimining buzilishidan paydo bo'ladigan mahsulotning sifatsizligidan, iste'molchilarning, texnologik jarayonning buzilishidan keladigan zararlarni ham kiradi.

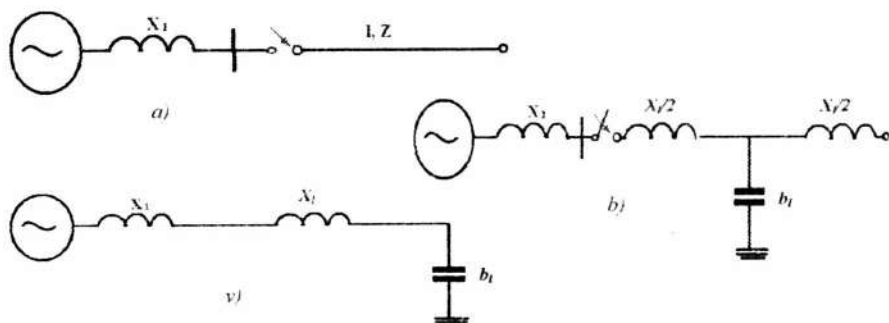
Liniyani ulashda kuzatiladigan o'takuchlanishni o'rganishning eng oddiy sxemasi 7.11,a- rasmda keltirilgan. Bu sxemada uzunligi l , to'liq qarshiligi Z bo'lgan liniya oldindan ulangan X_1 reaktiv qarshilik orqali sinusoidal qonuniyat bilan o'zgaruvchi kuchlanish manbaiqa ulanadi.

Qisqa liniyalar uchun uning T yoki Π shakldagi almashtirish sxemasidan (7.11,b- rasm) foydalanish mumkin. Liniya qanday almashtirish sxemasi bilan tasvirlanmasin uni doimo tebranish konturi ko'rinishida ifodalashimiz mumkin (7.11,v- rasm). 7.11,b- rasmdagi

sxema uchun $X = X_1 + \frac{X_1}{2}$; $b = b_1$. Yulduzcha ulangan sxemani uchburchak ko'rinishga keltirsak, quyidagini hosil qilamiz:

$$b = \frac{b_1}{2} \left[1 + \left(\frac{X_1}{X_1} - X_1 b_1 \right)^{-1} \right]. \quad (7.44)$$

Bu o'zgartirish manbaning chastotasida bo'lganligi tufayli o'tkinchi jarayonni taxminan ifodalaydi. Kuchlanish o'zining maksimal qiymatiga liniyaning oxirida erishadi.



7.11- rasml. Liniyani ulashda yuzaga keluvchi o'takuchlanishni hisoblash uchun sxema. a – boshlang'ich sxema; b – T- shakldagi almashtirish sxemasi; v – hisobiy tebranuvchan kontur.

Salt ishlayotgan liniyaning har bir ulanish kuchlanishi amplitudasi va o'takuchlanish karrasi uncha katta bo'lmagan o'takuchlanishga olib keladi. Bunday turdagi o'takuchlanishni o'rganish sistema tarkibiga izolyatsiya sathi pasaytirilgan yuqori va o'ta yuqori kuchlanishlarning kiritilishi bilan belgilanadi.

Salt ishlayotgan liniyani va sig'imni o'chirishda kechadigan jarayon ko'p jihatdan yerga yoyli qisqa tutashuvga o'xshashdir. Chunki, ikkala holda ham ular yoyning takroran yonishida o'chirilayotgan sig'imda asta-sekin zaryadning jamlanishi bilan xarakterlanadi. Bu yerda yoy o'chirgich bilan o'chirilayotgan liniyaning kontaktlari orasida yonadi.

Faraz qilaylik, yoyning birinchi uzilishi manba kuchlanishining $u = -U_f$ ga teng paytida sodir bo'ldi. Bundan keyin liniyada kuchlanish o'zgarmay qoladi, manbaning kuchlanishi esa sinusoidal o'zgarishda davom etdi. Yarim davrdan so'ng manbaining kuchlanishi $u = +U_f$ ga tenglashdi va o'chirgich kontaktlari orasidagi kuchlanish $2U_f$ ga yetishadi. O'tgan yarim davrda o'chirgich kontaktlari orasidagi elektrik mustahkamlik ancha o'sgan bo'lsada uning teshilishi va yoyning takroran yonishi bartaraf etilmagan. Yarim davr ichida havoli

o'chirgichning o'chirilayotgan kontaktlari orasidagi oraliqning elektrik mustahkamligi $2U_f$ dan katta bo'lmagan qiymatgacha o'sadi, moyli o'chirgichlarda esa U_f dan katta bo'lmaydi.

Agar yoyning takroran yonishi manba kuchlanishining musbat maksimumida sodir bo'lsa, liniya $-U_f$ dan $+U_f$ gacha qaytadan zaryadlanishga intiladi. Shu sababli liniya bo'ylab $+2U_f$ kuchlanish to'liqini tarqaladi va liniyada $i = \frac{2U_f}{Z}$ tok oqib o'tadi.

Bu kuchlanish to'liqinining liniya bo'ylab tarqalishida kuchlanishning taqsimlanishi 7.12- rasmda keltirilgan. Kuchlanish to'liqini liniyaning ochiq uchigacha yetib kelib ishorasini o'zgartirmasdan qaytadi. Demak, liniyada $4U_f - U_f = 3U_f$ kuchlanish o'rnatiladi. Tok to'liqini esa teskari ishora bilan qaytadi, liniyaning barcha uzunligi bo'ylab qaytgan tok impulsining amplitudasi nolga tenglashadi va yoy so'nadi.

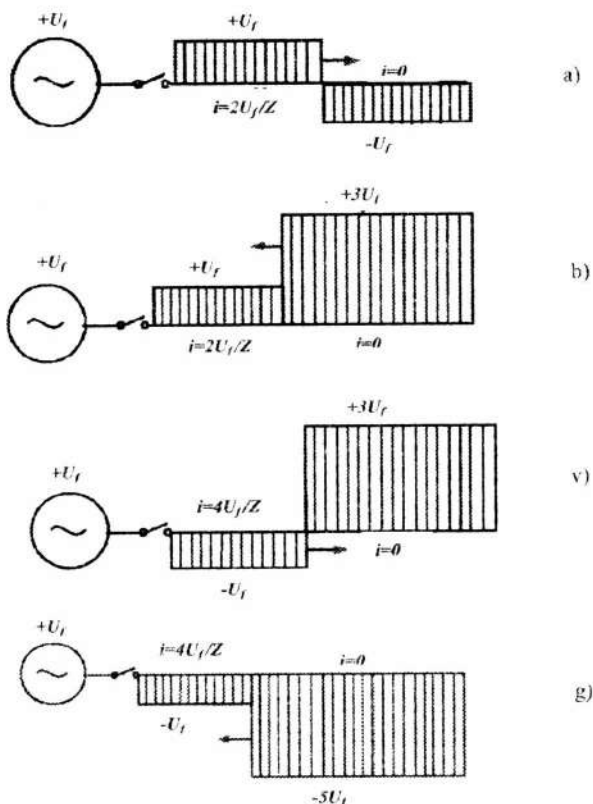
Yoy so'nganidan so'ng liniyadagi kuchlanish o'zgarmas va $+3U_f$ ga teng, manbaning kuchlanishi esa sinusoidal o'zgarishda davom etadi. Shu sababli yoy so'ngandan so'ng o'chirgich kontaktlari orasidagi kuchlanish yarim davr ichida $2U_f$ dan $4U_f$ gacha o'sib boradi. Bunda manbaning kuchlanishi o'zining ishorasini o'zgartiradi va $-U_f$ ga teng bo'ladi.

Agar shu lahzada yoy ikkinchi bor qayta yonadi deb faraz qilsak, u holda liniya $+3U_f$ kuchlanishdan manbaining kuchlanishi $-U_f$ gacha qayta zaryadlanadi deb qabul qilamiz. Liniyada amplitudasi $-4U_f$ ga teng bo'lgan kuchlanish to'liqini paydo bo'ladi.

Kuchlanish to'liqinining liniyaning oxiridan qaytishida uning amplitudasi (7.12,g- rasm) $-5U_f$ gacha yetadi. Bu holatda yoyning o'chirgich orqali toki $\tau = \frac{2l}{g}$ vaqtdan keyin noldan o'tadi va yana uzilishi tufayli liniya $-5U_f$ gacha zaryadlanganicha qoladi.

Boshqa holatni ko'rib o'tamiz. Yoyning qayta yonishi shunday paytda sodir bo'lsinki, manbaning kuchlanishi $u = U_f$ ga teng, liniya esa oldindan $u = -U_0$ gacha zaryadlangan bo'lsin. Bu holatda liniyadagi o'tkinchi jarayon $U(t) = U_f \cos \omega t + U_0$ kuchlanish bilan aniqlanadi. Uning aksi esa operator ko'rinishida quyidagicha bo'ladi:

$$U(p) = \frac{U_0}{p} + U_\Phi \frac{p}{p^2 + \omega^2} = U_\Phi \frac{2p^2 + \omega^2}{p(p^2 + \omega^2)}. \quad (7.45)$$

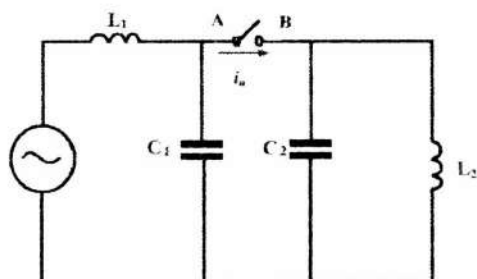


7.12- rasm. O'chirilayotgan liniya bo'ylab kuchlanishning har xil momentlar uchun taqsimlanishi. a – birinchi yoy yongandan so'ng uning liniya oxiridan qaytgunicha; b – to'liqinning liniya oxiridan qaytgandagisi; v - ikkinchi yoy yongandan so'ng uning liniya oxiridan qaytgunicha; g - to'liqinning liniya oxiridan qaytgandagisi hisoblanadi.

Induktiv elementni o'chirishda paydo bo'ladigan o'takuchlanishni o'rganish uchun 7.13-rasmda keltirilgan almashtirish sxemasidan foydalanamiz. Bu sxemada L_1 va C_1 - manbaning induktivligi va sig'imi; L_2 -ulanayotgan induktivlik (masalan transformatorning, salt ishlash rejimidagi induktivligi); C_2 - induktiv g'altakning xususiy sig'imi. Bu

sxemada kuzatiladigan o'takuchlanish ushbu to'rtta parametrdan tashqari o'chirgichda yoy tokining uzilishiga bog'liq.

Katta toklarda, masalan katta quvvatli induktiv yuklamani o'chirishda yoki qisqa tutashuvda zanjirni oxirigacha uzish tokning noldan o'tishida sodir bo'ladi. Shu sababli zarjirni uzish paytida L_2 induktivlikda magnit maydon energiyasi deyarli yo'q bo'lib, zanjirni o'chirish paytida o'chirgichda kuchlanishning sakrab o'zgarishi kuzatilmaydi.



7.13- rasm. Induktivlikni o'chirishda paydo bo'ladigan o'takuchlanishni tahlil qilish sxemasi.

holda yoyning qarshiligi sakrab o'sib ketishi natijasida yoyning toki keskin pasayadi. Natijada o'takuchlanishning asosiy sababchisi – yoy tokining kesilishi sodir bo'ladi. Tokning kesilishi mumkin bo'lgan oniy qiymati shu paytdagi yoyning ionlashish darajasiga va o'chirgichning yoy so'ndirish qobiliyatiga bog'liq. Zamonaviy o'chirgichlar yoyning takroran yonishinigina emas oraliqning qayta teshilishini ham bartaraf etadigan yoy so'ndiruvchi sistema bilan jihozlanadi. Shunday moslamalar bilan jihozlangan o'chirgichlar uchun salt ishlayotgan liniyani o'chirishda paydo bo'ladigan o'takuchlanish hech qanday xavf tug'dirmaydi. O'chirgich orqali o'tayotgan I_M tokning amplitudasiga bog'liq holda kesilish toki 7.14- rasmda keltirilgan ko'rinishda o'zgaradi. Juda kam toklarda kesilish toki I_{kes} o'chirgich orqali o'tayotgan tokning amplitudasi I_M ga proporsional o'sadi. $I_M = I_{ket}$ bo'lganda kesilish toki deyarli o'smaydi, kesilish lahzasi esa asta-sekin tokning noldan o'tishi tomon siljiydi. Keyinchalik esa kesilish toki yana kamaya boshlaydi, katta amplitudali o'zgaruvchan tokda yoy kanalining ionlashish darajasi o'sib ketadi, bu esa uning tezkor buzilishini

Kam toklarda esa (masalan salt ishlayotgan transformatorni o'chirishda) yoyning ionlashish darajasi deyarli ahamiyatga ega emas, o'chirgichda ishchi purkash ta'sirida tok o'zining nolinch qiymatidan o'tguncha yoy ustunining tezlik bilan buzilishi sodir bo'ladi. Bu

qiyinlashtiradi. Tokning ma'lum maksimal qiymatidan katta qiymatida uning kesilishi butunlay yo'qoladi.

Faraz qilaylik, 7.13- rasmdagi sxemada t_0 paytda tokning kesilishi sodir bo'lgan bo'lsin, uning oniy qiymati I_{kes} . Sxemadagi sig'implarning

toklarini e'tiborga olmasdan induktiv elementlarda $\frac{L_1 I_{kes}^2}{2}$ va

$\frac{L_2 I_{kes}^2}{2}$ magnit maydon energiyasi jamlangan bo'ladi. Agar tokning

kesilishi nisbatan kam toklarda amalga oshishini e'tiborga olsak, induktivlik L_1 doimo L_2 dan katta bo'ladi. Tok uzilgandan keyin ener-

giya $\frac{L_2 I_{kes}^2}{2}$ induktivlik va sig'imdan tashkil topgan L_2, C_2 konturida

yopilganicha qoladi. Bu esa konturda quyidagi formula bo'yicha ifodalanadigan kuchlanishning tebranishini paydo bo'lishiga olib keladi (so'nish hisobga olinmaganda):

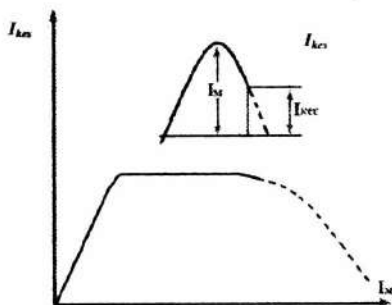
$$u_0 = U_0 \cos \omega_0 t + \omega_2 L_2 I_{kes} \sin \omega_2 t, \quad (7.46)$$

bu yerda $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$ - konturning xususiy tebranish chastotasi; U_0 -

sig'im C_2 dagi kuchlanish U_2 ning oniy qiymati.

(7.46) ifodaga mos ravishda uzilayotgan kondensatordagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{2maks} = \sqrt{U_0^2 + \omega_2^2 L_2^2 I_{kes}^2} = \sqrt{U_0^2 + \frac{L_2}{C_2} I_{kes}^2}. \quad (7.47)$$



Bu kuchlanishning maksimal qiymatida tebranish konturidagi tok noldan o'tadi va U_{2maks} quyidagi energiya balansi tenglamasidan osongina aniqlanadi:

$$\frac{U_0^2 C_2}{2} + \frac{I_{kes}^2 L_2}{2} = \frac{U_{2maks}^2 C_2}{2}, \quad (7.48)$$

bu yerda tenglamaning chap tomonidagi tashkil etuvchilar tokning kesilish paytida L_2 va C_2 da jamlangan to'la energiya. Kuchlanish maksimumga erishganda barcha energiya elektr

7.14- rasm. Kesilish tokining o'chirgich orqali o'tayotgan tokka bog'liqligining taxminiy xarakteri

energiyasiga aylanadi.

Faraz qilaylik, t_f lahzada A fazadagi kuchlanish o'zining manfiy maksimumidan o'tayotganida sistemada bir fazali yerga yoyli qisqa tutashuv sodir bo'ldi. Bunda shikastlanmagan B fazadagi va fazalararo kuchlanish $U_B = 0,5U_f$, $U_{AB} = 1,5U_f$ ga tenglashadi. O'tish jarayonini 2 ta qismga bo'lgan holda tahlil qilamiz. A fazasi yerga qisqa tutashgandan keyin o'zaro paralel ulangan shikastlanmagan B fazaning sig'imi va fazalararo sig'implarning zaryadlari tenglashishi natijasida ularda kuchlanish quyidagi qiymatga tenglashadi:

$$U_B = 0,5U_f + KU_f, \quad (7.49)$$

bu yerda $K = \frac{C_{AB}}{C + C_{AB}}$.

O'tish jarayonining ikkinchi qismida kuchlanish o'zining turg'unlashgan qiymati atrofida quyidagicha aniqlanuvchi U_{sch} amplituda bilan tebranadi:

$$U_{sch} = U_{AB} - U_{bosh} = (1 - K)5U_f \quad (7.50)$$

Tebranish chastotasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{3}{2}L(C + C_{AB})}. \quad (7.51)$$

Shikastlanmagan fazadagi kuchlanish o'tish jarayonida quyidagi qonuniyat bilan o'zgaradi:

$$U_B^{(i)} = U_A(t) - (1 - K)U_f e^{-\alpha t}. \quad (7.52)$$

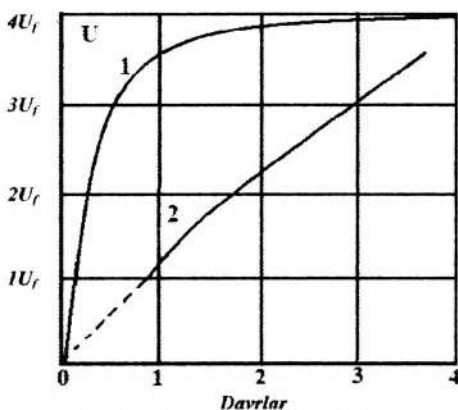
Bu kuchlanish o'zining maksimal qiymatiga erkin tebranishning yarim davrida erishadi.

Elektr sistemalarida yerga qisqa tutashuvlar ko'pincha izolatsiyaning atmosfera o'takuchlanishidan impuls qoplanishi natijasida bo'ladigan yoylar sababli sodir bo'ladi. Bunday holda sistemada kechayotgan o'tish jarayoni uzoq vaqtgacha davom etishi mumkin. Natijada yoyning bir necha marta takroriy so'nib yana yonishi sababli shikastlanmagan fazadagi kuchlanishning o'sishi davom etadi.

Havo elektr uzatish liniyasining boshlanish va oxirgi nuqtalaridagi kuchlanish alohida garmonikalarning amplitudasigagina bog'liq bo'lmasdan balki ularning chastotalari nisbatiga ham bog'liq. Nazariy jihatdan olinganda agar elektr uzatish liniyasidagi yoyning takroriy yonishi cheksiz davom etganda kuchlanish uzluksiz o'sib borar edi. Lekin amalda zamonaviy o'chirgichlarning kontaktlari orasining elektr mustahkamligini tiklanishi juda tez, shu sababdan salt ishlayotgan havo elektr uzatish liniyalarini uzishda ko'pincha yoyning qayta yonishi bir

martadan oshmaydi va natijada o'takuchlanish amplitudasi $3U_f$ dan katta bo'lmaydi. Agar havo elektr uzatish liniyasini cheksiz quvvatli manbadan uzsak, jarayon yuqorida qaralganidek bo'lsada, lekin havo elektr uzatish liniyasi bo'ylab yuguruvchi kuchlanish va tok to'lqini asta-sekin noldan maksimumgacha o'sib boradi.

O'chirgich kontaktlarining bir-biridan qochishi natijasida tok uzilgandan keyin kontaktlar orasidagi izolyatsiya oralig'ining elektr mustahkamligi asta-sekin tiklana boshlaydi (7.15- rasm). Havoli o'chirgichlar kontaktlarining qochishi moyli o'chirgichnikiga nisbatan intensivroq bo'lganligi sababli elektrik mustahkamlikning tiklanishi ham tezkor bo'ladi.



7.15- rasm. O'chirgichlarning kontaktlari orasidagi elektr mustahkamlikning o'sishi: 1- havoli o'chirgichlar uchun; 2- moyli o'chirgichlar uchun.

Yuqorida keltirilgan 7.11,b- rasmdagi sxemaga ko'ra o'chirgich salt ishlayotgan liniyani o'chirsin. O'chirgichda liniyani o'chirguncha u orqali sinusoidal tok oqayotgan bo'lsa, uni uzishda tok noldan o'tish paytida liniyaning kuchlanishi quyidagicha amplituda qiymatiga ega bo'ladi:

$$U_{nrg} = \frac{E}{1 - \frac{1}{\omega_0^2}}$$

Tok uzilgandan keyin liniyada uning sig'imidagi zaryad hosil qiladigan kuchlanish $U_0 = U_{nrg}$ saqlanadi. Bu kuchlanish o'chirgichning

chiziqli qutbga ta'sir ko'rsatadi. O'chirish paytida shina tomonidagi kuchlanish U_{urg} dan E gacha tushadi (liniyaning sig'im effekti yo'qoladi) va keyinchalik kuchlanish tarmoqning chastotasiga bog'liq ravishda o'zgaradi. O'chirgichning kontaktlarida tiklanayotgan kuchlanish quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradi:

$$U_v(\tau) = E \cos \tau - U_0.$$

Agar sig'im tokining o'chirilishidan keyin qandaydir ψ fazada yoy so'ndirish oralig'ida qaytadan teshilish ro'y bersa, unda boshlang'ich kuchlanishi U_0 liniyani qo'shishdagi kabi o'tkinchi jarayon boshlanadi. Sig'imdagi kuchlanish quyidagi formula bo'yicha o'zgaradi:

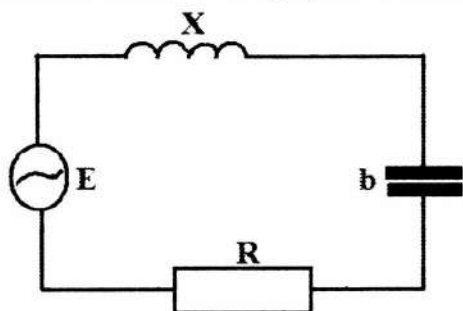
$$U_{o.t} = U_{urg} \{ (\cos(\tau + \psi) - [\cos \psi \cos \omega_0 \tau - \frac{1}{\omega_0} \sin \psi \sin \omega_0 \tau]) e^{\delta \tau} - U_0 \cos \omega_0 \tau e^{-\delta \tau} \} \quad (7.53)$$

O'tkinchi jarayon paytidagi maksimal kuchlanish ψ_{faza} ga, ya'ni teshilish lahzasiga bog'liq. Takroran teshilishning paydo bo'lish imkoniyati tiklanayotgan kuchlanish egri chizig'i bilan elektr mustahkamlikning tiklanish grafigi orasidagi munosabatga bog'liq.

Elektr sistemasi elektr va magnit maydoni energiyasini jamlaydigan elementlardan (masalan, transformatorlar induktivligi bilan liniyaning sig'imlaridan) tashkil topgan. Bu elementlarning kombinatsiyasidan sistemada ko'plab tebranish konturlari paydo bo'ladi va sistemada rezonans paydo bo'lish potentsiali oshadi. Elektr sistemasi normal rejimda ishlaganda bu tebranish konturlari yuklama bilan shuntlangan holatda bo'ladi. Shuning uchun bu konturda tebranishning rivojlanishi uchun energetik zahira mavjud bo'lmaydi. Lekin avariya holatlarida bu tebranish konturlarining ba'zi birlari yuklamadan uzilganligi tufayli ularda erkin tebranishning rivojlanishiga imkon tug'iladi.

Kommutatsiya o'takuchlanishini tekshirilayotgan sxemani R, X, C parametrlardan tashkil topgan oddiy tebranish konturi sifatida ifodalashimiz mumkin (7.16- rasm). Masalan, bunday konturni tashqi zanjirga ulash yoki o'chirishdagi kommutatsiya jarayoni, kommutatsiya fazasiga va boshlang'ich shartga, ya'ni sig'imdagi kuchlanish U_0 ga va induktivlikdagi tok I_0 ga bog'liq bo'lgan o'tkinchi jarayonga olib keladi. Sig'imni kuchlanishi U_0 ga, induktivlikni toki I_0 ga teng bo'lgan mustaqil manba deb qaralishi mumkin. Shuning uchun bu konturda

kechadigan o'tkinchi jarayonni har bir manba uchun alohida olib qarashimiz va ustma-ust qo'yish usulidan foydalanishimiz mumkin.



7.16- rasm. Tebranish konturining sxemasi.

Kuchlanishi $e = E \cos(\tau + \psi)$ qonuniyat bilan o'zgaruvchi manba ta'sirida kechadigan o'tkinchi jarayonni ko'rib chiqish uchun tebranish konturidagi sig'imga kuchlanishni ikkita – turg'unlashgan U_{tur} va o'tkinchi $U_{o'tk}$ tashkil etuvchilarning yig'indisidan iborat deb qarash mumkin.

Kuchlanish U_{tur} manba chastotasi bilan o'zgaruvchi garmonik funksiya bo'lsa, $U_{o'tk}$ esa xususiy tebranish chastotasi $\Omega_0 = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ va so'nish koefitsienti δ bo'lgan so'nuvchi kuchlanishdir.

Nazorat savollari

1. Elektr sistemalarida ichki o'takuchlanishlar deganda nimani tushunasiz? Ular nimaning ta'sirida yuzaga keladi?
2. Kommutatsiya o'takuchlanishini ta'riflang.
3. Kommutatsiya o'takuchlanishlari qanday turlarga bo'linadi?
4. Izolyatsiya konstruksiyalarini loyihalashda qanday meyoriy o'takuchlanish qiymatlaridan foydalaniladi?
5. Induktiv elementni o'chirishda paydo bo'luvchi o'takuchlanishni o'rganish uchun qanday almashtirish sxemasidan foydaanish mumkin? Bu sxemani tushuntiring.

7.7. Ichki o'takuchlanish va elektr qurilmalar tashqi izolyatsiyasini hisoblash asoslari

Zamonoviy yashindan himoyalash vositalari hozirgi kunda atmosfera o'takuchlanishining sathini shunchalik pasayishini ta'minlaydiki, natijada tashqi izolyatsiyani hisoblashda tez-tez hal etuvchi rolni ichki o'takuchlanishdan himoya sathi belgilaydi.

Juda yaxshi o'rganilgan ichki o'takuchlanish ko'rinishlari elektr uskunasi ishchi kuchlanishiga nisbatan ma'lum karraga ega bo'ladi va davlat standarti bilan belgilanadi. Eng katta chiziqli ishchi kuchlanishning ta'sir etuvchi qiymati quyidagicha qabul qilinadi: kuchlanishi 35 – 220 kV bo'lgan elektr uskunalar uchun nominal kuchlanishga nisbatan – 1,15 marta, kuchlanishi 330 kV bo'lgan uskunalar uchun – 1,1 marta, kuchlanishi 500–750 kV bo'lgan elektr uskunalar uchun – 1,05 marta katta.

Shunday qilib, normal sharoitlarda kuchlanishi 35 – 220 kV bo'lgan tarmoqlarda fazaning yerga nisbatan izolyatsiyasi uzoq vaqt davomida quyidagi ifoda bilan aniqlanadigan kuchlanish ta'sirida bo'ladi:

$$U_F = \frac{\sqrt{2} \cdot 1,15 \cdot U_H}{\sqrt{3}}. \quad (7.54)$$

Ichki o'takuchlanishning eng katta karrasini baholashda uning neytralini rejimiga qarab kuchlanishi 6 - 10 kV bo'lgan tarmoqlar uchun $K=4,5U_F$; 20 – 35 kV uchun $K=3,5U_F$; 110 – 220 kV uchun $K=3,0U_F$; 330 kV uchun $K = 2,7U_F$; 500 kV uchun $K = 2,5U_F$; 750 kV uchun $K = 2,1U_F$; 1150 kV uchun $K=1,8U_F$ deb olinadi. Chunki, o'takuchlanishning shu qiymatlari uchun podstansiya va liniyaning izolyatsiyasi hisoblanishi kerak.

Liniya izolyatsiyasi deyilganda izolyatorlar shodasi va o'tkazgich-tayanch havo oralig'ining izolyatsiyasi tushuniladi. O'tkazgich–o'tkazgich, o'tkazgich–himoya trosi va o'tkazgich–yer uchastkalarining izolyatsiyasi xodimlarning xavfsizligi va mexanik mustahkamlik hamda hududning klimatik shartlaridan kelib chiqib tanlanadi.

7.3- jadval. Izolyatorlar shodasining sanoat chastotasidagi elektr razryadlanish kuchlanishlari.

Izolyatorlar rusumi	Shodadagi izolyatorlar soni								
	1	2	3	5	6	7	12	13	14
Quruq razryadlanish kuchlanishi, kV									
II– 4,5	75	136	200	320	375	425	660	703	745
II– 6	82	157	236	375	440	493	750	795	840
Ho'l razryadlanish kuchlanishi, kV									
II– 4,5	40	78	115	168	200	250	430	460	495
II– 6	47	89	126	200	230	268	445	482	515
III– 4,5	40	86	108	170	200	230	392	425	445

Izolyatorlar shodasining yoki tayanch izolyatorlari tashqi izolyatsiyasining mustahkamligi ularning sanoat chastotasidagi quruq va ho'l razryadlanish kuchlanishlaridan, xuddi shunday standart sinash sharoitidagi 50% li impuls razryadlanish kuchlanishidan kelib chiqib aniqlanadi (7.3- jadval). 7.3- jadvalda osma izolyatorlar shodasining sanoat chastotasidagi elektr razryadlanish kuchlanishlari keltirilgan.

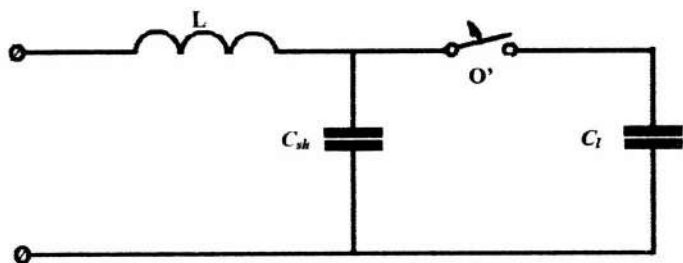
Izolyatorning yomg'irdagi elektr mustahkamligini imitatsiyalovchi ho'l razryadlanish kuchlanishi uning quruq razryadlanish kuchlanishiga nisbatan ancha past bo'lib, u izolyatorning ichki o'takuchlanishga bo'lgan elektr mustahkamligini hisoblashda belgilovchi kattalik hisoblanadi. Ayrim holatlarda taxminiy hisoblashlar uchun osma izolyatorlar shodasining uzunligi uchun elektr maydonining o'rtacha ho'l razryadlanish kuchlanganligi $E_{ov,HRK}$ dan foydalanishimiz mumkin. Uni 4–4,2 kV/sm chegarada qabul qilishimiz mumkin.

Apparat va liniya izolyatsiyasining uzoq ta'sir etuvchi ishchi kuchlanishga nisbatan mustahkamligini sirg'ish tokining solishtirma oqish uzunligi bo'yicha ham baholashda uni meyor uchun neytrali zaminlangan sistema uchun 1,3–1,5 kV/sm, neytrali izolyatsiyalangan sistema uchun esa 1,5–1,7 kV/sm oralig'ida qabul qilishimiz mumkin.

Ekspluatatsiya sharoitida izolyatsiyaning sirti bo'ylab qoplanishga bo'lgan elektr mustahkamligiga har xil tashqi faktorlar ta'sir ko'rsatadi: bosimning standart qiymatga nisbatan og'ishi, yomg'irning intensivligi, izolyator sirtining ifloslanishi, qisqa vaqtga ichki o'takuchlanishning ta'siri va boshqalar. Bu og'ishlar maxsus tuzatish koeffitsientini kiritish orqali hisobga olinadi. Hisoblash ishlarini bajarishda barcha mustahkamlikka bo'lgan tuzatish koeffitsientlarining ko'paytmasiga teng bo'lgan natijaviy tuzatish koeffitsienti hisobga olinadi. Ekspluatatsiya natijalari bo'yicha izolyatorlarning dengiz sathiga nisbatan joylashishiga qarab, 1000 m gacha balandlikda natijaviy tuzatish koeffitsienti $K_{ob} = 1,13$; 500 m gacha balandlikda esa $K_{ob} = 1,16$ qabul qilinadi.

Ma'lumki, yuklanmagan HEULsi orqali liniyaning uzunligiga, kuchlanishga va solishtirma sig'imiga bog'liq bo'lgan zaryad toki oqadi. HEULLarining solishtirma sig'imi 8–12 pF/m chegarasida olinadi. Bunda katta qiymat kuchlanishi past bo'lgan liniyalarga tegishlidir. Kabel liniyalari uchun solishtirma sig'im HEULLardagiga nisbatan taxminan 50 marta katta bo'ladi.

Yuklanmagan HEULsini o'chirish holati uchun almashtirish sxemasi 7.17- rasmda keltirilgan. Bu yerda, liniyaning taqsimlangan umumiy sig'imi jamlangan sig'im C_l ko'rinishida aks ettirilgan. Sig'im yuklamani (yuklanmagan liniyani) o'chirishda paydo bo'ladigan o'takuchlanishning sababi o'chirgich kontaktlari orasidagi yoyning qayta yonishiga olib keladigan liniyadagi qoldiq zaryad hisoblanadi.



7.17- rasm. Manbaning shinasidan yuklanmagan liniyani o'chirish holati uchun almashtirish sxemasi: C_l – liniyaning sig'imi; C_{sh} – manba shinasining sig'imi; O' – o'chirgich; L- manbaning induktivligi.

O'chirgich kontaktlaridagi yoy zaryad tokining nol qiymatidan o'tishida o'chadi. Bunda liniya qandaydir U_l kuchlanishgacha zaryadlangan bo'ladi. Yarim davrdan so'ng manba shinasidagi kuchlanish U_{sh} maksimumga erishgan lahzada uning qarama-qarshi fazasida yoyning takroriy yonishi kuzatiladi. Buning natijasida C_l va C_{sh} sig'imlarning o'zaro parallel ulangan va umumiy kuchlanish o'rnatilgan sxema hosil bo'ladi.

$$C_{yonish} = \frac{U_l C_l + U_{sh} C_{sh}}{U_l + U_{sh}}. \quad (7.55)$$

Liniyada yoki manba shinasida paydo bo'ladigan o'takuchlanish sathi o'chirilayotgan liniyaning C_l va manba shinasining sig'imi C_{sh} larning munosabatiga bog'liq bo'lib, uning amplitudasini tebranish chastotasi ω_0 quyidagicha aniqlanadi:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L(C_l + C_{sh})}}.$$

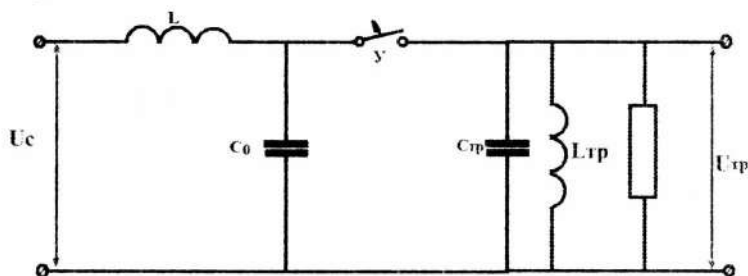
Har qanday lahza uchun liniyadagi kuchlanish qiymati quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$U_l = U_{sh}(U_{sh} - U_{yon})\text{Cos}\alpha e^{-\alpha t}. \quad (7.56)$$

Bu yerda δ - soʻnish koeffitsienti; U_{yom} - C_l va C_{sh} sigʻimlarning qaytadan taqsimlangan zaryadlanishi natijasida oʻrnatiladigan kuchlanish.

Transformator salt ishlash rejimining toki, dvigatel yoki reaktorni oʻchirish sistema tomonidan induktiv yuklamani oʻchirish deb qabul qilinib, yuklama tomonida oʻtakuchlanishning paydo boʻlishiga olib keladi. Bu oʻtakuchlanishlarning sababi oʻchirgich tokning tabiiy noldan oʻtishidan oldin uzishi yoki qirqishi hisoblanadi.

Bu operatsiya natijasida ajralayotgan magnit maydon energiyasi elektr energiyasiga aylanib, u yuklama tomonidagi sigʻimni qoʻshimcha zaryadlaydi.



7.18- rasm. Yuklanmagan transformatorni oʻchirish paytida paydo boʻladigan oʻtakuchlanishni hisoblash uchun almashtirish sxemasi.

Oʻtakuchlanish hosil boʻlish jarayonini 7.18- rasmda keltirilgan sxema boʻyicha tushintirish mumkin. Bu sxemada transformatorning tarqalgan parametri jamlangan parametri bilan almashtirilgan. Transformator X_{sist} reaktiv qarshiliq orqali kuchlanishi U_c boʻlgan tarmoqqa ulangan.

Oʻchirgich tomonidan tokni kesish koʻpincha egri chiziqning pasayish tomonida tokning nominal qiymatiga yaqin boʻlgan qiymatida sodir boʻladi. Tokni uzish lahzasida transformatorning salt ishlashida induktivlikda yigʻilgan magnit maydon energiyasi quyidagiga teng boʻladi:

$$\frac{L_{TP} i_{SI}^2}{2} = \frac{L_{TP} i_{kes}^2}{2},$$

Transformator va uning shinasini sigʻimida jamlangan elektr maydon energiyasi:

$$\frac{C_{TP} U_{kes}^2}{2}.$$

Zanjirda paydo bo'ladigan o'tkinchi jarayon natijasida ma'lum bir paytda barcha energiya sig'imda jamlanadi:

$$\frac{L_{TP} i_{kes}^2}{2} + \frac{C_{TP} U_{kes}^2}{2} = \frac{C_{TP} U_{TP}^2}{2}.$$

Bundan paydo bo'ladigan maksimal o'takuchlanishni quyidagicha topamiz:

$$U_{TP} = \sqrt{i_{kes}^2 \frac{L_{TP}}{C_{TP}} + U_{kes}^2}. \quad (7.57)$$

Bu ifoda o'takuchlanishning sathi taxminan kesilish tokiga to'g'ri proporsional ekanligini ko'rsatadi. Transformatorning pasportida keltirilgan parametrlarning qiymatidan foydalanib, uning salt ishlash toki i_{sj} , transformator va shinaning kirishidagi sig'implar C_{TP} va C_{sh} ni, kutiladigan o'takuchlanishni baholash mumkin.

Ekspluatatsiya tajribasi ko'rsatadiki transformatorni o'chirishning taxminan 8 – 10 % holatida paydo bo'ladigan o'takuchlanish qiymati $3U_f$ ga va kam holatlarda $5U_f$ ga teng bo'ladi. Transformatorning neytrali zaminlanganda paydo bo'ladigan o'takuchlanish qiymati nisbatan pasayadi.

Olib borilgan eksperimental tekshirishlar ko'rsatadiki, salt ishlayotgan transformatorni o'chirishda tokning kesilish jarayonida yoyning takroriy yonishi va sig'imni man'baga razryadlanishi kuzatiladi. Bu effekt o'takuchlanishini o'z-o'zidan chegaralash real ekspluatatsiya sharoitida uchraydi. Shuning uchun yuqori kuchlanishga mo'ljallangan transformatorlarni past kuchlanishdagi tarmoqlarda qo'llash tavsiya etilmaydi.

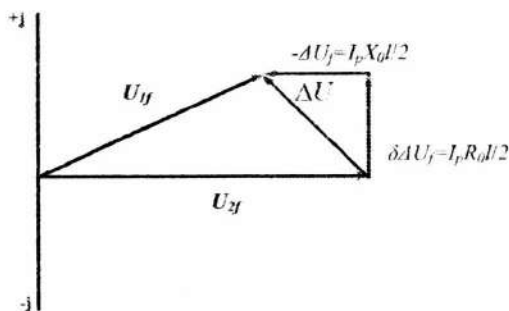
Yuklanmagan uzun liniyani ulashda uning oxirida sig'im effekti hisobiga kuchlanishning ko'tarilishi (7.19- rasm) yoki manfiy kuchlanish isrofi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$-\Delta U = I_C X_0 \frac{1}{2} \cdot 10^{-3}. \quad (7.58)$$

Sig'im tokning qiymatini quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$I_C = \frac{U}{\sqrt{3}} \omega C_0 \frac{l}{2} 10^{-12}, \quad (7.59)$$

bu yerda C_0 – liniyaning solishtirma sig'imi bo'lib, u 8 – 12 pF/m ga teng.



7.19- rasm. Liniyaning salt ishlash rejimidagi kuchlanishning vektor diagrammasi.

Kuchlanishi 110 kV liniya uchun sig'im tokining qiymati taxminan 0,15–0,2 A/km. Sig'im tokining ta'sirida kuchlanishning oshishini **turg'unlashgan kuchlanish koeffitsienti** K_1 orqali hisobga olish mumkin. Bu koeffitsientning qiymati 1,0 – 1,05 chegarasida yotadi. To'liq jarayonida kuchlanish to'liqlining qaytishi hisobiga u ko'payadi. Agar zarbaviy koeffitsient K_2 orqali hisobga olsak, u odatda 1,75 – 2 ga teng bo'ladi. Shunday qilib, sig'im toki ta'sirida oshgan kuchlanishning qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$U_{o'takuch} = U_1 K_1 K_2.$$

Hozirgi vaqtda uzun liniyalarda o'takuchlanish sathini pasaytirish shuntlovchi reaktorlar yordamida amalga oshiriladi.

Nazorat savollari

1. Turli nominal kuchlanishli tarmoqlarda ichki o'takuchlanishning karrasi qanday baholanadi?
2. Liniya o'tkazgichlari va ular bilan yer orasidagi izolyatsiyaning sathi nimalarga bog'liq holda tanlanadi?
3. Liniyaning ho'l va quruq razryadlanish kuchlanishlarining qaysi biri katta? Buning sababini tushuntiring.
4. Havo liniyasi izolyatsiyasining mustahkaligi nimalarga bog'liq?
5. Havo liniyasining o'chirish holati uchun almashtirish sxemasini tushuntiring.

6. Yuklanmagan transformatorni o'chirish paytida paydo bo'luvchi o'takuchlanishni hisoblash uchun almashtirish sxemasini chizing va uni tushuntiring.

7. Transformatorni o'chirish paytida paydo bo'luvchi o'takuchlanishlar qanday qiymat oralig'ida bo'ladi?

8. Turg'unlashgan kuchlanish koeffitsienti nima va u qanday aniqlanadi?

7.8. Elektr sistemalarida rezonansli o'takuchlanishlar

Elektr sistemasida paydo bo'ladigan o'takuchlanishlar nominal ishchi kuchlanishga nisbatan bir necha marta ortiq bo'ladi. Qisqa muddatga kuchlanishning oshishiga sabab yuklamaning tashlanishi, qo'zg'atishni jadallashtirish, generatorni tezlatish va elektr uzatish liniyasining sig'im effekti bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Masalan, yuklamani tashlashda o'takuchlanish bilan kuchlanishning oshishi orasida aniq bo'linish chegarasi mavjud emas. Sifat jihatidan kuchlanishning oshishi deyilganda elektr qurilmalar izolyatsiyasiga xavf soladigan kuchlanishlar tushuniladi. Kuchlanishning oshishi kommutatsiya o'takuchlanishini chegaralashga mo'ljallangan razryadlagichlarni tanlashda muhim rol o'ynaydi. Nominal kuchlanishning o'sishi, HEUllarning uzunligining oshishi hamda atmosfera o'takuchlanishini chegaralashda crishilgan yutuqlar hozirgi vaqtda elementlar izolyatsiyasining sathini o'rnatishda ichki o'takuchlanish muhim rol o'ynashini ko'rsatadi.

Ichki o'takuchlanishlarni shartli ravishda ikkita guruhga bo'lib o'rganamiz. Ulardan biri rezonansli ichki o'takuchlanish hisoblanadi.

Rezonansli o'takuchlanish – sistemaning simmetrik va nosimmetrik sxemalarida turg'unlashgan tebranish bilan bog'liq bo'lgan o'takuchlanish hisoblanadi.

Rezonansli o'takuchlanishlar guruhiga quyidagilar kiradi:

1) uzun liniyalarda simmetrik va nosimmetrik rejimlarda ishchi chastotadagi rezonansli o'takuchlanish;

2) simmetrik rejimda aylanuvchi elektr mashinalarida o'z-o'zidan qo'zg'atilish rejimidagi o'takuchlanish;

3) sistemaning nosimmetrik rejimida yuqori garmonikada rivojlanadigan o'takuchlanish;

4) temir o'zakli zanjirlarning nochiziqli parametri bilan bog'liq yuqori va past chastotalarda ferrozonans o'takuchlanish.

Keltirilgan klassifikatsiya shartli hisoblanadi. Ayrim hollarda real elektr sistemasida har xil guruhlariga mansub bo'lgan o'takuchlanishlar paydo bo'ladi. Masalan, rezonansli o'takuchlanish ustiga o'tkinchi jarayonlar bilan bog'liq bo'lgan o'takuchlanishlar ta'sirida amplitudasi ancha katta bo'lgan o'takuchlanish kuzatilishi mumkin.

Rezonansli o'takuchlanish eng murakkab jarayonlardan biri hisoblanadi, chunki elektr sistemasi elementlarining ko'pchiligi po'lat o'zakli bo'lib, ularning magnitlanish xarakteristikalari nochiziqlidir. Nochiziqli elektr zanjirlarida tebranish jarayonining kechishi bir-biridan farq qiladi. Tebranish konturining elementlarida kuchlanishning o'zgarishi ancha murakkab jarayon hisoblanadi. Shu sababli masalani ancha ixchamlashtirib qulay usullarni qo'llash mumkin.

Nochiziqli zanjirlardagi rezonans jarayonini quyidagi 4 ta guruhga bo'lishimiz mumkin:

a) garmonik rezonans – sxemada manbaning chastotasiga teng chastotada rezonans tebranishining paydo bo'lishi. Bunda asosiy chastotadan tashqari ko'pgina yuqori garmonikalar paydo bo'lsa, yetakchi o'rinni ishchi chastotadagi tebranish egalaydi.

b) ultragarmonik rezonansda tebranish asosan yuqori garmonikalarning birida sodir bo'ladi.

v) subgarmonik rezonansda zanjirda man'baning chastotasidan past bo'lgan chastotadan rezonans tebranishi rivojlanadi. Bu turdagi rezonans tarkibida bo'ylama kompensatsiyalovchi qurilma o'rnatilgan uzun liniyalari bo'lgan sistemada kuzatiladi.

g) parametrik rezonansning paydo bo'lishi tashqi kuch ta'sirida tebranish konturining parametrlaridan biri (sig'im yoki induktivlikning) davriy ravishda o'zgarishida kuzatiladi.

Elektr sistemasida amalda yuqorida qayd etilgan rezonanslarning barchasi kuzatilishi mumkin. Masalan, juda uzun liniyaga ulangan gidrogeneratorning zanjirida qisqa tutashuv paytida parametrik rezonans, kompensatsiyalovchi uskunalar bilan jihozlangan yetarli darajadagi uzunlikdagi liniyalarda esa subgarmonik rezonans kuzatilishi mumkin.

Yuqorida qayd etilganidek, o'takuchlanishlarni tahlil qilishda bizni sig'imdagi kuchlanish qiziqtiradi. Uni esa ikkita – turg'un U_{tur} va o'tkinchi $U_{o'tk}$ tashkil etuvchilarning yig'indisi ko'rinishida tasvir-

lashimiz mumkin. Turg'unlashgan rejimda sig'imdagi kuchlanish tarmoq chastotasi bilan o'zgaradi.

Konturning xususiy tebranish chastotasi $\Omega_0 = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ bo'lib, bu yerda $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ va so'nish koeffitsienti $\delta = \frac{r}{2L}$ ga teng.

Amaliyotda uchraydigan barcha masalalarda elementlarning aktiv qarshiligi konturning xarakteristik (to'lqin) qarshiligidan ancha kichik, ya'ni $r \ll \sqrt{\frac{L}{C}}$ bo'lib, $\frac{\delta}{\omega_0} \ll 1$ va $\Omega \approx \omega_0$ bo'lganligi sababli sig'imdagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$U_c = U_{ur} + U_{ch} = e^{\delta \tau} \sin(\tau + \psi + \varphi) - e^{-\delta \tau} \left[\frac{\sin(\psi - \varphi)}{\sin \alpha} \sin(\Omega_0 \tau + \alpha) + \frac{1}{\Omega_0} \cos(\psi - \varphi) \sin \Omega_0 \tau \right] \quad (7.60)$$

Bu ifodada birinchi tashkil etuvchi sig'imdagi turg'unlashgan kuchlanish bo'lsa, ikkinchisi – o'tkinchi tashkil etuvchi hisoblanadi.

$$U_{ur} = \frac{E}{\sqrt{\left(1 - \frac{1}{\omega_0^2}\right)^2 + \left(\frac{2\delta}{\omega_0^2}\right)^2}} = E \frac{\frac{1}{b}}{\sqrt{\left(X - \frac{1}{B}\right)^2 + R^2}};$$

$$\varphi = \arctg \frac{1 - \frac{1}{\omega_0^2}}{\frac{2\delta}{\omega_0^2}}; \quad \alpha = \arctg \frac{\omega_0}{\delta}.$$

Turg'unlashgan kuchlanish amplitudasining manbani EYUKsiga nisbatini majburiy tebranish chastotasi $\omega_s = 1$ ning konturni xususiy tebranish chastotasi ω_0 ga nisbati $\frac{\delta}{\omega_0}$ ning har xil qiymatlaridagi

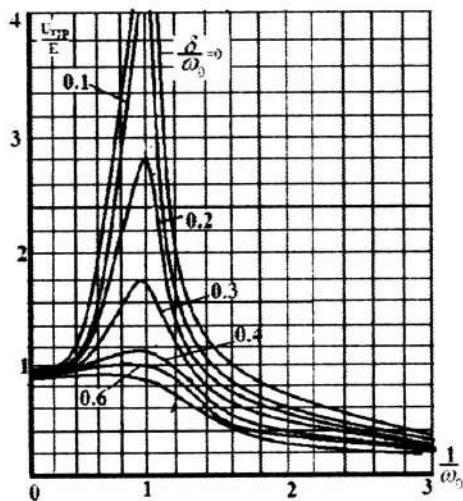
bog'liqlanishlari 7.20- rasmda keltirilgan. Bu egri chiziqlar rezonans egri chiziqlari deyiladi. Rezonans chastotaga yaqinroq bo'lgan ($\omega_0 = 1$) qiymatda bu egri chiziqning cho'qqisi yanada o'tkirroq bo'ladi.

Tajriba va hisoblashlar natijasida olingan bog'lanish $\frac{U_c}{E} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$

ko'rsatadiki, tebranish konturining xususiy tebranish chastotasining juda tor diapazonida erishiladigan eng katta kuchlanish sxemaning eng katta ulanish burchagi ψ ga bog'liq (7.20- rasm).

Bu grafik bo'yicha $\omega = \omega_0$ bo'lganda (rezonans paytida) quyida keltirilgan kuchlanishlar nisbati tebranish konturining xarakteristik qarshiligini sxemaning aktiv qarshiligi nisbatiga teng bo'ladi:

$$\frac{U_{c_{MAX}}}{U_c} = \frac{\omega_0}{2\delta} = \frac{\sqrt{L}}{R}.$$



7.20- rasm. $\frac{\delta}{\omega_0}$ ning har xil qiymatlari uchun rezonans egri

chizig'i $\frac{U_{nr}}{E} = f\left(\frac{1}{\omega_0}\right)$ ning ko'rinishi

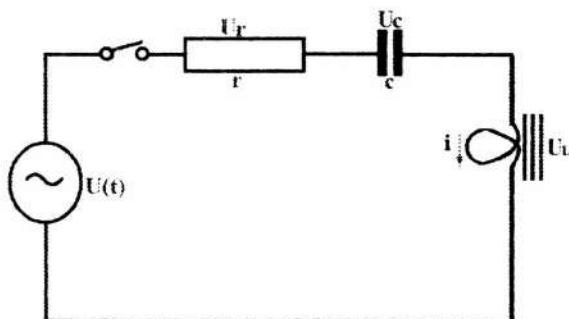
Agar tebranish konturini rezonansga ($\omega = \omega_0$) moslasak, ulanish burchagi unchalik rol o'ynamaydi va sig'imdagi kuchlanish quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradi:

$$U_c = -E \frac{\sqrt{L}}{r} \cos(\omega t - e^{-\delta t}).$$

Shunday qilib, ushbu holatda tebranish o'suvchan amplituda bo'yicha o'zgaradi.

Oddiy nochiziq temir o'zakli g'altagi bor tebranish konturida rivojlanadigan garmonik rezonans elektr sistemasida juda ko'p uchraydigan nochizikli tebranishga misol bo'la oladi (7.20- rasm).

Garmonik rezonansda yuqori garmonikalar belgilovchi rolni o'ynamaydi.



7.20- rasn. Nochiziqli induktivligi bo'lgan oddiy tebranish konturining prinsipial sxemasi

Agar vaqtinchalik aktiv qarshilikni hisobga olmasak, kuchlanish sig'imdagi va induktivlikdagi kuchlanishlar yig'indisiga teng:

$$U = U_L + U_C. \quad (7.61)$$

Agar tebranish konturining aktiv qarshiligini hisobga olmasak bu kuchlanishlar o'zaro teskari fazada bo'ladi, ya'ni sig'im yoki induktiv xarakterda bo'ladi:

$$U = U_L - U_C; \quad U_L = \pm U + U_C. \quad (7.62)$$

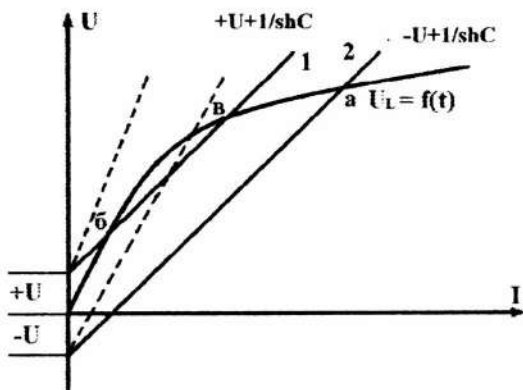
Bu yerda $U_C = \frac{1}{\omega C}$ bo'lib, plus ishorasi kechikayotgan tokka ($U_L > U_C$), minus ishorasi esa o'zayotgan tokka mos keladi. G'altakning samarali induktivligi uning volt – amper xarakteristikasidan topiladi (7.21- rasn).

Volt-amper xarakteristikalarining $(+U + \frac{1}{\omega C}$ va $-U + \frac{1}{\omega C})$ kesishishiga to'g'ri keladigan kuchlanish sig'im yoki induktiv xarakterga ega bo'ladi. Grafikdan ko'rinadiki, yetarlicha katta sig'implarda bu xarakteristikalarining kesishish nuqtalari uchta bo'lishi mumkin, ulardan ikkitasi induktiv rejimga to'g'ri kelsa, bittasi sig'im rejimiga mos keladi. Ammo bu munosabatlarning barchasi ham turg'un bo'lavermaydi, barchasi ham paydo bo'lmasligi mumkin.

Yechimning turg'unligini tekshirish odatda zanjirda tokning sekin o'zgarishida amalga oshiriladi.

Garmonik rezonansning yana bir ko'rinishi elektr uzatish liniyalarini nosimmetrik uzishda sodir bo'ladigan o'takuchlanishdir. Bunday holat ko'pincha bo'ylama nosimmetriyada, masalan, liniyada

birorta fazaning uzilishida, bir fazali yoki ikki fazali qisqa tutashuvni o'chirishda, o'chirgich pichoqlarining bir paytda uzilmasligida kuzatilishi mumkin.



7.19- rasm. Garmonik rezonansda kuchlanishni grafik yo'l bilan aniqlash ($r=0$)

Sinusoidal kuchlanishli man'badan ta'minlanayotgan elektr zanjirida sanoat chastotasidan past chastotada tebranish paydo bo'lishi mumkin (tegishli xususiy tebranish chastotali tebranish konturining o'zi tomonidan ishlab chiqariluvchi). Bu tebranish turg'un bo'lishi uchun tebranish konturidagi aktiv, induktiv va sig'im qarshiliklarda tokning subgarmonik tashkil etuvchisidan kuchlanishning tushishi nolga teng bo'lishi kerak.

Tokning subgarmonik tashkil etuvchisi chulg'amdagi oqimning subgarmonik tashkil etuvchisidan qandaydir o'tkir burchakka, kuchlanishning subgarmonik tashkil etuvchisidan ma'lum bir o'tmas burchakka orqada qolsa, kuchlanishning subgarmonik tashkil etuvchilarini muvozanatiga erishish mumkin. Vektorlarning boshqa har qanday joylashishida muvozanat bo'lmaydi.

Bundan shunday xulosa qilish mumkin: agar aktiv qarshiligi bo'lgan chiziqli zanjirlarda tokning yo'nalishi magnit oqimining yo'nalishi bilan mos kelsa, turg'unlashgan subgarmonik tebranishning rivojlanishi mumkin emas. Haqiqatdan ham temir o'zakli chulg'amda tokning subgarmonik tashkil etuvchisi oqimning subgarmok tashkil etuvchisidan

orqada qolishi mumkin. Buning uchun oqimning asosiy va subgarmonik tashkil etuvchilari ma'lum munosabatda joylashishi kerak.

Ma'lumki, elektr sistemasining zanjirlarida quvvat isrofi kam bo'lganda $\delta \ll \omega_0$ deb qabul qilish mumkin. Bunday zanjirlarda rezonans egri chizig'i o'tkir bo'lib, rezonansdan uzoqroqda esa $\frac{\delta}{\omega_0}$

nisbatning tebranish amplitudasiga ta'sirini e'tiborga olmasligik mumkin. Shuning uchun rezonansdan uzoqroq masofa uchun $\Omega \approx \omega_0$;

$\varphi = \arctg \alpha = \frac{\pi}{2}$ va $\alpha = \arctg \alpha = \frac{\pi}{2}$ deb qabul qilish mumkin. U holda sig'imdagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

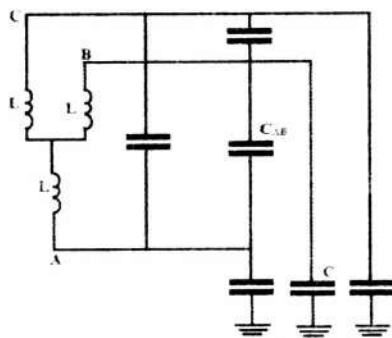
$$U_c = -U_{ur} \{ \sin(\tau + \Psi) - [\cos \Psi \cos \omega_0 \tau - \frac{1}{\omega_0} \sin \Psi \sin \omega_0 \tau] e^{-\delta \tau} \}, \quad (7.63)$$

bu yerda $U_{ur} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\omega_0^2}}$.

Unchalik uzun bo'lmagan HEULda neytral izolyatsiyalanganda bir fazali qisqa tutashuv natijasida shikastlanmagan fazadagi kuchlanish chiziqli qiymatgacha o'sishi mumkin. Bu jarayonni tahlil qilish uchun 7.22-rasmda keltirilgan almashtirish sxemasidan foydalanamiz. Har qanday tarmoq induktivlik (maslan, transformatorlar) va sig'imga ega. Shu sababli elektr sistemasi bir holatdan ikkinchi holatga xususiy tebranish jarayoni orqali o'tishi natijasida, uning fazalarida kuchlanishning turg'unlashgan kuchlanishdan katta qiymatga o'sishi kuzatiladi. Bu o'tkinchi jarayonni tahlil qilishda yuklamani hisobga olganimizda L o'z ichiga ta'minlovchi transformator T_1 va qabul qiluvchi transformator T_2 induktivligini qamrab oladi. Turg'unlashgan yerga qisqa tutashuvdan so'ng B fazaning yerga nisbatan kuchlanishi U_{AB} ga tenglashadi. A fazaning bevosita yerga qisqa tutashuvidan keyin shikastlanmagan fazaning yerga nisbatan sig'imi $0.5U_f$ gacha zaryadlanadi va $1.5U_f$ ga zaryadlangan fazalararo sig'im C_{AB} ga nisbatan parallel ulanadi. Bu ikkala parallel ulangan sig'implarda kuchlanish oniy ravishda tenglashadi.

Rezonansli o'takuchlanishga olib keladigan sabablardan biri parametrik rezonans, ya'ni elektr sistemasining elektromagnit noturg'unligi-o'z-o'zidan qo'zg'alish rejimi hisoblanadi. Parametrik rezonans generator va tarmoqning ulanishidan hosil bo'lgan tebranish

konturining xususiy tebranish chastotasi sanoat chastotasiga mos kelganda kuzatiladi. Bunga ayon qutbli sinxron generator, sig'im C va induktivlik (mashinaning, transformatorning va liniyaning) bilan almashtirilgan yuklanmagan liniyadan tashkil topgan tebranish konturi misol bo'la oladi.



7.22- rasm. Tarmoqning almashtirish sxemasi.

Parametrik rezonans sinxron mashinaning induktivligi va uning qisqichlariga ulangan sig'im qarshiligining ma'lum bir nisbatida paydo bo'lib, bunda mashinaning va sistemaning barcha elementlarida tok va kuchlanish o'z-o'zidan o'sib ketishi mumkin. Bunday rejim yuzaga kelganda operativ xodimlar jarayonni boshqarish imkoniyatini butunlay yo'qotadi.

Bunday jarayonning kuchlanish va tokning o'zgarishi sinxron chastotaga mos kelgan holatidagi shakli «sinxron o'z-o'zidan qo'zg'atish» rejimi deb nomlanadi. Bunda tok va kuchlanish amplitudasi nisbatan sekin o'sadi.

Chiziqli zanjirlarda parametrik rezonans paytida kuchlanish va tok amplitudasi cheksiz o'sib ketishi mumkin. Ammo real elektr sistemalarida tok va kuchlanishning amplitudasi ikkita nochiziqli bog'lanish bilan chegaralanadi: transformator va generator magnit o'zagining to'yinishi yoki elektrodlar oralig'i izolyatsiyasining teshilishi mumkin.

Faraz qilaylik, zanjirning xususiy tebranishlar chastotasi sinxron chastota (ω_0) ga teng yoki unga yaqin. Tarmoqda sodir bo'lgan qandaydir ta'sirga ko'ra tokning juda kichik, deyarli sezib bo'lmaydigan amplitudali ω_0 chastota bilan o'zgaruvchi va $L(\tau)$ ga nisbatan ma'lum fazaga siljigan tebranishi paydo bo'ladi (7.21- rasm). Magnit maydon energiyasining formulasidan ko'rinadiki, $W = \frac{Li^2}{2} = \frac{\xi i^2}{2\omega_0}$. Tok i oqib o'ta-

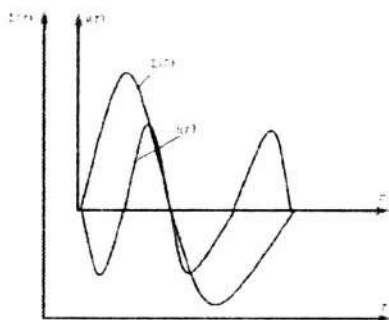
yotgan induktivlikni o'zgartirish uchun ma'lum energiyani sarflash talab etiladi. Buning uchun mashinaning rotoriga L ning o'sishida musbat va L ning pasayishida esa manfiy ma'lum mexanik moment qo'yilishi kerak. Tok $i(\tau)$ va induktivlik $L(\tau)$ egri chiziqlaridan ko'rinadiki,

induktivlikning o'sish qismida tok $i(\tau)$ induktivlik $L(\tau)$ ning pasayish qismidagidan absolyut qiymati bo'yicha katta. Bu generatorning o'qidagi o'rtacha moment noldan katta va rotorni aylantirish uchun mexanik energiya sarflanishini ko'rsatadi. Energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra bu energiya zanjirning elektromagnit energiyasiga aylantiriladi. Agar turbinaning mexanik momentiga mos keladigan quvvat zanjirning aktiv (R) qarshiligida bo'layotgan quvvat isrofidan katta bo'lsa, tok davriy ravishda o'sib boradi.

Ayon qutbli generatorlarning reaksion quvvati har doim quyidagi formula bo'yicha ifodalanadi:

$$M_R = \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \text{ yoki } R_r = \frac{U^2 (X_d - X_q)}{2X_d X_q} \sin 2\delta.$$

Parametrik rezonans sodir bo'lishini belgilovchi reaksion quvvat tok va kuchlanish grafiklari orasidagi faza siljishni ta'minlaydi.



7.21- rasm. Ayon qutbli sinxron generatorning toki va induktivligini o'zgarishi.

Parametrik rezonans paytida mashinaning stator zanjirida tok sekin o'sib boradi va qo'zg'atish chulg'amida juda kam EYUK paydo bo'lishi natijasida stator magnit oqimi rotorning magnit o'zagiga erkin singib, rezonans ayon qutblilik momenti ta'sirida rivojlanadi. Agar stator toki juda katta tezlik bilan o'zgarsa, qo'zg'atish chulg'amida stator magnit oqimining rotor gavdasiga singishiga to'sqinlik qiladigan EYUK hosil bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Elektr sistemasida rezonansli o'takuchlanish nima? U qanday sodir bo'ladi?
2. Elektr sistemalarida qisqa muddatga kuchlanishning oshishi qanday sabablarga ko'ra yuzaga kelishi mumkin?
3. Elektr sistemasida tebranish konturlarini qanday elementlar hosil qiladi? Sababini tushuntiring.

4. Rezonansli o'tkuchlanishlar qanday guruhlarga bo'linadi? Ularning ma'nosini tushuntiring.

5. Nochiziqla elektr zanjirlaridagi rezonans jarayonlari qanday guruhlarga bo'linadi?

6. Konturning to'liq qarshiligi nima? U qanday aniqlanadi?

7. Tebranish konturidagi aktiv qarshilik hisobga olinmaganda, tebranish qanday xarakterda bo'ladi?

8. Elektr uzatish liniyalarida garmonik rezonans qanday hollarda kuzatilishi mumkin?

9. Parametrik rezonans nima? U qanday hollarda yuzaga kelishi mumkin?

8. O'TAKUCHLANISHDAN HIMOYALASH USKUNALARI, APPARATLARI VA TADBIRLARI

8. 1. Elektr sistemasida qo'llaniladigan yashin qaytargichlar

Yashinning bevosita urilishidan himoyalash uchun qo'llaniluvchi yashin qaytargichlar Franklin tomonidan taklif etilgan bo'lib, u himoyalanayotgan obyekt ustida ma'lum balandlikda o'rnatiladigan va yashin tokining himoyalanayotgan elementni chetlab oqib o'tishini ta'minlaydigan maxsus elektr qurilma hisoblanadi.

Har bir yashin qaytargich uchta – himoyalanayotgan obyekt ustida o'rnatiladigan yashin qabul qilgich; zaminlagich va yashin qabul qilgichni zaminlagich bilan bog'lovchi qismlardan iborat. Yashin qaytargich (YaQ) uchun quyidagi asosiy shartlar bajarilishi kerak: yaxshi zaminlanganlik; qismlarining o'zaro qat'iy elektr bog'lanishda bo'lishi. Yaxshi zaminlanmagan YaQda juda yuqori kuchlanish hosil bo'lib u YaQning teshilishiga, himoyalanayotgan obyektga yo'nalgan razryadlanishga olib kelishi mumkin. YaQ qismlarining o'zaro qat'iy elektr bog'lanishda bo'lmasligi natijasida u orqali katta tok oqib o'tishiga va uchqunlanish tufayli yong'in yuzaga kelishi mumkin.

Elektr sistemasida qo'llaniladigan yashin qaytargichlar ikkiga bo'linadi:

1. Sterjensimon (qoziqsimon)
2. Trosli

Shuni ta'kidlash lozimki, trosli yashin qaytargichlarni podstansiya hududini himoyalash uchun qo'llash tavsiya etilmaydi. Chunki tross to'satdan uzilgan taqdirda uning yig'uvchi shinalar yoki elektr qurilmalarining ustiga tushishi butun podstansiyaning ishdan chiqarishi mumkin. Ular asosan havodagi elektr uzatish liniyalarini (HEUL), stansiya va podstansiyalarning OTQ lari, GESlarda dambagacha bo'lgan oraliqdagi o'tkazgichlarni himoyalash uchun qo'llaniladi.

Agar sterjen ko'rinishidagi yashin qaytargich transformator yoki shina portalida o'rnatilgan bo'lsa, yashin urilganda unda paydo bo'ladigan yuqori kuchlanish ta'sirida portaldan izolyatorlar shodasi bo'ylab o'tkazgichga teskari qoplanish sodir bo'lishi mumkin. Agar himoya uchun alohida yoki proyektor machtasiga o'rnatilgan YaQ qo'llanilsa undan elektr qurilmasiga havo orqali qoplanish kuzatilishi

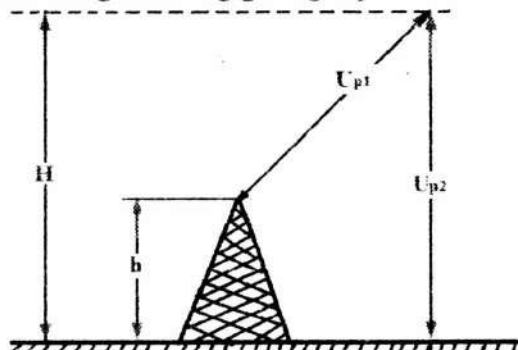
mumkin. Bunday holatdan muhofoza qilish uchun YaQ ning zaminlash qarshiligi imkoni boricha kichik bo'lishi, izolyatorlar shodasining va izolyatsiya oralig'ining elektr mustahkamligi katta bo'lishi kerak.

Shu bilan birga alohida o'rnatilgan YaQ bilan yerda yoki yer ostida joylashgan qurilmalar, kabellar va quvurlar orasidagi izolyatsiya oralig'i ta'minlanishi zarur. YaQ ning zaminlash qarshiligini yetarli darajada kichik bo'lmasligi teskari yo'nalishda qoplanishning sodir bo'lishiga olib keladi. Bundan himoyalash uchun nochiqli o'takuchlanishni chegaralagichlar yoki transformatorlarning past kuchlanishli chulg'ami bilan korpusi orasida o'rnatiluvchi ventilli razryadlagichlar xizmat qiladi.

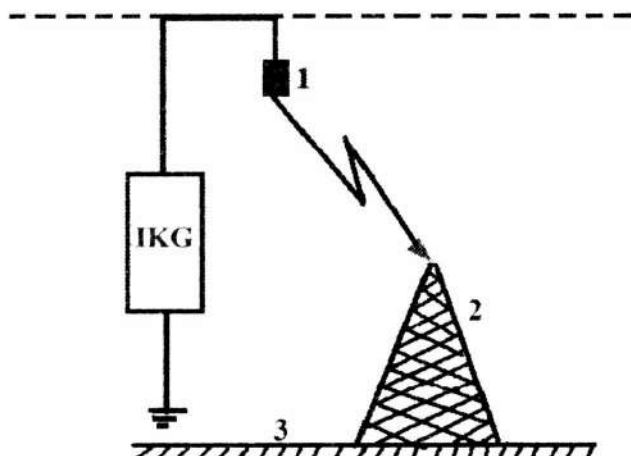
Barcha YaQlarning himoya ta'siri uning tepasida lider bosqichida zaryad yig'ilib, rivojlanayotgan lider bilan YaQ uchi orasida lider yo'nalishi bo'yicha katta elektr maydon kuchlanganligini hosil qilinadi. YaQdan teskari yo'nalishda liderning paydo bo'lishi va rivojlanishi shu yo'l bo'yicha elektr maydon kuchlanganligini yanada kuchaytiradi va oqibatda yashinning yer ustidagi obyektga razryadlanish yo'nalishi to'la aniqlaniladi. YaQdan past bo'lgan himoyalalanayotgan obyekt yashinning bevosita urilishidan himoyalalanadi, ya'ni u yashin tomonidan shikastlanmaydi. Liderning birorta obyektga yo'nalishi aniklangan nuqtadan yergacha bo'lgan masofaga «Yashinning orientirlash balandligi» deyiladi (8.1- rasm). Yashin qaytargichning orientirlash balandligi quyidagi ifoda bo'yicha topiladi: $H = Kh$. Bu ifodadan ko'rinadiki, orientirlash balandligi YaQning balandligi h ga bog'liq. Balanligi 30 m gacha bo'lgan sterjensimon YaQ uchun $K=20$ va trosli YaQ uchun $K=10$ deb qabul qilinadi.

Lider kanali yer sirtiga har xil yo'nalishda tushishi mumkin. Faraz qilaylik, yashining orientirlash nuqtasi YaQ bilan bir gorizontall tekislikda siljishi mumkin. Orientirlash nuqtasi bevosita YaQ ustida joylashsa razryad YaQga bo'ladi. Lekin orientirlash nuqtasining YaQdan uzoqlashishi bilan yashining yerga urilish ehtimoli oshib boradi. Agar YaQdagi razryadlanish kuchlanishi U_{p1} va yerdagi razryadlanish kuchlanish U_{p2} bir-biriga teng bo'lsa, bu balandlikka "Orientirlash nuqtasi"ning kritik joylashishi deyiladi (8.1- rasm). Agar himoyalalanayotgan obyektни YaQ yaqiniga joylashtirsak, ma'lum balandlikda yashin kanalidagi kuchlanish bilan obyekt orasidagi razryadlanish kuchlanishi YaQning razryadlanish kuchlanishidan katta bo'lsa obyekt yashinning bevosita urilishidan to'la himoyalalanadi. Lekin

orientirlash nuqtasining gorizontal yo'nalishda yashin qaytargichdan uzoqlashuvi bilan yashinning yerga yoki yer ustidagi birorta obyektga urilish ehtimoli oshib boradi. Yashin qaytargich uchun kiritik nuqta deb razryadlanish kuchlanishlari U_{p1} va U_{p2} o'zaro teng bo'lgan nuqta qabul qilinadi. Bu nuqtadan razryadlanish himoyalalanayotgan obyektga yoki yerga urilish ehtimollari o'zaro teng bo'ladi. Nuqtaning yanada uzoqlashishida yashinning yerga razryadlanishi kuzatiladi. Agar yashin qaytargich yaqiniga himoyalalanayotgan obyektни joylashtirsak himoyalash ehtimoli uning balandligiga bog'liq.



8.1- rasm. Yashin qaytargichning orientirlash balandligi.



8.2- rasm. Yashin qaytargichning himoyalash sohasini tajribada aniqlash sxemasi.

YaQ atrofida yashinning bevosita urilish ehtimoli juda kichik bo'lgan sohaga himoyalalanish sohasi deyiladi. Agar havo oralig'ining razryadlanish kuchlanishining taqsimlanishi notekisligini e'tiborga olsak YaQ ning obyektlarni to'liq himoyalashi ma'lum ehtimolda bo'ladi.

YaQning himoyalash sohasi tajribalar asosida eksperiment yo'li bilan haqiqiy himoyalash sohasi modelda va originalda o'xshashligidan topiladi. Himoyalash sohasini tajriba yo'li bilan aniqlash sxemasi 8.2-rasmda keltirilgan. Bu yerda IKG- impuls kuchlanish generatori, 1-orientirlash balandligida lider kanalining oxirini bildiradigan elektrod, 2-YaQ modeli, 3- zaminlangan metal tekislik. Bu sxemadagi razryadlanish rivojlanayotgan elektrod razryadning lider bosqichini bildirib, orientirlash balandligida joylashgan deb olinadi. Tajribalar asosida "Orientirlash balandligi" balandligi $h \leq 30\text{m}$ bo'lgan sterjenli YaQ lar uchun $\frac{h}{H}$

$= 20$; trosli YaQlar uchun esa $\frac{h}{H} = 10$ deb olinadi. YaQlarning balandligi 30 metrdan ortiq bo'lganda "Orientirlash balandligi" sterjenli YaQlar uchun $H=600\text{ m}$, trosli YaQlar uchun esa $H=300\text{ m}$ deb qabul qilinadi. Himoyalash sohasini tajriba yo'li bilan aniklashda H balandlikda joylashgan elektrod YaQning modeliga nisbatan gorizonta yo'nalishda siljiydi. Elektrodning har bir holatida bir necha marta razryad amalga oshiriladi.

Yakka sterjen ko'rinishidagi YaQning ma'lum h_x balandligida joylashgan himoyalash sohasining radiusi quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$r_x = \frac{1,6(h - h_x)}{1 + \frac{h_x}{h}}, \quad (8.1)$$

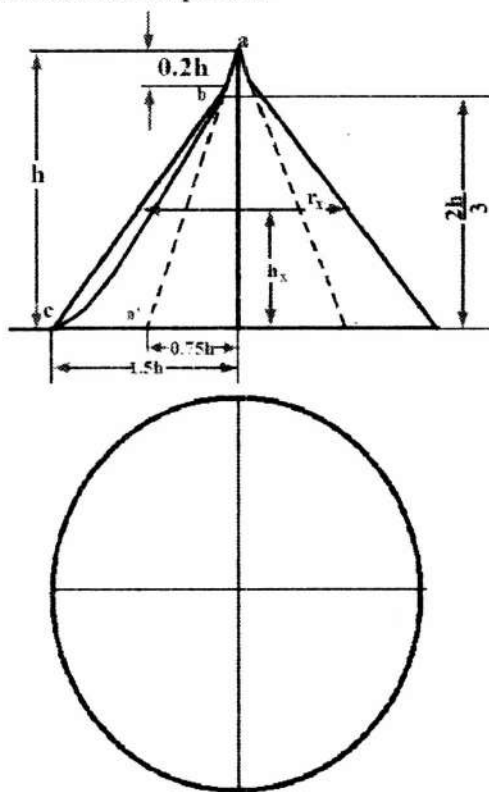
bu yerda: h - YaQ balandligi; r_x - himoyalash sohasining radiusi; h_x - yer sirtiga nisbatan olingan balandlik sathi (himoyalalanayotgan obyekt balandligi); $h - h_x = h_a$ - YaQning himoyalalanayotgan obyektidan balandligi bo'lib, u YaQning aktiv balandligi deyiladi.

Agar yashin qaytargichning balandligi $h > 30\text{ m}$ bo'lsa, u holda yuqorida keltirilgan ifoda $P = \frac{5,5}{\sqrt{h}}$ ga ko'paytiriladi.

Obyekt yashinning bevosita urilishidan himoyalaniishi uchun, u to'raligicha YaQning konus shaklidagi himoyalaniish sohasida joylashishi zarur. Alohida joylashgan sterjen ko'rinishidagi YaQning himoyalash sohasining shakli 8.3- rasmda keltirilgan.

Bu rasmda konusning yasovchisi siniq chiziqli ko'rinishda keltirilgan. Siniqli chiziqli ab YaQning uchini yer sirtida YaQ o'qidan $0,75h$ uzoqlikda joylashgan nuqta bilan birlashtiradi. Ikkinchi chiziqli bc YaQning $0,8h$ balandligida joylashgan nuqtasini uning o'qidan $1,5h$ masofada joylashgan nuqta bilan birlashtiradi.

Himoyalaniayotgan obyektning balandligi YaQ balandligi bilan bo'lgan ma'lum nisbatda aniqlanadi:



8.3- rasml. Sterjen ko'rinishidagi yashin qaytargich himoya sohasining kesimi

$$h_x \leq \frac{2}{3}h \text{ sathdagi himoyalani} \text{sh radiusi } r_x = 1,5h(1 - \frac{h_{lx}}{0,8h});$$

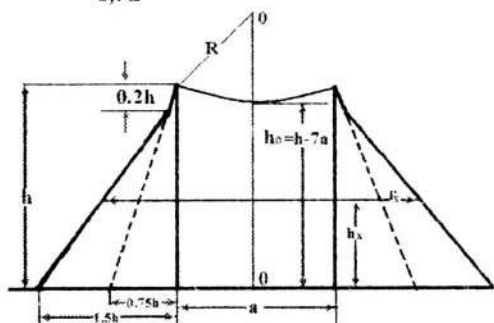
$$h_x \geq \frac{2}{3}h \text{ sathdagi himoyalani} \text{sh radiusi } r_x = 0,75h(1 - \frac{h_{lx}}{h});$$

Balandligi $h \leq 150$ m bo'lgan yakka sterjen ko'rinishidagi YaQning himoya sohasi konus ko'rinishida bo'ladi. Bunday yashin qaytargichning $h_0 < h$ balandligidagi kesimidagi h_x balandlikdagi himoyalash sohasining radiusi r_x ga teng.

Himoyalash sohasining chegarasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$h_0 = 0,5h$$

$$r_x = (1,1 - 0,002h)(h - \frac{h_x}{0,92}) \quad (8.2)$$



8.4- rasm. Ikkita sterjen ko'rinishidagi YaQning himoya sohasi.

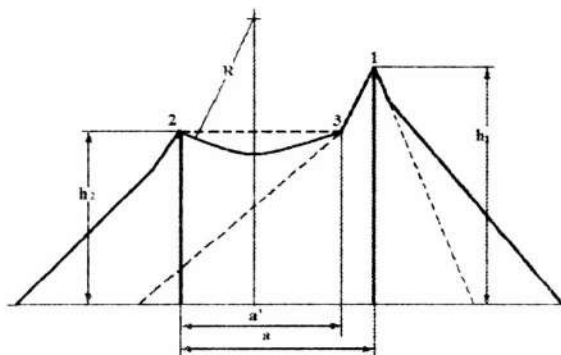
Bir-biriga yaqin joylashgan ikkita sterjen ko'rinishidagi YaQning himoyalash sohasi ikkita alohida o'rnatilgan YaQlar himoyalash zonasining yig'indisidan katta bo'ladi. Ma'lumki, yashinning 100% YaQga urilish sohasining radiusi $R = 3,5h$ ga teng (8.4- rasm). Agar ikkita YaQ $a = 2R = 7h$ masofada joylashgan bo'lsa, ular o'rtasidagi nuqtaga yashin tushmaydi. YaQlar o'rtasida h_0 balandlikda joylashgan nuqtani himoyalash uchun $h_a \leq 7(h - h_0)$ bo'lishi, ya'ni YaQlar orasidagi masofa uning aktiv balandligidan 7 martadan kichik bo'lmasligi talab etiladi. Agar yashin qaytargichlarning balandligi va ular orasidagi masofa aniq bo'lsa, u holda yashin qaytargichlar o'rtasidagi himoyalangan nuqtaning balandligi quyidagicha aniqlanadi:

$$h_0 = h - \frac{a}{7}$$

Balandligi $h > 30$ m bo'lgan ikkita YaQ uchun $h_0 = h - \frac{a}{7P}$ bo'lib,

Bu yerda $P = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$.

Balandligi har xil bo'lgan ikkita YaQlarning himoyalash sohasini aniqlashda, birinchidan balandroq'i uchun aniqlanadi (8.5- rasm). Keyinchalik pastroq bo'lgan YaQ uchidan gorizontaal chiziq yakka YaQning himoyalash sohasi bilan kesishguncha o'tkaziladi va fiktiv YaQ deb qabul qilinadi.



8.5- rasm. Balandligi har xil bo'lgan ikkita sterjen shaklidagi yashin qaytargichning himoyalash sohasini aniqlash.

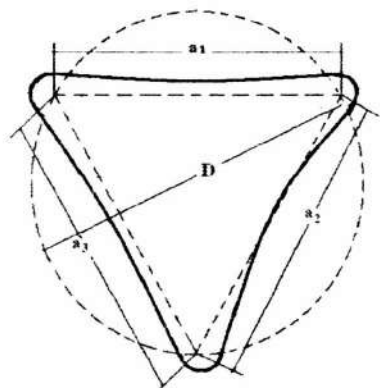
Katta maydonni egallovchi podstansiyalar taqsimlovchi qurilmalarini yashinning bevosita urilishidan himoyalash uchun bir nechta YaQlar qo'llaniladi. Bu holda balandligi h_x bo'lgan obyekt himoyalash sohasida joylashishi uchun, teng tomonli uchburchak uchlarida joylashgan YaQlar uchidan o'tuvchi aylananing diametri (8.6- rasm) va to'g'ri to'rtburchakning burchaklarida YaQlar joylashganda uning diagonali YaQning aktiv balandligidan 8 marta katta bo'ladi ($h_a = h - h_x > 8$). YaQ orasidagi h_x sathda joylashgan maydonning himoyalalanish sharti:

$$D \leq 8(h - h_x) \quad (8.3)$$

Ixtiyoriy joylashgan YaQlarning h_x balandlikdagi himoyalash sohasini tekshirish, ularni uchtdan guruhlariga bo'lib, har uchlik YaQlar uchun tekshiriladi. Agar YaQlar balandligi 30 metrdan katta bo'lsa, h_x balandlikda joylashgan obyektning himoyalalanish sharti:

$$D \leq 8(h - h_x)p \quad (8.4)$$

Masalan, $D = 50$ m bo'lsa, YaQ lar uchburchagining to'la himoyalani sharti $D \leq 8h_a$ ga teng bo'ladi. Bunday holda minimal aktiv balandlik $h_a = 50/8 = 6,3$ metr bo'ladi.



8.6- rasm. Balanligi h bo'lgan uchta YaQning h_x balandlikdagi himoyalash sohasi

Bitta va ikkita trosli YaQlar himoyalash sohasining kesimi 8,7 va 8.8-rasmlarda keltirilgan. Trosli YaQ himoyalash sohasini qurish sterjen YaQnikiga o'xshasada, lekin $h \leq 30$ m balandlikda osilgan trosli YaQ uchun yer sathidagi himoyalash sohasining kengligi $1,2h$ ga teng. Himoyalash sohasining yarmi:

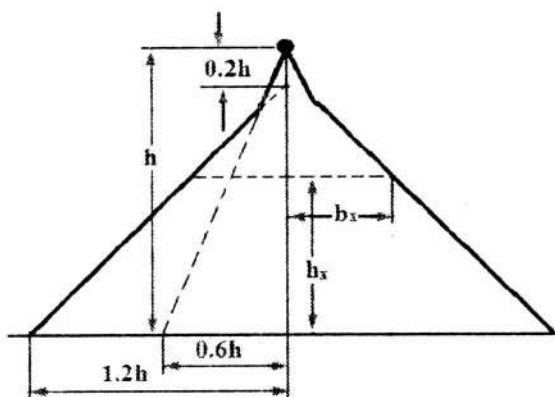
$$h_x \leq \frac{2}{3} h \text{ bo'lsa,}$$

$$h_x = 1,2h(1 - \frac{h_x}{0,8h}). \quad (8.5)$$

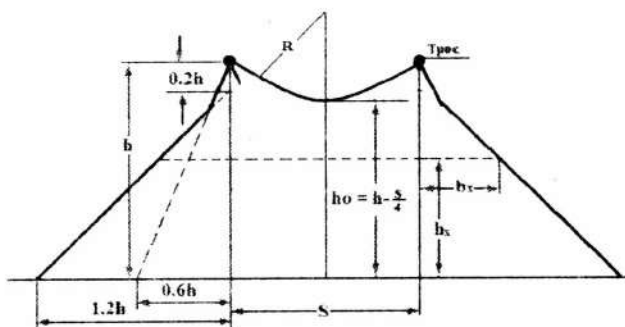
$$h_x > \frac{2}{3} h \text{ bo'lsa, } h_x = 0,6h(1 - \frac{h_x}{h}). \quad (8.6)$$

Ikki trosli YaQning tashqi himoyalani sh sohasi, xuddi yagona trosli YaQ kabi aniqlanadi. Himoyalani sh sohasining ichki qismi trosga perpendikulyar tekislik bilan kesishish yoyi bilan chegaralanadi. Elektr sistemalarida troslar havo elektr uzatish liniyasining stansiyalar va podstansiyalarga kirish qismlarini himoyalash uchun qo'llaniladi. Havo elektr uzatish liniyasi o'tkazgichining balandligi, trosning osilish balandligining $\frac{h_x}{h} = 0,8$ qismiga teng bo'ladi. Shuning uchun trosli YaQlarda uning effektivligi himoyalash sohasi bilan emas, balki himoyalash burchagi bilan xarakterlanadi. Demak, trosli YaQlarning effektivligini baholashda himoyalani sh burchagidan foydalanamiz. Trosli YaQlar sterjenli YaQlarga nisbatan ko'proq yashin urilishiga uchraydi. Trosning ekranlash effekti uning himoyalash burchagi bilan xarakterlanadi. Bu burchak tros orqali o'tayotgan vertikal chiziq bilan tros va simni birlashtiruvchi chiziq orasidagi burchakdir. Himoyalash burchagi qancha kichik bo'lsa uni himoyalash shuncha ishonchli bo'ladi. Tajriba shuni ko'rsatadiki, havodagi elektr uzatish liniyalarining

himoyalash burchagi $\alpha \leq 31^\circ$ bo'lsa, u yetarlicha ishonchli ishlaydi. Himoyalash burchagining $\alpha \leq 20 - 25^\circ$ qiymati optimal hisoblanadi.



8.7- rasm. Trosli yashin qaytargichning himoyalash sohasi.



8.8- rasm. Ikkita trosning himoyalash sohasi.

Yashinning trosni teshib, havo elektr uzatish liniyasini shikastlash ehtimoli qo'yidagi shartdan aniqlanadi:

$$\lg P_a = \frac{\alpha \sqrt{h_{\text{оп}}}}{90} - 4.$$

Ikkita tros orasidagi masofa va trosning osilish balandligi o'rtasida quyidagicha nisbat saqlanishi talab etiladi: $S \leq 4h$.

110 kV va undan yuqori kuchlanishdagi podstansiyalarning ochiq taqsimlash qurilmalarida YaQlar shinalarni osishga mo'ljallangan portallarda o'rnatiladi, portalning o'zi esa tokni oluvchi vazifasini bajaradi va u zaminlagichga ulanadi. Temir-beton va yog'ochdan yasalgan

ustunlarda bajarilgan YaQlar arzon hisoblanib, armaturalar tok o'tkazuvchi rolini bajaradi. Tok o'tkazuvchi qismning kundalang kesimini aniqlash uchun bu qismlarning qizishini hisoblashda muhitga uzatiluvchi issiqlik hisobga olinmaydi.

Himoyalananayotgan obyekt to'liq YaQning himoyalash sohasida joylashishi kerak. Shu bilan birga obyekt YaQdan ma'lum masofada joylashishi zarur. Agar bu masofa meyordagidan kichik bo'lsa, yashin urilganda YaQning bir qismidan himoyalananayotgan obyektga razryadlanish sodir bo'lishi mumkin.

YaQ tarkibidagi yashin qabul qilgich, yashin qaytargichni zaminlagich va ularni bog'lovchi o'tkazgich ma'lum aktiv va induktiv elektr qarshilikka ega. Aktiv qarshilikning anchagina qismini YaQning zaminlash qarshiligi tashkil etadi. YaQ orqali yashin toki oqib o'tganda uning tegishli qarshiliklarida kuchlanishning tushishi (masalan, YaQga o'tkir burchakli tok impulsi ta'sir etganda) quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$U_l = I_{ya} R_3 + L \left(\frac{di_{ya}}{dt} \right)_{o'r}, \quad (8.7)$$

bu yerda I_{ya} - yashin tokining amplituda qiymati; R_3 - zaminlagichning u orqali yashin toki oqib o'tgandagi qarshiligi; L - yashin qabul qilgich bilan zaminlagichni bog'lovchi o'tkazgichning qaralayotgan nuqtagacha bo'lgan induktivligi; $\left(\frac{di_{ya}}{dt} \right)_{o'r}$ - yashin toki frontining o'rtacha qiyalik koeffitsienti.

Yashin qaytargichda paydo bo'ladigan potensialni hisoblash uchun yashin toki $I_{ya} = 150$ kA (ehtimolligi 0,3%) va $\left(\frac{di_{ya}}{dt} \right)_{o'r} = 32$ kA/mksek deb qabul qilinadi. Panjara ko'rinishidagi temir YaQ va alohida yotqizilgan o'tkazgich uchun solishtirma induktivlik $L = 1,7$ mGn/m qabul qilinganda hisoblash shartiga ko'ra

$$U_l = 150 R_3 + 50 I. \quad (8.8)$$

Agar himoyalananayotgan obyekt izolyatorlar shodasiga osilgan va ikkinchi uchi bilan machtaga mahkamlangan bo'lsa YaQ uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$U_p \geq 150 R_3 + 50 I, \quad (8.9)$$

bu yerda U_p - izolyatorlar shodasining impuls razryadlanish kuchlanishi.

Bu holda obyekt va YaQ uzunligi S bo'lgan havo oralig'i bilan ajratilgan bo'lsa quyidagi shart bajarilishi zarur:

$$S \geq \frac{U_t}{E_{p3}}.$$

Masalan, elektr maydonning o'rtacha kuchlanganligini 500 kV/m deb qabul qilganimizda quyidagi bog'lanishni olamiz:

$$S \geq 0,3R_t + 0,01l. \quad (8.10)$$

YaQning zaminlagichidan himoyalalanayotgan obyektga qoplanishni bartaraf etish uchun yerning sathi bo'ylab ular orasidagi masofa quyidagicha bo'lishi kerak:

$$S \geq \frac{I_{zu} R_3}{E_{p3}}. \quad (8.11)$$

Nazorat savollari

1. Elektr sistemasida yashin qaytargichlar nima uchun xizmat qiladi?
2. Elektr sistemasida qanday turdagi yashin qaytargichlar qo'llaniladi?
3. Nima sababdan podstansiyalarda trosli yashin qaytargichlardan foydalanilmaydi?
4. Yashin qaytargich nimalardan iborat bo'ladi?
5. Stenjensimon yashin qaytargichlar qayerlarda qo'llaniladi?
6. Podstansiyalarda sterjensimon yashin qaytargichlar qayerlarda o'rnatiladi?
7. Yashinning orientirlash balandligi nima? U qanday aniqlanadi?
8. Sterjensimon yashin qaytargichning himoya sohasi qanday aniqlanadi?
9. Sterjensimon yashin qaytargichning himoya sohasi qanday shaklga ega bo'ladi?
10. Yashin qaytargich yordamida himoyalalanish sohasi deganda nima tushuniladi?
11. Yashin qaytargichning himoyalash sohasi tajribada qanday aniqlanadi?
12. Himoyalalanish radiusi nima va u qanday aniqlanadi?
13. Ikkita sterjensimon yashin qaytargichning himoya sohasi qanday aniqlanadi?
14. Trosli yashin qat'yargichlar qayerlarda qo'llaniladi?

15. Trosli yashin qaytargichlarning himoyalash sohasi qanday aniqlanadi? Ular qanday shaklda bo'ladi?

16. Ikki yashin qaytargich trosning himoyalash sohasi qanday aniqlanadi? Ularning balandligi va himoyalash sohasini o'lchamlari o'rtasidagi bog'lanishlarni tushuntiring.

8.2. Elektr sistemasi elementlarini o'takuchlanishdan himoyalash apparatlari

Himoyalash apparatining ishlash prinsipi elektr qurilmalarining izolyatsiyasi uchun xavfli o'takuchlanish impulsining paydo bo'lishini bartaraf etish va uning ishchi kuchlanishda ishlashiga to'sqinlik ko'rsatmaslikka asoslangan.

Stansiya va podstansiya elektr jihozlari o'takuchlanishdan himoyalash ventilli razryadlagichlar (VR) va nochiziqli o'takuchlanishni chegaralagich (NO'KCh) yordamida amalga oshiriladi.

Havo elektr uzatish liniyalarida yashining urilishidan paydo bo'lgan o'takuchlanish to'liqlari stansiya va podstansiyada o'rnatilgan qurilmalar izolyatsiyasiga katta havf tug'diradi. Bu holda elektr qurilmalari izolyatsiyasini stansiyada, havo elektr uzatish liniyalarida va podstansiyalarda o'rnatilgan yashin qaytargichlar himoya qila olmaydi. Buning uchun qo'shimcha tadbirlar qo'llaniladi.

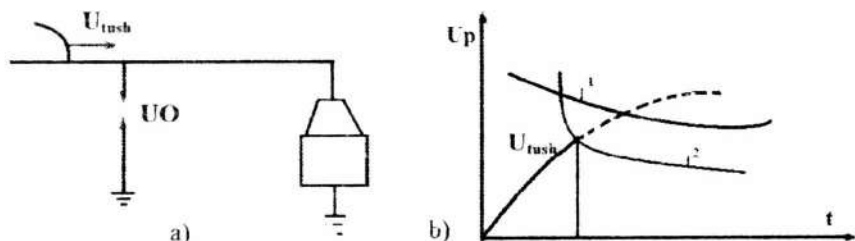
Eng oddiy himoya qurilmasi – bu himoalanayotgan izolyatsiya konstruksiyasiga parallel uchqun oralig'i (UO) hisoblanadi. Elektr qurilmalari izolyatsiyasining qoplanishi va teshilishini bartaraf etish uchun UOning volt-sekund xarakteristikasi (VSX) to'liqligicha izolyatsiya konstruksiyasining VSXsida yotishi lozim. Lekin buni ta'minlash muammosi o'ta murakkab hisoblanadi (8.9- rasm). Bu shartlar bajarilganda elektr qurilmalarining izolyatsiyasi uchun xavfli o'takuchlanishning paydo bo'lishi mumkin emas. Chunki, UO ulangan nuqtaga o'takuchlanish impulsi U_{tush} kelib urilganda, UO teshilib ortiqcha zaryad yerga o'tkazib yuborilishi natijasida kuchlanish keskin kamayadi (kesiladi). UO orqali tok impulsidan keyin himoyalash oralig'i orqali ionlashtirilgan yo'l bo'yicha sanoat chastotasidagi kuchlanish hosil qilgan tok – kuzatuvchi tok oqib o'tadi. Agar elektr qurilmasi neytral zaminlangan tarmoqda ishlayotgan bo'lsa yoki himoya oralig'i (HO)ning teshilishi ikki yoki uchta fazada teshilish paydo qilgan bo'lsa,

kuzatuvchi tok yoyi soʻnmasligi va impuls teshilish turgʻun yoyga aylanishi, natijada elektr qurilmasining avariya holatida oʻchirilishiga olib kelishi mumkin. Bunga yoʻl quymaslik uchun kuzatuvchi tok yoyi, albatta, soʻndirilishi kerak.

Himoya oraligʻi konstruktiv jihatdan keskin bir jinsli boʻlmagan maydon hosil qiluvchi sterjen koʻrinishda bajariladi. Bunday elektrodlar uchun kam vaqt ichida razryadlanish kuchlanishining keskin oʻsib ketishi, bu esa razryadlanish oldi vaqti diapazonning barcha qiymatlarida himoyalalanayotgan izolyatsiya bilan himoya oraligʻining VSXni muvofiqlashtirishga erisha olmasligiga olib kelishi mumkin.

Himoya oraligʻining teshilishida tok impulsining turgʻun yoyga aylanishi elektr qurilmasini yoki tarmoqning qismini oʻchirishda kuzatiladi. Shu sababli elektr taʼminotining ishonchliligini oshirish uchun HOni faqat elektr tarmogʻining avtomatik qayta ulagich bilan jihozlangan qismida oʻrnatish maqsadga muvofiq boʻladi.

Himoya oraligʻining ishga tushishlar sonini, yaʼni oʻchirishlar sonini kamaytirish uchun izolyatsiyaning himoya sharti boʻyicha himoya oraligʻining uzunligini maksimal tanlash maqsadga muvofiq hisoblanadi. Sterjen koʻrinishdagi himoya oraligʻi uzunligining va razryadlanish kuchlanishining eng kam qiymati 8.1-jadvalda keltirilgan.



8.9- rasn. Himoya uskunasi ishlash prinsipi: a– uchqun oraligʻi (U_O)ning sxemasi; b– himoyalalanayotgan element (1) va uchqun oraligʻi (U_O)ning volt–sekund xarakteristikalarini moslashtirish.

Kuchlanishi 35 kVgacha boʻlgan elektr qurilmalarida oʻrnatiluvchi himoya oraligʻining uzunligi eng katta boʻladi. Kuchlanishi 3 – 10 kV boʻlgan elektr qurilmalarining himoya oraligʻining elektrodleri shox koʻrinishida bajariladi, chunki issiqlik oqimi va elektrodinamik kuch taʼsirida yoy choʻzilib oʻchishi mumkin, yoydagi tokning qiymati 300 A dan kam boʻlgan hollarda yoy oʻz – oʻzidan soʻnadi.

Sterjen ko'rinishidagi UOning oddiyligi va arzonligi ularning past kuchlanishdagi tarmoqlarda keng tarqalishiga imkon berdi. Yuqori va o'ta yuqori kuchlanishdagi elektr uzatish liniyalarida ichki o'ta kuchlanishni chegaralash uchun maxsus tadbir qo'llanilib unda UO izolyatsiyani muvofiqlashtiruvchi rolni, ya'ni liniyadan stansiya va podstansiya izolyatsiyasiga xavf soluvchi o'ta kuchlanish to'liqini chegaralaydi.

8.1- jadval. Sterjen ko'rinishdagi himoya oralig'i uzunligining va razryadlanish kuchlanishining eng kam qiymatlari

Parametrlar	Nominal kuchlanish, kV									
	3	6	10	20	35	110	150	220	330	500
HO uzunligi, mm	20	40	60	140	250	650	930	1350	1500	1500
Qo'shimcha oraliq uzunligi	5	10	15	20	30	-	-	-	-	-
Razryadlanish kuchlanishining 50 Gts chastotadagi ta'sir etuvchi qiymati, kV	20	34	45	70	105	252	348	495	560	750
Impuls razryadlanish kuchlanishi, kV: Musbat qutbli	33	51	66	121	195	466	618	735	945	1065
Manfiy qutbli	34	53	68	134	220	510	698	817	1070	1190

Himoyalovchi UOning kamchiligi uning har bir teshilishida yerga qisqa tutashuv sodir bo'lishidir. Agar UO podstansiya izolyatsiyasini himoyalash uchun o'rnatilgan bo'lsa, uning har bir teshilishi podstansiya qurilmalarining shinasida qisqa tutashuvga olib keladi, bu sistema uchun o'ta og'ir shikastlanish hisoblanadi.

Nafaqat o'takuchlanishdan himoyani, balki kuzatuvchi tok yoyini rele himoyasining ta'sir etish vaqtidan kam vaqtda so'ndirishni ta'minlaydigan himoya apparatlari – himoyalash razryadlagichlari deb nomlanadi.

Shuning uchun UO mukammal himoyalash elementi bir-biridan kuzatuvchi tok yoyini o'chirish usuli bilan farq qiladigan razryadlagichlarga ko'shimcha qurilma ko'rinishida qo'llaniladi. Himoyalash razryadlagichlari paydo bo'ladigan elektr yoyini mustaqil

so'ndiradi. Hozirgi vaqtda energosistemada asosan HEULlarini himoyalash uchun qo'llaniladigan quvursimon razryadlagich (QR)lar va podstantsiya izolyatsiyasini himoyalashga mo'ljallangan ventil razryadlagichlar (VR) ishlatiladi. Quvursimon razryadlagichlarda yoini so'ndirish intensiv ravishda bo'yлама purkash natijasida amalga oshirilsa, VRlarda UO bilan ketma – ket ulangan ishchi qarshilik yordamida kuzatuvchi tokning qiymatini pasaytirish orqali bajariladi.

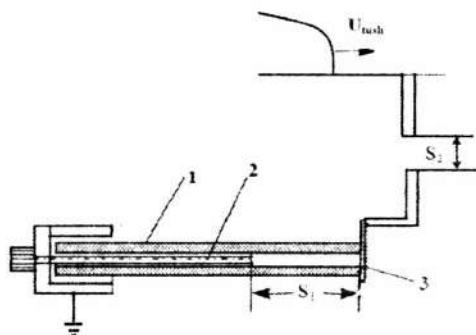
Nochiziq o'ta kuchlanishni chegaralagich (NO'KCh) rezistorning juda katta nochiziq xarakteristikasi tufayli ishchi kuchlanishda oqayotgan kuzatuvchi tok milliamper ulushida qiymatga egaligi sababli himoya apparati uchun havfli emas va unda quvvat isrofi deyarli sezilarli emas. Shuning uchun u uchqun oraliq'isiz bajariladi.

Quvursimon razryadlagichlarning prinsipial sxemasi 8.10- rasmda keltirilgan. Bu razryadlagichning asosi o'zidan gaz ajratuvchi materialdan yasalgan nquvur (1) hisoblanadi. Quvurning bir tomoni ichki sterjen ko'rinishdagi elektrod o'rnatilgan temir qopqoq (2) bilan mahkamlangan. Quvurning ochiq tomonida xalqa ko'rinishdagi ikkinchi elektrod (3) o'rnatilgan. Sterjen va xalqasimon elektrodlar oraliq'i S_1 ichki yoki yoy so'ndiruvchi oraliq deyiladi. Quvur faza o'tkazgichidan tashqi UO S_2 bilan ajratiladi. Aks holda quvurning gaz ajratuvchi materiali doimo quvur orqali oqib o'tuvchi tok ta'sirida yemirilishga uchragan bo'lar edi.

QRning himoyalash prinsipi uning VSX va zaminlash qarshiligi bilan xarakterlanadi. Uning VSX razryadlagichning ishga tushish kuchlanishini aniqlasa, uning zaminlash qarshiligi esa QR ishga tushgandan so'ng unda qolayotgan kuchlanish impulsi bilan xarakterlanadi. Uning VSXsi razryadlagichning ichki va tashqi Uolarining uzunligiga bog'liq bo'lib, xarakteri esa keskin bir jinsli bo'lmagan maydonli UO xarakteristikasiga o'xshashdir. Tashqi UOning uzunligi QRning izolyatsiyani himoyalash shartidan kelib chiqib tanlanadi va ma'lum chegarada rostlanishi mumkin. Ichki UOning uzunligi razryadlagichning yoy so'ndirish xossasi bo'yicha o'rnatilib, u rostlanmaydi.

Atmosfera o'takuchlanish to'liqini razryadlagichga urilganda ikkala oraliq ham teshiladi (razryadlagichning tashqi sirti buyicha qoplanish kuzatilmaydi, chunki bu sirt bo'yicha razryadlanish oraliq'i juda katta) va kuchlanish impulsi chegaralanib tok impulsi yerga o'tkaziladi. Teshilgan UOlari orqali razryadlanish kanali bo'yicha sanoat chastotasidagi kuzatuvchi tok (qisqa tutashuv toki) oqib o'tadi.

O'zgaruvchan tok yoyining ta'sirda qizigan kanalda gazning intensiv ajralishi sodir bo'ladi. Buning natijasida gazning bosimi bir necha atmosferaga oshadi. Gazlar quvurning ochiq tomoniga yo'nalishi natijasida bo'ylama purkash paydo bo'lib yoy tokning birinchi noldan o'tishi vaqtida o'chadi. Razryadlagichning ishlashi paytida qizigan ionlashtirilgan gaz atmosferaga chiqariladi va o'q ovoziga o'xshash ovoz eshitiladi.



8.10- rasm. Quvursimon razryadlagichning tuzilishi.

Kuzatuvchi tokning yoyini muvvafoqiyatli o'chirish uchun quvurda gazning intensiv ajralishi sodir bo'lishi kerak, yoyning kattaligi undan oqib o'tayotgan tokning qiymatiga bog'liq. Shuning uchun razryadlagichni ishonchli o'chirilishini ta'minlovchi tokning quyi chegarasi mavjud. Shuningdek, katta qiymatdagi tok oqib o'tganida ajralgan gazning bosimi oshib ketishi quvursimon razryadlagichlarning buzilishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli QRLar uchun o'chirilish tokining yuqori chegarasi ham o'rnatiladi. O'chirilish tokining chegaralari quvur ichki kanalining uzunligiga bog'liq. Ichki UOning uzunligini kamaytirish va razryadlanish kanalining diametrini kattalashtirish o'chirish tokining ikkala chegarasini katta qiymat tomon siljishiga olib keladi. Agar UOni uzunlashtirib razryadlanish kanalining diametri kamaytirilsa, bu chegaralar kichiklashish tomon siljiydi.

Elektr tarmog'ining QR o'rnatiladigan nuqtasi uchun qisqa tutashuv toki hisoblanadi. Bu tok razryadlagichlarning o'chirish toki diapazonida yotishi kerak. Bir necha o'chirishlardan so'ng razryadlagichlarning ichki kanalining diametri 20÷25% ga kattalashishi natijasida o'chirish tokining diapazoni o'zgaradi. Shu sababli

razryadlagichlarni almashtirish yoki uning o'chirish tokining diapazoni o'zgartirish talab etiladi. Hozirgi vaqtda elektr energetikada fibromekalenti (RQF) va viniplastili (RQV va RTVQ) QRLar qo'llaniladi. Fibromikalenti QRda fibraning, ya'ni fibra pardaning mexanik mustahkamligi uncha katta bo'lmaganligidan uning ustidan baki-lizlangan qog'oz bilan o'raladi, aks holda u fibra gazning yuqori bosimiga chidash bera olmaydi. Bakelit gigraskoplik xususiyatiga egaligi sababli QR nayining ustki qismi PVX-26 namlikka chidamli emal bilan qoplanadi.

RQF turidagi QRLar bir marta ishlaganligini ko'rsatuvchi egilgan metal plastina bilan jihozlangan. Bu plastina ikkinchi uchi bilan nayning ochiq tomoniga biriktirilgan. Plastinaning mahkamlanmagan tomoni razryadlagich ishlaganda naydan tashqi tomonga chiqarib tashlanadi.

RQF rusumli razryadlagichlar $3 \div 110$ kV kuchlanishga mo'ljallanib ishlab chiqariladi. Nominal kuchlanishidan tashqari razryadlagichlar o'chirish tokining chegarasi bilan ham farqlanadi va bu kattaliklar uning markirovkasida ko'rsatiladi. Masalan, RNF $\frac{110}{0,85}$ razryadlagich 110 kV

kuchlanishga mo'ljallangan bo'lib uning o'chirish toki 0,85 kAgacha bo'ladi. RQV rusumli quvursimon razryadlagich RQF rusumli razryadlagichlarga qaraganda yaxshi izolyatsiya va gaz generatsiya qilish xususiyati bilan farqlanadi. Viniplast materiali deyarli gigroskopik emasligidan u ochiq havoda ham o'zining xususiyatini saqlaydi. RQV rusumli QRLarda kamera rolini quvur devori bilan elektrod orasidagi sterjen ko'rinishdagi oraliq bajaradi. Viniplastning yuqori mexanik mustahkamligidan RQV rusumli razryadlagichlar o'zining katta o'chirish toki diapazoniga ega. Hozirgi vaqtda RQV $\frac{110}{20}$ rusumli razryadlagichlar nominal kuchlanishi 110 kV va o'chirish toki 20 kAgacha bo'lgan diapazonlar uchun tayyorlanadi. Hozirgi vaqtda RTVQ $\frac{220}{20}$ razryadlagichlar ham ishlatilmoqda.

QRLar ishlagan vaqtda ionlashgan gazning otilib chiqishi sababli uni tayanchlarga o'rnatishda bu gazni fazalar orasiga yo'nalishiga yo'l qo'yilmaydi. Aks holda bu fazalararo qisqa tutashuv sodir bo'lishiga olib kelishi mumkin.

QRLar shunday mahkamlanadiki, uning gorizontga nisbatan joylashishi 5 gradusdan oshmasligi va ochiq tomoni bilan pastga qaratilib

o'rnatilishi lozim. Bunday o'rnatilishda ularda namlik yig'ilmaydi. Ifloslangan rayonlarda razryadlagichlar 45 gradusgacha qiyalangan holda o'rnatiladi. Bu uning o'z-o'zini tozalash sharoitini yaxshilaydi.

Podstansiya va stansiya elektr qurilmalari izolyatsiyasini elektr uzatish liniyasidan kelayotgan o'takuchlanish to'liqinidan himoyalash uchun ventilli razryadlagichlar (VR) qo'llaniladi. Transformator va apparatlarning izolyatsiyasi VR mo'ljallangan kuchlanishga chidashi lozim. Shuning uchun VRning himoyalash xarakteristikasi podstansiya qurilmalarining o'lchamiga va ularning narxiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

VRlarning asosiy elementi ko'p karrali UO bilan unga ketma-ket ulangan nochiziqli volt-amper xarakteristikali ishchi qarshilik hisoblanadi.

VRga tashqi o'ta kuchlanish to'liqini ta'sir etganda uning UO teshiladi va o'takuchlanish to'liqini kesiladi, natijada VR orqali oqayotgan (5 – 14 kA) tok impulsidan ishchi qarshilikda kuchlanishning tushishi hosil bo'ladi. Bu tokka koordinatsiya toki deyiladi. Ishchi qarshilikdagi kuchlanishga esa "qoldiq kuchlanish" deyiladi va u VRning asosiy xarakteristikasi hisoblanadi. Razryadlagich orqali oqib o'tayotgan yashin tokining qiymatidan qat'iy nazar "qoldoq kuchlanish"ning o'zgarmay qolishi asosiy talab hisoblanadi. Bu ideal holatni amalga oshirishga imkon yo'q, lekin vilit materialidan yasaladigan nochziq qarshilik, razryadlagichda qoladigan kuchlanishni UOning teshilish kuchlanishiga yaqin bo'lishini ta'minlaydi. UOning teshilish kuchlanishining impulsi bilan ishchi qarshilikdagi qoldiq kuchlanish VRning himoyalash ta'sirini xarakterlaydi. UOning teshilish kuchlanishi himoyalalanayotgan izolyatsiyaning teshilish kuchlanishidan 20-25% kam bo'lishi kerak. Yashin toki o'tkazilgandan keyin razryadlagich orqali sanoat chastotasidagi ishchi kuchlanish bilan aniqlanadigan tok oqib o'tadi. Nozichiq qarshilik tayyorlanadigan vilit materialining xarakteristikasi shundayki, atmosfera o'takuchlanishiga nisbatan ancha kichik kuchlanishda uning qarshiligi keskin oshib ketadi, natijada, o'tayotgan tok juda kamayib ketishi ta'minlanadi va tokning noldan o'tishi vaqtida UOdagi yoy so'nadi. VRning oqib o'tayotgan tokni ishonchli uzadigan sanoat chastotasidagi eng katta kuchlanishga so'ndirish kuchlanishi deyiladi va u razryadlagichning asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanadi:

$$U_{so'n} = K_z U_H, \quad (8.11)$$

bu yerda K_z - neytralni zaminlash usuliga bog'liq bo'lgan koeffitsient bo'lib, neytrali zaminlangan elektr uskunalari uchun $K_z = 0,8$; neytrali izolyatsiyalangan elektr uskunalari uchun $K_z = 1,1$.

VR uchqun oralig'ining yoy so'ndirish darajasi uning quyidagicha aniqlanuvchi yoy so'ndirish koeffitsienti bilan xarakterlanadi:

$$K_{so'n} = \frac{U_{icsh}}{U_{so'n}}, \quad (8.12)$$

bu yerda U_{icsh} - UOning sanoat chastotasidagi teshilish kuchlanishi. Nochiziqli rezistorning himoyalash darajasit himoya koeffitsienti bilan xarakterlanadi:

$$K_{himoya} = \frac{U_{kol}}{\sqrt{2}U_{so'n}}. \quad (8.13)$$

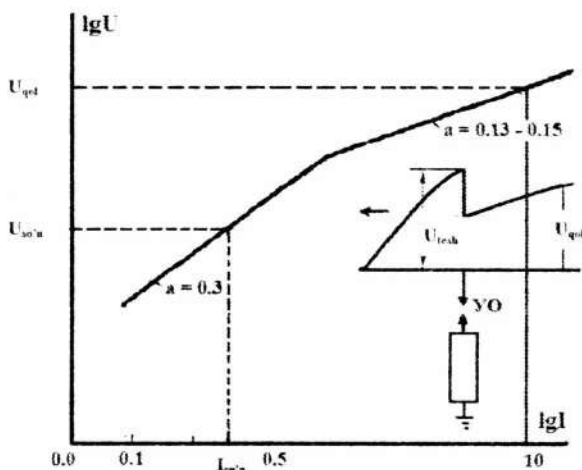
VRning ishchi qarshiligining asosini elektrotexnik karborund (SiO_2) tashkil etadi. Bu razryadlagichda elektrotexnik korborund kukunining ustidan qalinligi 10^{-5} sm bo'lgan kremniy oksididan to'sqinlovchi qatlam mavjud. Korborund kukunining solishtirma qarshiligi uncha katta emas (10^{-2} Om.m). Maydon kuchlanganligining kichik qiymatida (ya'ni ishchi qarshilikdagi kuchlanishning uncha katta bo'lmagan qiymatida) to'sqinlovchi qatlamning solishtirma qarshiligi $10^4 \div 10^6$ Om.m. Bunda barcha kuchlanish to'sqinlovchi qatlama to'g'ri keladi. U ishchi qarshilikning qiymatini belgilaydi. Maydon kuchlanganligining o'sishida to'sqinlovchi qatlamning qarshiligi keskin kamayib ketadi va ishchi qarshilikning qiymati karborundning qarshiligi bilan belgilanadi. VRning ishchi qarshiligi karborund kukuni va bog'lovchi materialidan yasalgan diskdan iborat. Vilit disklarini birlashtirish uchun suyuq shisha qo'llaniladi. Bu esa vilit disklarini past haroratda (taxminan 350^0 graduslarda) tayyorlanib, bu qatlamning ventil xususiyatini saqlashga imkon beradi. Oldingi vaqtlarda ishchi qarshilik tirvit materialidan yasilib, ularda bog'lovchi rolini oddiy loy bajargan. Uni toblash uchun yuqori temperatura talab etilib (1200^0C), toblashda to'sqinlovchi qatlamning sinib, buzilish holatlari kuzatilgan.

Qalinligi 60 mm bo'lgan vilit diskalarining VAX 8.11- rasmda keltirilgan. Bu xarakteristika amplitudasi 1-10000 amper diapazonida o'zgaruvchan va davom etish vaqti 20-40 mksekundli tok to'liqinida olingan. Xarakteristika har xil qiyalanish koeffitsientiga ega bo'lgan

ikkita siniq chiziqli qismdan iborat. Bu siniq chiziqlar uchun alohida analitik bog'lanishlarni keltiramiz:

$$\lg U = \lg A + \alpha \lg I, \quad (8.14)$$

bu yerda α - ventillik (yoki nochiziqlik) ko'effitsienti; A - o'zgarmas qiymat.



8.11- ras. Ventilli razryadlagichning ishlash prinsipi va uning ishchi qarshiligini volt – amper xarakteristikasi (razryadlagich diskining diametri $d = 130$ mm, I kiloamperda)

Koeffitsient α qancha kichik bo'lsa, vilit diskasi orqali oqayotgan tokning o'sishi bilan uning kuchlanishi shuncha sekin o'sadi. VAXning birinchi bo'lagi $\alpha_1 = \lg \varphi_1$ kuzatuvchi tokka mos kelsa, ikkinchi bo'lagi esa $\alpha_2 < \alpha_1$ ($\alpha_2 = \lg \varphi_2$) impuls tokiga mos keladi. Bu esa kichik nochiziqlik ko'effitsientli disklardan yasalgan ishchi qarshilikda qoldiq kuchlanish shuncha turg'un bo'lishini ta'minlaydi. Razryadlagich orqali katta tok oqib o'tganda u xarakteristikaning o'ng tomonida ishlab, bu qismda noziklik ko'effitsienti $\alpha = 0,13 \div 0,2$. Oldingi qo'llanilgan tirvit diskalarida bu ko'effitsient $\alpha = 0,14 \div 0,25$ diapazonda bo'lgan.

VAXning birinchi chap qismida ishlaganda ishchi qarshilikda qoldiq kuchlanish $\alpha = 0,28 \div 0,32$ nochiziqlik ko'effitsienti bilan xarakterlanadi. Bu holda yuqoridagi tenglamani quyidagicha yozib olinishimiz mumkin:

$$U = AI^{\alpha}.$$

bu yerda A - o'zgarmas kattalik bo'lib, diskning 1 A tokdagi qarshiligi hisoblanadi.

VRning ishchi qarshiligi n ta ketma-ket ulangan disklarning qarshiliklari yig'indisidan iborat bo'lsa, razryadlagichning VAXni quyidagi bog'lanish bilan aniqlash mumkin:

$$U = nAI^a. \quad (8.15)$$

Razryadlagichning disklari kichik noziklik koeffitsienti bilan birga diskning ishchi qarshiligi yetarli o'tkazuvchanlik qobiliyatiga ega bo'lishi kerak. Bu razryadlagich bir necha karra takroriy ishlaganda ham uning elektr xarakteristikasi o'zgarماسligi kerak. Ishchi qarshilikda ajralib chiqqan issiqlik energiyasi ta'sirida diskning teshilishi va u o'zining xususiyatini yo'qotishi mumkin. Demak, diskning o'tkazuvchanlik qobiliyati ishchi qarshilik orqali oqayotgan tok amplitudasi va ta'sir etish vaqtiga bog'liq. Shuning uchun o'tkazuvchanlik qobiliyati to'g'ri burchakli formadagi 2000 mksek davomida ta'sir etuvchi tok bilan tekshiriladi. VR ishlashi UO ning teshilishidan boshlanadi va UOlarda yoyning so'nishi bilan tugallanadi.

110 kV va undan yuqori kuchlanishga mo'ljallangan VRlarda ketma-ket ulangan alohida UOlarining soni 96 ta va undan ortiq bo'lishi mumkin. Kuchlanishning notekis taqsimlanishi impuls koeffitsientining birdan kichik bo'lishini ta'minlaydi. Bu koeffitsientining birga tengligini ta'minlash uchun ketma-ket ulangan UOlari orasiga ekranlovchi xalqa o'rnatiladi. Har to'rtta ketma-ket ulangan UO chinni silindrik idishga joylashtiriladi. Bu razryadlagichlarni komplektlashni yaxshilaydi. Har bir shunday komplekt bronza qalpoq bilan berkitilib, unda karborund qarshiligining normalari keltiriladi.

Aylanuvchi mashinalar (generatorlar, matorlar)ni o'ta kuchlanishdan himoyalash podstantsiyalarni himoyalashga o'xshash. Aylanuvchi mashinalar izolyatsiyasining elektrik mustahkamligi transformatorlarnikiga qaraganda ancha past. Aylanuvchi mashinalarni himoyalash uchun magnitli RVVM rusumli VRLar qo'llanilgan. Ammo bu razryadlagichlarda qoldiq kuchlanish izolyatsiyaning kafolatlangan impuls mustahkamligidan ancha kattaligi sababli bu razryadlagichlar talabga javob bermaydi. Shu sababli 310 kV kuchlanishda ishlashga mo'ljallanib yasalgan RVS rusumli VRLar qo'llanilmoqda. Lekin yangi yoyni magnit bilan so'ndirishga mo'ljallanib yasalayotgan razryadlagichlarning xarakteristikasi ancha yaxshilangan.

Razryadlagichda qoldiq kuchlanish ishchi qarshilik diskklarini nozichiq-ligini tanlash yo'li bilan amalga oshiriladi.

Elektr apparatlarini konstruksiyalashda ichki izolyatsiyaning bardoshlilikgi tashqi izolyatsiyaga nisbatan katta qilib tanlansada vaqt o'tishi bilan rejim buzilishlarda izolyatsiyaning jadal eskirishi, yashindan qoplanishi natijasida apparatlar izolyatsiyasining teshilishiga va apparatning shikastlanishiga olib keladi. Ma'lum tadbirlarni qo'llash hisobiga podstansiya izolyatsiyasining shikastlanish ehtimolini kamaytirishga intilinadi. Buni son jihatidan harakterlash uchun "Podstansiyaning yashinbardoshlilik ko'rsatkichi" degan kattalik qabul qilingan. U podstansiyada xavfli kuchlanish paydo bo'lmaydigan hiso-biy yillar soniga teng. Podstansiya uchun u yuzlab, ba'zida minglab yillarga teng bo'lib, juda katta yashinbardoshlilikni beradi.

Nazorat savollari

1. Elektr sistemasi elementlarini o'takuchlanishdan himoyalash apparatlariga nimalar kiradi?

2. Uchqun oralig'i nima? Uning volt-sekund xarakteristikasini tushuntiring.

3. Himoya uskunasi ishlash prinsipi va uning xarakteristikalarini tushuntiring.

4. Himoyalovchi uchqun oralig'ining kamchiligi nimalardan iborat?

5. Qo'zg'zaluvchi tok nima?

6. Quvursimon razryadlagichlarning tuzilishini tushuntiring.

7. Quvursimon razryadlagichlar qayerlarda qo'llaniladi?

8. Quvursimon razryadlagichning ishlash tokining quyi va yuqori chegaralari nima bilan belgilanadi? Ularni qanday o'zgartirish mumkin?

9. Ventilli razryadlagichning tuzilishini tushuntiring.

10. Ventilli raryadlagichlar qayerlarda qo'llaniladi?

11. Ventilli razryadlagichning asosiy xarakteristikalari va parametrlarini tushuntiring.

12. Aylanuvchan mashinalarni o'takuchlanishdan himoyalash qanday amalga oshiriladi?

13. Yashinbardoshlilik nimani bildiradi?

8.3. Nochiziqli o'takuchlanishni chegaralagichlar

Ventilli razryadlagichlarning asosiy kamchiligi korborund asosida tayyorlangan rezistorlarning xarakteristikasi uncha yuqori bo'lmagan nochiziqlilikka egaligi bilan bog'liq. Ventilli razryadlagichlarning himoyalash munosabatini pasaytirish uchqun oraliqlarining sezilarli darajada murakkablashishi hisobiga razryadlagichlardagi so'nish kuchlanishining ma'lum qismini qabul qiladi.

Yarim o'tkazgichlarni ishlab chiqarish texnologiyasining rivojlanishi o'tgan asrning 70 yillari boshlarida ruxning asosida nochiziqli rezistiv xarakterdagi materiallar yaratishga imkoniyat yaratib berdi. Bu materiallardan yasalgan nochiziqli o'takuchlanishni chegaralagichlar (varistorlar)ning xarakteristikalari sezilarli darajada nochiziqlilikka ega bo'lishi bilan birga tokning zichligi keng diapazonda o'zgarishida (bir necha daraja 1 dan to 1000 A/sm^2) ham ulardagi kuchlanish taxminan 30% gacha o'zgarishi mumkin.

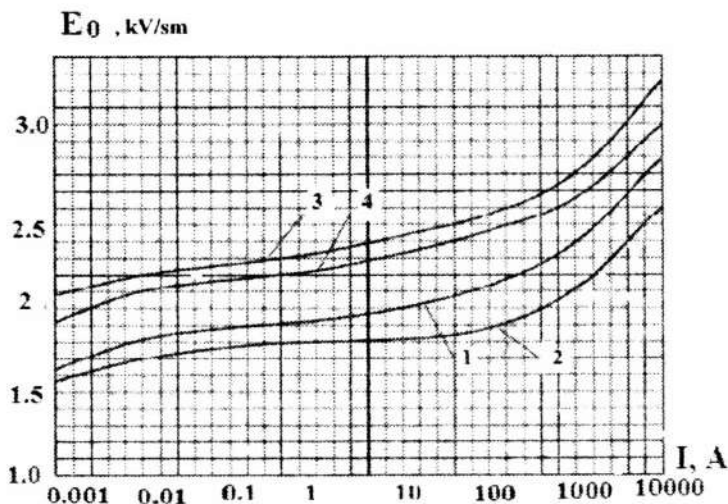
Bunday materiallarning ishlab chiqilishi prinsipial yangi himoya apparati nochiziqli o'takuchlanishni chegaragichlarni (NO'KCH) yaratishga imkoniyat yaratib berdi. Bu apparatlarning ventilli va quvursimon razryadlagichlarga nisbatan farqi unda ishchi kuchlanishda juda katta tokning oqib o'tishini bartaraf etadigan va o'takuchlanishda esa xuddi razryadlagichdagi kabi ancha katta tokning oqib o'tishini ta'minlaydigan uchqun oralig'ining qo'llanilmasligi hisoblanadi. Rux oksidi asosida yaratiladigan varistorlarning volt-amper xarakteristikasi keskin nochiziqliligi (8.12- rasm) bilan xarakterlanadi. Varistorlar kolonkasi (VK) bevosita ishchi kuchlanishga mo'ljallab yaratilganda u orqali oqib o'tayotgan tok milliamperning ulushini tashkil etadi.

Bunda varistorlarning issiqlik balansi ta'minlanadi: ajralayotgan issiqlikning atrof-muhitga sochilishi natijasida issiqlik energiyasining jamlanmasligi va temperaturaning varistorni yemirishgacha bo'lgan darajagacha ko'tarilishi kuzatilmaydi. Shunga qaramasdan varistorlarning issiqlik balansini ta'minlash uchun ishchi kuchlanishda bo'layotgan ruxsat etiladigan yuklamani aniqlash juda muhim masala hisoblanadi.

Ist'emo'chi tomonidan varistorning o'rnatilish nuqtasidagi ruxsat etiladigan uzoq davom etuvchi tarmoq kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi:

$$U_{K_{min}} = \frac{U_{\Delta IK}}{E_{ERK}} K_{EKIK}, \quad (8.16)$$

bu yerda K_{EKIK} - ishchi kuchlanishda varistorlar kolonkasi bo'ylab kuchlanishning notekis taqsimlanish koeffitsienti.



8.12- rasim. Diametrlari xar hil bo'lgan varistorlarning volt-ampere harakteristikasi: 1- diametri 46 mm; 2 - diametri 60 mm; 3- diametri 85 mm; 4 - diametri 115 mm.

Ushbu E_{ERK} o'takuchlanishni chegaralagichning ekspluatatsiya qobiliyatini ta'minlash uchun muhim bo'lgan parametr hisoblanadi. Odatda E_{ERK} ishlab chiqaruvchi korxona tomonidan $E_{ERK} \approx 1 \div 1,05$ kV diapazonda beriladi. Ammo, shuni ko'zda tutish lozimki, chegaralagichning konstruksiyasi (qobiqning materiali va qalinligi, qobiq bilan varistor orasidagi ichki bo'limning o'lchami, oraliqning to'ldirilishi)ga bog'liq holda varistorning atrof-muhit bilan issiqlik almashuvi sharoiti sezilarli darajada o'zgaradi. Shuning uchun ham E_{ERK} , NO'KCHning konstruksiyasiga bog'liq holda o'zgartirilishi kerak. Buning uchun konkret NO'KCHning konstruksiyasi aniq qismini aks ettiradigan kopiyasini tashkil etadigan maketda varistorlarni 1000 soat davomida sinash ko'zda tutilgan. Bunda NO'KCHning ma'lum bir konstruksiyasining maketida olingan ijobiy natijani boshqa o'lchamli va

boshqa materialdan yasalgan NO'KCHning konstruksiyalariga tadbqiqilib bo'lmaydi.

Varistordan atrof muhitga berilayotgan issiqlik oqimiga bo'lgan qarshilikni ko'paytirish varistordagi eng katta ruxsat etiladigan maydon kuchlanganligini pasaytirishni talab etadi. Bu holatni e'tiborga olmaslik, u ekspluatatsiya davomida NO'KCHning yemirilishining sabablaridan biri hisoblanadi.

Yuqorida ko'rsatilgan sabablarga ko'ra ayrim holatlarda varistorni ishlab chiqaruvchi korxona ruxsat etiladigan maydon kuchlanganligini ko'rsatmasdan, klassifikatsiya tokini I_k (tokning aktiv tashkil etuvchisi) va unga mos keladigan $U_{kl,m}$ kuchlanishni ko'rsatadi. Diametri 50 mm bo'lgan varistorlar uchun klassifikatsiya toki odatda 1 mA ga teng bo'lsa, katta diametrli varistorlar uchun esa – 2 mA va undan katta bo'ladi. Tokning bunday qiymatida varistorlar uzoq muddatga ishlay olmaydi. Shuning uchun varistorlarda uzoq vaqtga ruxsat etiladigan ishchi kuchlanish $U_{k/t} = (0,8 - 0,85) \frac{U_{kl,m}}{\sqrt{2}}$. Bu munosabat NO'KCHning maketlarini sinash orqali tasdiqlanishi kerak.

Varistordagi eng katta ishchi kuchlanishda tokning aktiv tashkil etuvchisi juda kam. Kolonka orqali oqayotgan sig'imi tok

$$I_{BC} = \frac{U_{EKIK}}{X_C} = U_{EKIK} \omega C_B = \omega U_{EKIK} \frac{\varepsilon \cdot \Pi_B}{H_B} = \omega \varepsilon E_{BEK} \Pi_B, \quad (8.17)$$

bu yerda varistorning o'tuvchan sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$C_B = \frac{\varepsilon \cdot \Pi_B}{H_B}; \quad (8.18)$$

ε - varistorlarning dielektrik singdiruvchanligi bo'lib, $\varepsilon = 1000\varepsilon_0$; Π_B - varistorning ishchi maydoni; H_B - varistorlarning balandligi.

8.2- jadvalda diametrlari har xil bo'lgan varistorlarning eng katta ishchi kuchlanishdagi sig'imi tokining qiymati keltirilgan.

8.2- jadval. Varistorlarning xarakteristikallari.

Varistorlar diametri, mm	28	45	60	70	85	115	138
Aktiv maydon, Sm^2	6.2	16	28.3	38.5	51.4	93.7	136
I_{BC}, mA	0.17	0.44	0.78	1.06	1.43	2.6	3.8

Ma'lumki, tarmoq kuchlanishining oshishi bilan varistorlar kolonkasining balandligi ham ko'payadi. Bunda varistorlar sirtidan yerga va varistorga keltiriladigan shleyfdagi sig'imiyl tok ko'payadi va natijada u NO'KCH kolonkasi uzunligi bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishini buzilishiga (qiyshayishiga) olib keladi. Agar kolonka bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishini tekislash uchun biror chora qo'llanilmasa, varistorlar qismida kuchlanishning tushishi kamayadi. Varistorlarda kuchlanish tushishining oshishi ular orqali oqayotgan aktiv tokning ko'payishiga va shunga mos ravishda ularning qizishiga va muddatdan ilgariroq yemirilishiga olib keladi. Shuning uchun varistorlar kolonkasi bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishining notekislik darajasi maxsus choralarni qo'llab chegaralanishi kerak (masalan, $K_{FKIK} \leq 1.05$ sathigacha).

Quyidagi 8.3 va 8.4- jadvallarda (8.16) formula yordamida hisoblangan NO'KCH kolonkasining minimal balandligi neytrali izolyatsiyalangan (8.3- jadval) va neytrali zaminlangan tarmoqlar uchun (8.4- jadval) keltirilgan.

8.3-jadval. Neytrali izolyatsiyalangan tarmoq uchun NO'KCH kolonkasining minimal balandligi

NO'KCHning eng katta ishchi kuchlanishi, kV	3.6	7.2	12	17.5	24	26.5	30	40.5
Varistorlar kolonkasining balandligi, mm	34	68	115	167	230	250	286	386

8.4- jadval. Neytrali zaminlangan tarmoq uchun NO'KCH kolonkasining minimal balandligi

NO'KCHning eng katta ishchi kuchlanishi, kV	127	172	252	363	525	787	1200
Varistorlar kolonkasining balandligi, mm	0.73	1.0	1.45	2.1	3.03	4.05	6.93

Ma'lumki kattaroq ishchi kuchlanishga NO'KCHni ishlab chiqaradigan korxonalarga buyurtma berishda tegishlicha mos ravishda varistorlar kolonkasining balandligi kupaytirilishi kerak.

Varistorlar sirtini ko'paytirganimizda varistor orqali oqayotgan qo'shimcha sig'imiyl tok, chunki bu vaqtda varistor bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishi keskin o'zgaradi va varistorning ho'llangan qobig'i va varistor orasidagi katta potentsiallar ayirmasi paydo bo'ladi. Bu potentsiallar ayirmasi varistorlar orqali qo'shimcha tokning oqishiga sabab bo'ladi, chunki bu tok ishchi gradientda oqayotgan tokga nisbatan ko'p karra oshib ketishi mumkin. Oshirilgan tok uzoq vaqt ho'llangan varistor orqali oqqanda ularda kuchlanish tushishining oshishiga, aktiv tokning oshishiga va uning oqibatida issiqlik balansining buzilishiga, varistorlarning o'ta qizishiga, muddatdan oldin yemirilib buzilishiga olib keladi.

O'takuchlanishlarda varistor orqali o'tayotgan aktiv tok uning sig'imiyl tokidan ko'p marta oshib ketadi. Bu esa kuchlanishning varistor kolonkasi bo'ylab notekis taqsimlanishini bartaraf etadi. Shuning uchun NO'KCHning parametrlarini o'takuchlanishni chegaralash shartidan kelib chiqib tanlashda, kuchlanishning varistorlar kolonkasi bo'ylab kuchlanish taqsimlanishining buzilishini hisobga olmasa ham bo'ladi. Ammo bunda qo'shimcha muammo paydo bo'ladi. Varistor orqali oshirilgan (yuz va ming Ampergacha ichki o'takuchlanishda, o'nlab kiloamper atmosfera o'takuchlanishida) tokning oqib o'tishi uning issiqlik balansini buzadi, chunki varistorlarda ajralayotgan va yig'ilayotgan issiqlik atrof-muhitga sochilishga ulgura olmaydi. Shuning uchun varistorlar kolonkasi yetarlicha energiya sig'imga ega bo'lishi kerak. Varistorlar kolonkasiga o'takuchlanishning ta'siri tugallangandan keyin sekinlik bilan issiqlik balansini tiklashi va NO'KCHning shikastlanishisiz ishlashini davom ettirishi kerak.

O'takuchlanishdan chegaralagichning energiya sig'imini quyidagi formula yordamida hisoblash mumkin:

$$Q = I_{KT} \cdot U_{qol} \cdot T \cdot n_t, \quad (8.19)$$

bu yerda I_{KT} - davom etish vaqti 2 ms bo'lgan to'g'ri burchakli tok impulsi; U_{qol} - ushbu I_{KT} tokda NO'KCHdagi qoldiq kuchlanish; T - tok impulsining ta'sir etish vaqti, u 2 ms teng; n_t - ta'sir etayotgan impulsning hisobiy qiymati, odatda uni ikkiga teng deb olishadi. Shuning uchun I_{KT} toki NO'KCHning asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanadi, chunki u varistorlarning yuzasini maydoni va diametrini belgilaydi.

Kommutatsiya o'takuchlanishini imitatsiya qiladigan davom etish vaqti 2 ms bo'lgan to'g'ri burchakli tok impulsi ta'sir etgandagi tok zichliga varistorning maydoni ko'payganda juda kam qiymatga kamayadi. Bu bog'lanish quyidagi formula yordamida approksimatsiya qilinishi mumkin, u varistorlarning issiqlik tarqatish sharti bo'yicha o'zgarishi bilan aniqlaniladi:

$$J_{max\,el} = 7 - 45 \lg \Pi_R.$$

To'g'ri burchakli tok I_K impulsining berilgan qiymatida varistorning kerak bo'ladigan maydoni

$$\Pi_B = \frac{I_K}{27 - 45 \lg \Pi_B}. \quad (8.20)$$

Oxirgi tenglama ketma – ket yaqinlashishlar usulida echiladi.

Kommutatsiya toki I_K impulsiga va chaqmoqdan razryadlanish impulsida I_R tokiga o'tkazuvchanlik qobiliyati har xil bo'lgan varistorlar beshta sinfga bo'linadi. Varistorlar to'g'risidagi ma'lumotlar 8.5-jadvalda keltirilgan. Bunda P_V va d_V parametrlar yuqorida keltirilgan (8.20) formuladan foydalanib aniqlanadi.

8.5- jadval. Varistorlarning parametrlari.

Varistorlar sinfi	1	2	3	4	5
I_K, A	250-400	401 - 750	751 – 1100	1101 - 1600	1601- 2100
I_V, A	5 - 10	10 - 20	10 – 20	10 - 20	10 – 20
Π_B, sm^2	11 – 18.6	18.6 - 38	38 – 57.7	57.7 – 87.5	87.5– 119
D_B, sm	3.8 – 4.9	4.9 – 7.0	7.0 – 8.6*	8.6* - 10.5*	10.5* - 12.3*

Varistorlarda o'yiqlar mavjud bo'lganda uning diametri kattalashadi. U yulduzcha bilan belgilangan.

Ushbu keltirilgan 8.5 va 8.6-jadvallarning parametrlarini solishtirish tarmoqning kuchlanishi va varistorlar sinfini moslashtirish imkonini beradi.

8.6- jadval.

Tarmoqning kuchlanishi, kV	35	110	150	220	330	400	500	750	1150
Varistorlar sinfi	1	1	1	1-2	2	3	3-4	4-5	5

Shuni takidlash lozimki, 1 – sinfga mansub bo‘lgan varistorlar 35 – 110 kV kuchlanishlar uchun kommutatsiya o‘takuchlanishi toki bo‘yicha ortiqcha. Bu sinfdagi kuchlanishlar uchun “0” klassdagi kommutatsiya tokining impulsi $I_k = 100 - 150$ b‘lgan varistorlarni kiritish maqsadga muvofiq bo‘ladi.

O‘takuchlanishni chegaralagichlarni varistorlarni ishlab chiqarish korxonasiga buyurtma berishda chaqmoqdan razryadlanish va kommutatsiya kuchlanishi impulslari ta’sir etganda varistordagi qoldiq kuchlanish ($U_{qol,chaq}$) va kuchlanish impulslari ($U_{qol,k}$) hamda ularga tegishli mos keluvchi chaqmoqdan I_{chaq} va komutatsiya I_{kom} toklari impulslarining qiymatlari beriladi. Bu kattaliklar varistorlarning VAX bilan birgalikda va talab etilayotgan sig‘imni berilishi bilan NO‘KCHdagi varistorlar kolonkasining talab etilayotgan balandligini aniqlashga imkon beradi.

$$H_{chaq,q} = \frac{U_{qol,chaq}}{E_B(I_{chaq})}, \quad (8.21)$$

$$H_{qol,q} = \frac{U_{qol,kom}}{E_B(I_{kom})}, \quad (8.22)$$

bu yerda $E_B(I_{chaq})$ va $E_B(I_{kom})$ – varistorlarning VAXsiga mos ravishda chaqmoqdan va kommutatsiya o‘takuchlanish toklarini hisoblashda varistorlarning kuchlanish gradienti.

Agar chaqmoqdan va kommutatsiya o‘takuchlanishidagi qoldiq kuchlanishga bo‘lgan talab (8.21) va (8.22) bo‘yicha hisoblanadigan VAXga mos kelsa, varistorlar kolonkasining balandliklari bir xil bo‘ladi. Aks holda kolonkaning kichikroq balandligini tanlashga to‘g‘ri keladi, chunki buyurtmada varistorlar kolonkasining ruxsat etilishi mumkin bo‘lgan balandligi ko‘rsatiladi.

Mo‘ljallash uchun shuni takidlash lozimki, zamonoviy varistorlar kommutatsiya o‘takuchlanishini $1,8\sqrt{2}U_{H,raz}$ gacha chegaralashni (hisobiyo tokdagi o‘tkazuvchanlik qobiliyati) va o‘takuchlanishda $2 \div 2,2\sqrt{2}U_{H,raz}$ gacha chegaralanishni ta’minlaydi. Agar o‘tkazuvchanlik qobiliyati kattaroq bo‘lgan varistorni qo‘llanilsa, u holda yanada chuqurroq o‘takuchlanishni chegaralashga erishish mumkin: kommutatsiya o‘takuchlanishida $1,6\sqrt{2}U_{H,raz}$ gacha, atmosfera o‘takuchlanishida esa $1,8\sqrt{2}U_{H,raz}$ gacha.

Elektr tarmoqda ortiqcha reaktiv quvvatni yetarli darajada kompensatsiyalashga erisha olinmasa, u holda sanoat chastotasidagi kuchlanishni vaqt bo'yicha maksimaldan yuqoriroq qiymatgacha chegaralashga yerishishga imkon tug'iladi. Bunda NO'KCHning varistorlari haddan tashqari isimasligi va yemirilmashligini ta'minlash kerak.

Quyida varistorlar kolonkasining balandligini (8.12- rasm) keltirilgan berilgan qiymatlardan foydalanamiz. Faraz qilaylik kuchlanishi 500 kV bo'lgan podstansiyada qo'yilgan talabga ko'ra kommutatsiya o'takuchlanishining amplitudasini $1,8\sqrt{2}U_{f.h.naz}$ gacha, atmosfera o'takuchlanishiga esa chegaralash $2,2\sqrt{2}U_{f.h.naz}$ qo'yilgan bo'lsa, 8.12- rasmdagi 3 – egri chiziqqa ko'ra hisobiy $I_{KOM}=1000$ A tokdagi varistorlarning kuchlanish gradienti $E_B(I_{KOM})=2,8$ va $E_B(I_{chaq})=3,55$. Yuqorida keltirilgan (8.21) va (8.22) formulalarga ko'ra

$$H_{k.k.} = \frac{U_{qol}}{E_B(I_{qol})} = \frac{1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 525}{\sqrt{3} \cdot 2,8} = 275 \text{ sm va}$$

$$H_{k.chaq} = \frac{U_{qol}}{E_B(I_{qol})} = \frac{2,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 525}{\sqrt{3} \cdot 3,55} = 265 \text{ sm}$$

Bu ikkala talabni ham qanoatlantirish uchun varistorlar kolonkasining pastroq balandligini – $H_{q.chaq}=265\text{sm}$ ni tanlaymiz. Varistorlarning voltamper xarakteristikasiga ko'ra klassifikatsion kuchlanish gradienti (tokning 1 A qiymatida) $E_V = 2,05$ kV/sm. Shunga mos ravishda varistorlar kolonkasining klassifikatsion kuchlanishining amplitudasi teng bo'ladi va

$$U_{KL} = E_B \cdot H_K = 2,05 \cdot 265 = 543.$$

uning ta'sir etuvchi qiymati $U_{KL} = 384$ kV. Uning eng katta ishchi kuchlanishga bo'lgan nisbati $\frac{U_{KL}}{U_{f.h.om.ishchi}} = \frac{384}{525} \sqrt{3} = 2,27$.

Nazorat savollari

1. Nochiziqli o'takuchlanishni chegaralash deganda nimani tushunasiz?
2. Ventili razryadlagichning asosiy kamchiligi nimadan iborat?
3. Nochiziqli o'ta kuchlanishlarni chegaralagichlarga nimalar kiradi?

4. Nochiziqli o'takuchlanishlarni chegaralagichlarning asosiy xarakteristikalarini tushuntiring.

5. Varistorlarning volt-amper xarakteristikalarini varistorning dametriga bog'liqligi.

6. O'takuchlanishdan chegaralagichning energiya sig'imi qanday aniqlanadi?

8.4. Atmosfera o'takuchlanishidan himoya qurilmalarining parametrlarini baholash

Liniyaga chaqmoq urilganda u bo'ylab tarqalayotgan atmosfera o'takuchlanishi liniyaning impuls elektrik mustahkamligi bilan chegaralanadi, u har bir metrga taxminan 600 kV hisobidan kelib chiqib izolyatsiyaning uzunligini (S) tashkil etadi.

Agar podstansiya uzunligi taxminan 3 km bo'lgan tros bilan himoyalangan kirishga ega bo'lsa, u vaqtda podstansiya yetib kelgan atmosfera o'takuchlanish to'liqini maksimal amplitudasining chegaralangan qiymati 8.7- jadvalda keltirilgan.

8.7- jadval. Atmosfera o'takuchlanish to'liqini maksimal amplitudasining chegaralangan qiymati

U_N, kV	35	110	220	330	500	750	1150
S, m	0.6	1.0	1.8	2.7	4.0	6.0	9.0
U_{chaq}, kV	360	600	980	1620	2400	3600	5400
Z_k, Om	300	300	300	200	200	200	200
I_{chaq}, kA	0.90	2.60	5.70	12.0	18.0	27.0	40

Bu kuchlanishning ta'sir etish vaqti yoki chaqmoqdan o'takuchlanish to'liqining uzunligi yashinning rivojlanish jarayonida yig'ilgan hajmiy zaryadning yashin liderining rivojlanish bosqichida neytrallash uchun zarur bo'lgan vaqt bilan chegaralanadi. To'liqinni neytrallash yashin kanali bo'ylab taxminan yorug'lik tezligining 1/3 qismiga teng bo'lgan tezlik bilan tarqaladi.

Shunday qilib, neytrallash vaqti quyidagicha aniqlanadi:

$$t_{neyt} = \frac{l_{kan}}{0,339} = \frac{3l_{kan}}{9} \quad (8.23)$$

Shu vaqtning o'zi atmosfera o'takuchlanish to'liqlinining vaqtini aniqlaydi, chunki yashinning hajmiy zaryadini neyrallash jarayoni tugagandan so'ng o'takuchlanish jarayonini davom ettirish uchun energiya manbai yo'q bo'ladi.

Yashinning o'rtacha uzunligi odatda 2-5 km ni tashkil etadi. (8.23) ga mos ravishda chaqmoqdan razryadlanish impulsining o'rtacha uzunligi quyidagicha aniqlanadi:

$$l_t = \frac{3 \cdot (2 \div 5)}{3 \cdot 10^5} = (2 \div 5) \cdot 10^{-5} = 20 \div 50 \text{ mksek.}$$

Osmondagi bulutdan tushayotgan yashinning maksimal uzunligi 10 km gacha bo'lishi mumkin. Mos ravishda chaqmoqdan razryadlanish impulsining maksimal uzunligi 100 mk sek gacha bo'lishi mumkin. Impulsning uzunligi uning boshlanishidan yarim tushishgacha, ya'ni kuchlanishni o'zining maksimal qiymatining yarmigacha kamayishi uchun ketgan vaqtni bildiradi. Kuchlanishning maksimal impulsini yarmigacha kamayishi uchun ketgan vaqt 50 mks ni tashkil etadi. Aynan shunday kattalik standart sifatida qabul qilingan.

Liniyadagi tokning kattaligi atmosfera o'takuchlanishi impulsi va liniyadagi impulsi to'planishini hisobga olingandagi to'liqlin qarshiligi Z_T bilan aniqlanadi:

$$I_{chaq} = \frac{U_{chaq}}{Z_T}. \quad (8.24)$$

Bunda tokning maksimumga o'sishi uchun ketgan vaqt 5-10 mksek ni tashkil etadi.

Ortiqcha kuchlanish to'liqlini razryadlagichga yoki NO'KCHga yetib kelganda ishorasini o'zgartirib qaytadi va natijada liniyadagi kuchlanishning NO'KCHda qoldiq kuchlanishgacha bo'lgan sathgacha pasayishiga, ya'ni atmosfera o'takuchlanishini chegaralashgacha bo'lgan sathgacha pasayishiga olib keladi. Bunga mos holda ortiqcha tok to'liqlini ikkilanadi:

$$I_{chaq, NO'KCH} = \frac{2(U_{chaq} - U_{qol})}{Z_T}. \quad (8.25)$$

NO'KCH orqali tokni baholash uchun ushbu formula bo'yicha chaqmoqdan kuchlanish to'liqlini U_{chaq} 8.6- jadvalda keltirilgan. U NO'KCHda atmosfera o'takuchlanishining $2U_{f, nomer}$ qiymatigacha teng sathda chegaralanadi.

8.6- jadvaldan ko'rinadiki, atmosfera o'takuchlanishida hisobiy tok keng diapazonda o'zgaradi. Kuchlanishi 220 kV bo'lgan tarmoqlarda bir xil bo'lsa, kuchlanishi 750-1150 kV bo'lgan tarmoqlarda esa bir necha kiloampergacha o'zgarishi mumkin. Bunda yashinning podstansiyadan birinchi turgan tayanchlar oralig'ida chaqmoqdan himoyalash trosiga yoki birinchi oraliq oxiridagi tayanchga bevosita urilish mumkinligini ko'zda tutish talab etiladi. Bunday sharoitda yashin tokining katta qiymatlarida tayachning induktivligida bo'layotgan kuchlanishning tushishi izolyatorlar shodasining impuls elektrik mustahkamligidan oshib ketishi mumkin, natijada izolyatorlar shodasining qoplanishiga va liniyaning o'tkazgichlarida paydo bo'lgan o'takuchlanish liniya o'tkazgichlari bo'ylab tarqalib podstansiyaga yetib kelishiga olib keladi. Tayanchning kam qarshiligi o'takuchlanishning davomiyligini qisqartiradi. Lekin bunday holatning real ekspluatatsiya sharoitida uchrashi ehtimoli juda kichik. Ammo shunga qaramay u NO'KCHga bo'lgan talabni shakllantirishda hisobga olinishi kerak.

Nochiziqli o'takuchlanishni chegaralagich nafaqat podstansiya elektr qurilmalarini himoya qilishga, balki liniya izolyatsiyasining atmosfera o'takuchlanishida qoplanishlar sonini, aynan himoya trosisiz liniyalarda chegaralash uchun ham qo'llaniladi.

8.5. O'takuchlanishdan himoyalash tadbirlari

Elektr qurilmalarni zaminlashdan asosiy maqsad himoyalananayotgan obyektida iloji boricha past potensialning saqlanishini ta'minlashdir. Yashin qaytargichlarni zaminlash yashinning bevosita yashin qaytargichga urilishidan himoyalashda va boshqa elementlarni zaminlash (liniyalarning tayanchlari, razryadlagichlar va boshqalar) chaqmoqdan himoyalash sxemasida muhim rolni bajaradi. Barcha zaminlash, yashin tokini himoyalananayotgan obyektlarga nisbatan dahlsiz oqishini ta'minlashga mo'ljallangan bo'lib unga chaqmoqdan himoyalalanish deyiladi.

Xizmat ko'rsatuvchi xodimlarning xavfsizligi, elektr apparatlarining normal ishlashi va yuqori kuchlanish jihozlarini o'takuchlanishdan himoyalash mustahkam va samarali zaminlash qurilmalarini qo'llamasdan amalga oshirib bo'lmaydi.

Mo'ljalanishiga qarab zaminlash bir-biridan farqlanadi:

a) ishchi zaminlash – elektr qurilmalarining umumiy ishlash rejimini aniqlaydigan transformatorlar neytralini, yoy sungdiruvchi galtaklar va apparatlarni zaminlash kiradi;

b) asboblarning va apparatlarning g'loflarini xavfsizligini ta'minlash zaminlash;

v) himoya troslarini, sterjen ko'rinishidagi yashin qaytargichlarni, tayanchlarni va razryadlagichlarni chaqmoqdan muhofazalash uchun qo'llaniladigan zaminlash kiradi.

Zaminlash qurilmasining asosini – bevosita tuproqda joylashgan metaldan yasalgan elementlar va kuzatish uchun bemalol bo'lgan tok o'tkazuvchi simlardan yasalgan zaminlagich tashkil etadi.

Yuqori kuchlanishda qo'llaniladigan zaminlashga - ishchi zaminlash deyiladi. Ishchi zaminlashning asosiy vazifasi qurilmalarni ular mo'ljallangan kuchlanishda normal ishlashini ta'minlash hisoblanadi. Bularga asosan yuqori kuchlanish transformatorlarini, o'lchash transformatorlarini (KT) va elektr uzatish liniyalaridagi ko'ndalang kompensatsiya reaktorlarini zaminlash kiradi. U elektr qurilmalarining ishlash rejimiga qo'yilgan talab bo'yicha topiladi.

Elektr stansiyalarda va podstansiyalarda kuchlanishning barcha pog'onalari uchun ishchi va himoya zaminlash o'zaro birlashtiriladi, ya'ni ularni bajarish uchun umumiy zaminlovchi qurilma qo'llaniladi.

Ayrim holda zaminlash qurilmalari qo'llanilganda yerga qisqa tutashuv toki birorta zaminlovchi qo'rilmalar orqali oqib o'tishining ustunligi boshqa zaminlovchi qo'rilmalarda potensialning oshishini inkor etgan bo'lar edi. Ammo ishchi va himoya zaminlashda qo'llaniladigan zaminlovchi qo'rilmalarni ishonchli bir-biridan ajratish juda qiyin masala hisoblanadi.

Umumiy zaminlovchi qurilmaning zaminlash qarshiligi eng kichik bo'lishi kerak. Odatda bunday qo'rilmalar bu qisqa tutashuv tokining nisbatan eng katta bo'lgan uskunalar, ya'ni neytrali zaminlangan kuchlanishi 110, 220, 500 va 750 kV bo'lgan sistema uchun taalluqli. Bunday sistemada himoya zaminlash qarshiligining qiymati 0,5 Omdan oshmasligi kerak.

Zaminlovchi qurilmalarni yasashda ko'pincha tabiiy zaminlagichlar qo'llanilishi, masalan yerga yotqizilgan suv o'tkazuvchi quvurlar va boshqa yer bilan bog'lanishga ega bo'lgan metaldan yasalgan quvurlar, kabellarning qo'rg'oshindan yasalgan qobig'i, binolarning va qurilmalarning matallik konstruksiyalari qo'llaniladi.

Zaminlovchi qurilmalarni hisoblashda zaminlovchi orqali oqayotgan tokni belgilovchi tabiiy zaminlagichlarning og'ish qarshiligi bevosita o'lchash yoki adabiyotlarda mavjud bo'lgan berilganlardan foydalanib topiladi.

Agar tabiiy zaminlagichlarning qarshiligi yerga qisqa tutashuv toki kam bo'lgan elektr uskunalarning talabiga javob bersa, boshqa qo'shimcha zaminlagichlarni qo'llash talab etilmaydi. Yerga qisqa tutashuv toki katta bo'lgan uskunalarda esa sun'iy zaminlash qurilmalari, albatta, o'rnatilishi kerak va uning qarshilig'i 1 Omdan oshmasligi kerak.

Elektr uskunaning maydonida sun'iy zaminlagich elektrodlarini shunday joylashtirish kerakki, zaminlovchi qurilmasi orqali tok oqib o'tganda yerning sirti bo'ylab potensial imkoni boricha tekis taqsimlanishi kerak. Yerga qisqa tutashuv toki katta bo'lgan elektr qurilmalari uchun potensialning pasayishi natijasida surkanish va qadam kuchlanishlarining pasayishiga erishiladi. Bunday maqsadda konturli zaminlash, ya'ni zaminlovchi elektrodلarni konturlar bo'yicha zaminlash qo'llaniladi va natijada bu konturlar ichida potensialning oshishiga yerishiladi. Bu zaminlanayotgan obyekt bilan xizmatchi xodimlarning joylashgan joyi orasidagi kuchlanishning pasayishiga olib keladi va surkanish kuchlanishining pasayishiga erishiladi.

Agar podstansiya konturi bo'yicha joylashtirilgan juda ko'p vertikal elektrodان yasalgan zaminlagich qo'llanilganda ham ular orasidagi masofaning kichikligiga qaramay zaminlash yetarli daajada bo'lmasa, u holda bir qism vertikal elektrodلar konturlar ichida joylashtiriladi

Barcha turdagi zaminlagichlarning qarshiligi qancha kichik bo'lsa u o'zining funksiyasini shuncha yaxshi bajaradi. Ammo zaminlagichning qarshiligini qancha kamaytirsak uning tannarxi teskari proporsional ko'rinishda shunchalik o'sib ketadi, shuning uchun zaminlagichning qarshiligi iqtisodiy ruxsat etiladigan diapazonda yotishi kerak. Masalan, ishchi zaminlash uchun uning ruxsat etiladigan qarshiligi har bir elektr qurilmaning ishlash rejimiga quyilgan talabdan kelib chiqib tanlanadi. Yashindan himoyalagich zaminlagichlarining ruxsat etiladigan qarshiligi 5 – 25 Om chegarasida yotadi.

Zaminlash qurilmalarida vertikal va gorizontal elektrodلar qo'llaniladi. Gorizontal zaminlagichlar uchun kengligi 20-40 mm, qalinligi 4 mmdan kam bo'lmagan po'lat lentalar va diametri 6 mmdan kam

bo'lmagan dumoloq simlar qo'llaniladi. Vertikal elektrodlar sifatida po'lat quvurlar, sterjenlar va fasonli po'lat simlar qo'llaniladi. Elektr uzatish liniyalarida tayanchning zaminlagichi sifatida ularning temir-beton fundamentidan foydalaniladi.

Yashin qaytargichlarning zaminlagichi yashin tokini yerga o'tkazishga xizmat qiladi. Yuqori kuchlanish elektr qurilmalarida qo'llaniladigan zaminlashni ikkiga bo'lamiz: ishchi zaminlash va himoya zaminlash. Elektr qurilmalarining chaqmoqbardoshligiga qo'yiladigan talabdan kelib chiqib, liniyalarda yashinqaytargichning zaminlash qarshiligi 10–15 Omdan, podstansiyalar uchun esa 4–5 Omdan oshmasligi kerak. Shu bilan birga himoya trosi bilan jihozlangan liniyalar uchun iqtisodiy samarali zaminlagich konstruksiyasi tanlanadi.

Faraz qilaylik, podstansiya territoriyasida transformator joylash-tirilgan. Uning kengaytirish baki yarim shar ko'rinishidagi zaminlagich-ga ulangan va shu transformatorning birorta o'tuvchan izolyatorida qoplanish sodir bo'lgan bo'lsin. Shikastlangan joydan yerga qisqa tutashuv toki oqib o'tadi va u zaminlagichda $U = IR$ kuchlanishning tushishini hosil qiladi. Yarim shar ko'rinishidagi zaminlagichning qarshiligini hisoblaymiz. Bu yerda radiusi r va $r + dt$ bo'lgan sferalar orasidagi yer qatlamining qarshiligi

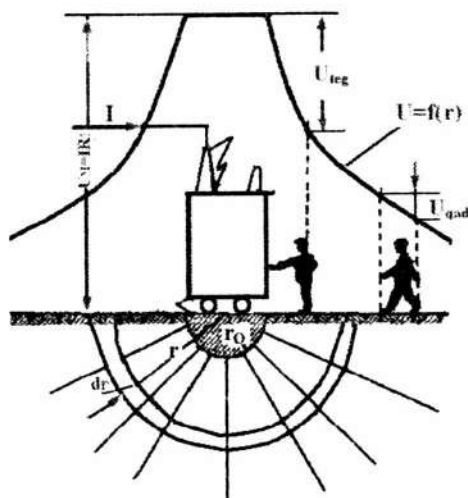
$$R = \frac{\rho}{2\pi r_0} \quad (8.26)$$

Avariya sodir bo'lgan paytda elektr qurilmasiga xizmat ko'rsata-yotgan odam katta potensial ostida bo'lishi mumkin. Transformatorga xizmat ko'rsatayotgan xodimga uning oyog'i joylashgan yer bilan bak orasidagi potentsiallar ayirmasiga teng bo'lgan kuchlanish ta'sir etadi. Bunga tegish kuchlanishi U_{toy} deyiladi. Transformator tomon kelayotgan odamning qadami kuchlanishi U_{qad} ostida qoladi. Doimo $U_{tosh} < U_{kad}$ (8.13- rasm).

Himoyalash zaminlash qurilmalarning metal qismini zaminlash orqali ularni ishlatishda (profilaktika qilishda) ishchi xodimlarning havfsizligini ta'minlash amalga oshiriladi. Zaminlagich o'zining aktiv qarshiligi bilan harakterlanadi. Zaminlagichning aktiv qarshiligi, uning geometrik o'lchami va yerning xarakteristikasiga bog'liq holda aniqlanadi.

Zaminlagich orqali yashin toki oqib, yerga o'tayotgan tok uchun yerning strukturasi juda murakkab muhit hisoblanadi, va tarkibi,

strukturasi bo'yicha esa bir jinsli emas deb olinadi. Zaminlagichni o'rab turgan yerning elektr o'tkazuvchanligi uning holati bilan xarakterlanadi. Zaminlagichning qarshiligi uning geometrik o'lchamiga va tuproqning solishtirma qarshiligi ρ ga bog'liq holda aniqlanadi.



8.13- rasm. Tegish va qadam kuchlanishini aniqlashning ko'rinishi.

Radiuslari r va $r+dr$ bo'lgan ekvipotensial sirtlar orasidagi yerning elementar qatlamining qarshiligi quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi.

$$dR = \rho \frac{dr}{2\pi r^2}.$$

Radiusi r_0 bo'lgan yarimshar ko'rinishidagi zaminlagichning statsionar qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$R = \int_{r_0}^{\infty} dR = \frac{\rho}{2\pi r_0}. \quad (8.27)$$

Zaminlagich orqali tok I oqib o'tganda nafaqat zaminlagich elektrodi, balki yerning unga yaqin qismlari ham oshirilgan potensialga ega bo'ladi. Zaminlagich markazidan r masofada joylashgan yerning sirtida joylashgan nuqtaning potentsiali ushbu formula yordamida topiladi:

$$U_r = I \int_{r_0}^{\infty} dR = \frac{I\rho}{2\pi r}. \quad (8.28)$$

Tuproqning taxminiy solishtirma qarshiligi 8.8-jadvalda keltirilgan.

8.8- jadval. Tuproqning taxminiy solishtirma qarshiligi.

Yerning taxminiy solishtirma qarshiligi	ρ , $\Omega \cdot m$
Doimiy muzlik yer	100000 gacha
Qoyalik yer	1000
Qum	500
Supes	300
Lyoss, suglenok	10
Loy yer	60
Qora tuproqli yer	50
Torf	20
Daryoning suvi	10 – 30
Dengiz suvi	1- 10

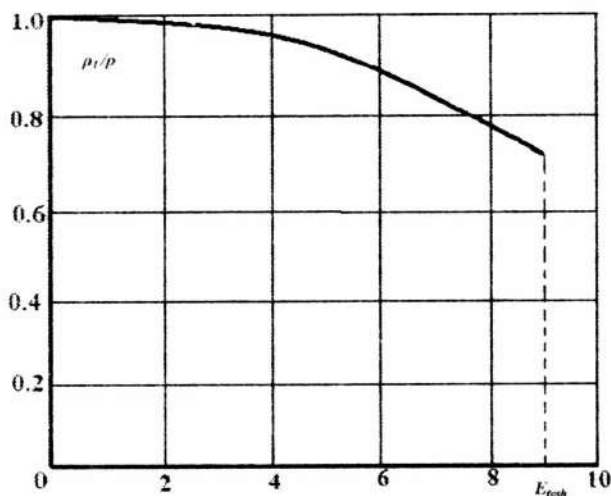
Chaqmoqdan saqlaydigan zaminlagichning impuls qarshiligini hisoblash uchun nafaqat yerning solishtirma qarshiligini va uning impuls xarakteristikasini, balki solishtirma qarshilikning elektr maydon kuchlanganligiga va yerning teshilish kuchlanishiga bog'liqligini bilish kerak.

Tekshirishlar bo'yicha bir jinsli maydonda hamma tuproqlar elektr maydon kuchlanganligini teshilish kuchlanganligigacha oshirganimizda o'zining solishtirma qarshiligini kamaytiradi va kuchlanish impulsining ta'sir etish vaqti qancha katta bo'lsa, qarshilikning kamayishi ham shuncha sezilarli bo'ladi. Yerning solishtirma qarshiligini nisbatan kamayishining kuchlanish impulsining maksimal paytiga to'g'ri keladigan $\frac{\rho_H}{\rho} = f(E)$ grafik 8.13- rasmda keltirilgan.

Zaminlagichdan zichligi δ bo'lgan tok oqib o'tganda yerda $E_t = \delta \rho_t$ elektr maydon kuchlanganligi paydo bo'ladi. Bu yerda ρ_t - tok impulsi oqib o'tayotganda yerning solishtirma qarshiligi. Tok zichligi ko'paygani sari elektr maydon kuchlanganligi ham ortib boradi. Tajriba ko'rsatadiki, elektr maydon kuchlanganligi ortgani sari yerning solishtirma qarshiligi kamayib boradi.

Bu effekt barcha yarimo'tkazgichlarga taalluqli va tuproqning ham o'tkazuvchanligining nochiziqliligi bilan bog'langan. Zaminlagichdan oqib ketayotgan tokning ko'payishi davom etishi bilan zaminlagich yaqinida elektr maydon kuchlanganligi tuproqning teshilish maydon

kuchlanganligiga $E_{uch} \approx 10 \div 12$ kV/sm erishadi. Uchqunning hosil bo'lishi zaminlagich yaqinida kuchlanishning keskin pasayib ketishiga olib keladi. Zaminlagichlarni hisoblashda uchqun razryadlanishda bo'layotgan kuchlanishning tushishi hisobga olinmaydi va uchqunlanish sohasida $\rho_{uch} = 0$ deb hisoblanadi. Aslida esa uchqunlanish sohasida gradient teshilishda 1,2 – 1,4 kV/sm. Katta toklar oqib o'tganda bu gradient pasayadi.

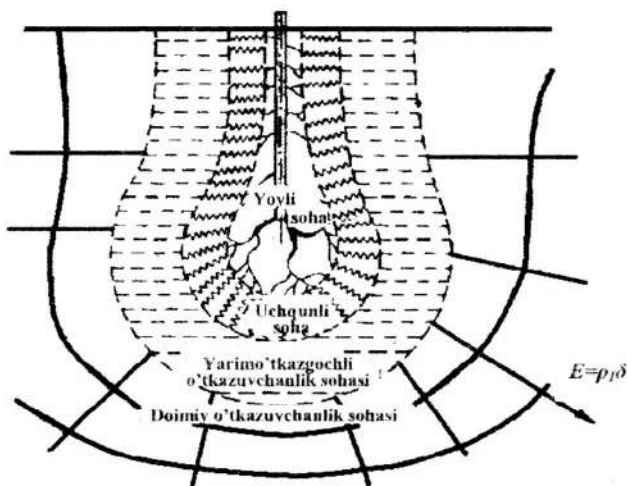


8.13- rasim. Tuproqning solishtirma qarshiligini elektr maydon kuchlanganligiga bog'liqligi $\frac{\rho_t}{\rho} = f(E)$.

Vaqtning o'tishi bilan kuchlanishning o'sishi natijasida uchqunli razryadlanish yoyli razryadlanishga o'tadi. Chunki, tuproqdagi kuchlanish gradienti uchqunlanish sohasidagi maksimal qiymatdan deyarli yo'q bo'lguncha pasayadi. 8.14- rasmda yarimo'tkazgichli, uchqunli va yoyli sohalar keltirilgan.

Gradientning o'sishi bilan tuproqning solishtirma qarshiligining (ρ_t) pasayishi zaminlagichning impuls koeffitsientining pasayishiga sabab bo'ladi. Impuls tokining berilgan qiymatida elektr maydon kuchlanganligi $E = \rho_t \delta$ tuproqning solishtirma qarshiligining o'sishi bilan o'sib boradi. Shuning uchun zaminlagichning impuls koeffitsienti (α_t) o'tkazuvchanligi past bo'lgan tuproqlarda past bo'ladi.

Zaminlagichning chiziqli ulchami qancha kam bo'lsa tokning berilgan qiymatida zaminlagichdan oqib ketayotgan tokning zichligi shuncha katta bo'ladi.



8.14- rasn. Zaminlagich orqali katta tok oqib o'tganda tuproqdagi jarayonning o'zgarish xarakteri

Tuproqda uchqunning paydo bo'lishi oqibatida tuproqning solishtirma qarshiligining pasayishi zaminlagichning chiziqli ulchamini kattalashtirishga ekvivalent bo'ladi. Shunga mos ravishda xususiy zaminlagichlarning zaminlagichlar to'plamida yaqinlashganini bildiradi. Impuls rejimida zaminlagichlar to'plamining qo'llanish koeffitsienti η_l bilan belgilanadi. U vaqtda zaminlagichlar to'plamining qarshiligi quyidagi formula ko'rinishiga keladi:

$$R_{tl} = \frac{I}{\eta_l \Sigma \frac{1}{R_i}} \quad (8.29)$$

Tuproqning solishtirma qarshiligini hisobiy qiymati o'lchashlar qiymati bo'yicha aniqlanadi:

$$\rho = K \rho_{o'l}$$

bu yerda K - mavsumiy koeffitsient; $\rho_{o'l}$ - tuproqning o'lchangan solishtirma qarshiligi. Agar solishtirma qarshilik tuproqning o'rtacha namligi uchun o'lchangan bo'lsa, $K=1,4$. Agar o'lchashdan oldin yuqori namlik bo'lsa $K=2,6$ deb olinadi.

Katta toklarda zaminlovchi elektrod orqali o'qib o'tayotgan tokning zichligi yetarlicha katta. Shuning uchun yerda elektrodlar sirtida yerning teshilish kuchlanganligidan ancha yuqori elektr maydon kuchlanganligi hosil qilinadi $E = J\rho$. Elektrodlar atrofida uchqunlanish zonasi hosil qilinib, uning o'lchami effektiv kattalashadi va zaminlash qarshiligi kamayadi.

Zaminlagichning u orqali tok impulsi oqib o'tgandagi qarshiligi va zaminlagich orqali sanoat chastotasidagi tok oqib o'tgandagi qarshiligi quyidagicha munosabatda bog'langan:

$$R_i = \alpha_i R_f, \quad (8.30)$$

bu yerda α_i - zaminlagichning impuls koeffitsienti deyiladi.

Yashin tokining xususiyati uning katta amplitudadaliigi va ta'sir etish vaqtining qisqaligi hisoblanadi. Bu ikki xususiyat zaminlagichning impuls koeffitsientiga ta'sir ko'rsatadi.

Nazorat savollari

1. O'takuchlanishdan himoyalash tadbirlariga nimalar kiradi?
2. Yuqori kuchlanish qurilmalarini zaminlash nima uchun amalga oshiriladi.
3. Qadam kuchlanishi nima va u qanday aniqlanadi?
4. Tegish kuchlanishi nima va u qanday aniqlanadi?
5. Zaminlash konturining qarshiligi qancha bo'lishi kerak?
6. Zaminlash konturining qarshiligini kamaytirish yo'llari.
7. Vertikal va gorizontal zaminlashni tushuntiring.
8. Nuqtaning potensialini hisoblash formulasini tushuntiring.

8.6. Zaminlagichlarning turlari. Zaminlash qarshiligini hisoblash

Elektr energetik sistemasida zaminlagich elektrod ko'rinishida uzunligi 2 – 3 m bo'lgan vertikal sterjenlar (diametri 2 – 6 sm bo'lgan po'lat quvurlar, burchakli temirlar yoki yerga uncha katta bo'lmagan (0,5 – 0,8 m), chuqurlikda yotqizilgan gorizontal lentalar (troslar) qo'llaniladi.

Yakka o'rnatilgan yashinqaytargich yoki elektr uzatish liniyasi tayanchining zaminlash qarshiligi quyidagi formula yordamida hisoblaniladi:

vertikal qoqilgan quvur yoki sterjenning qarshiligi

$$R = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \left[\frac{4l(2t+l)}{d(4t+l)} \right] ; \quad (8.31)$$

gorizontal yotqizilgan lentaning qarshiligi

$$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{1.5l}{\sqrt{bt}} ; \quad (8.32)$$

temir – beton fundamentning qarshiligi

$$R = 1,7 \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{4l}{b} , \quad (8.33)$$

bu yerda l quvurning yoki lentaning uzunligi; t - fundamentning pastki qismidan yoki vertikal elektrodning yuqori qismidan yotqizilish chuqurligi; b - po'lat lentaning eni; d - quvur yoki sterjenning diametri; ρ - tuproqning solishtirma qarshiligi.

Yashin tokining tezlikda oqib tarqalib ketishi natijasida uzun zaminlagichning qarshiligida impulsning frontida kuchlanishning tushishini hosil qiladi. Bu esa elektrodning uzoqda joylashgan qismlaridan tokning olinishini chegaralaydi. Bu holda zaminlash qarshiligi kattalashadi. Yuqorida aytilgan faktorlarning ta'siri hisobga olinganda zaminlash qarshiligiga impuls zaminlash qarshiligi deyiladi.

Faraz qilaylik, tok I vertikal zaminlagichdan boshlang'ich lahzada ($t=0$) oqib tarqalayotgan bo'lsin. Silindr shaklidagi uchqunli zonaning chegarasida uning radiusi r_{iz} bo'lib, elektr maydonning kuchlanganligi

$$E_{tesh} = J\rho = \frac{I}{2\pi r_{iz} l} \rho . \quad (8.34)$$

Bundan impuls zaminlash qarshiligini va impuls koeffitsientini aniqlaymiz. Undan kelib chiqadiki zaminlagichning impuls qarshiligi va impuls koeffitsienti quyidagi formulalar yordamida aniqlaniadi:

$$r_{iz} = \frac{J\rho}{2\pi E_{tesh}} , \quad (8.35)$$

$$R_i = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{2l}{r_{iz}} = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{4\pi d^2 E_{tesh}}{I\rho} , \quad (8.36)$$

$$\alpha_i = \frac{\ln(4\pi^2) \frac{E_{kzh}}{I\rho}}{\ln \frac{2l}{r}}. \quad (8.37)$$

Zaminlagichning qarshiligi undan tok impulsu oqib o'tganda quyidagicha aniqlanadi:

$$R_i = \alpha_i R,$$

bu yerda α_i – zaminlagichning impuls koeffitsienti bo'lib, u 0,45 – 0,87 oralig'ida yotadi.

1. Diametri d bo'lgan quvurdan yoki kengligi b bo'lgan burchakli po'latdan yasalgan va yer yuzasida o'tkazilgan zaminlagichning zaminlash qarshiligini quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R_i = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{4l}{dt}. \quad (8.38)$$

2. Quvur yoki burchakli po'latdan yasalgan va yerga t chuqurlikka ko'milgan zaminlagichning zaminlash qarshigini quyidagicha topiladi:

$$R_i = \frac{\rho}{2\pi d} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right). \quad (8.39)$$

3. Diametri d va yerga t chuqurlikda yotqizilgan trosdan yasalgan zaminlagichning qarshiligi:

$$R_{gt} = \frac{2.3\rho}{2\pi d} \lg \frac{l^2}{dt}. \quad (8.40)$$

4. Yassi po'lat lentadan yoki simdan yasalgan, diametri D bo'lgan halqasimon zaminlagichning zaminlash qarshiligi:

$$R_{III} = \frac{2.3\rho}{2\pi^2 D} \lg \frac{8\pi D^2}{bt}, \quad (8.41)$$

$$R_{kIII} = \frac{2.3\rho}{2\pi^2 D} \lg \frac{4\pi D^2}{dt}. \quad (8.42)$$

5. Eni b va yerga t chuqurlikda yotkizilgan yassi po'latdan yasalgan zaminlagichning zaminlash qarshiligi:

$$R_{II} = \frac{2.3\rho}{2\pi d} \lg \frac{2l^2}{bt}. \quad (8.43)$$

6. Murakkab zaminlash sistemasining qarshiligi:

$$R_{sim} = \frac{R_{III}}{n\eta}, \quad (8.44)$$

bu yerda η - ishlatish koeffitsienti bo'lib, u $\eta = 0,65 - 0,8$ oralig'ida yotadi.

7. O'zaro bir-biri bilan gorizontal bog'langan n ta vertikal elektrodlardan tashkil topgan murakkab zaminlash sistemasining zaminlash qarshiligi:

$$R_{\text{sis}} = \frac{R_{\Gamma} \frac{R_{\Pi}}{n}}{R_{\Gamma} + \frac{R_{\Pi}}{n}} \frac{1}{\eta_{\Sigma}} \frac{R_{\Gamma\Pi}}{n\eta}. \quad (8.45)$$

n ta gorizontal elektrodlardan tashkil topgan murakkab zaminlash sistemasining zaminlash qarshiligi esa

$$R_i = \frac{\rho}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2t} \right). \quad (8.46)$$

Halqa yoki to'g'ri burchakli shakldagi kontur uchun:

$$R_i = \frac{2.3\rho}{2\pi^2 D} \left(\lg \frac{8\pi D^2}{bt} + \frac{\pi D}{4t} \right). \quad (8.47)$$

Agar podstansiyaning zaminlagichi panjara ko'rinishida bo'lib, u vertikal qoqilgan elektrod, hamda bu elektrodlar gorizontal yo'nalishda lenta bilan bog'langan bo'lsa, uning zaminlash qarshiligi quyidagi empirik formula bo'yicha topiladi:

$$R = \rho \left(\frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + nl} \right), \quad (8.48)$$

bu yerda L - barcha gorizontal zaminlovchi elektrodلarning uzunliklarining yig'indisi; n va l vertikal elektrodلar uzunligi va soni; S - zaminlagich egallagan maydon; A - $\frac{l}{S}$ nisbatga teng bo'lgan koeffitsient bo'lib, uning qiymati ma'lumotnomadan olinadi.

Elektr uzatish liniyasida va podstansiyada sun'iy zaminlagich sifatida gorizontal joylashgan bir nechta nurlar yoki konturlar, yana vertikal qoqilgan elektrodلar (quvur, armatura) va gorizontal lenta bilan bog'langan zaminlagichlar qo'llaniladi.

Bundan tashqari, podstansiya egallaydigan maydonning panjara ko'rinishidagi zaminlagich ishlatiladi. Zaminlash havfsizlikni ta'minlashga va yashin tokini yerga o'tkazishga mo'ljallanganligi uchun ular yashindan himoyalagich deyiladi.

Podstansiyada xizmat qilayotgan personalning havfsizligini ta'minlash uchun zaminlash shunday loyihalanishi kerakki, unda U_q va U_t ruxsat etilgan qiymatdan oshib ketmasligi kerak. EUTQga ko'ra zaminlangan neytralda zaminlagich qarshiligi $R \leq 0,5$ om deb olinadi.

Nazorat savollari

1. Zaminlagichning qanday turlari mavjud?
2. Vertikal qoqilgan quvur va sterjenlarning hamda gorizontal yotqizilgan lentalarining qashiligi qanday aniqlanadi?
3. Zaminlagichning qarshiligi qanday aniqlanadi?
4. Yassi po'latdan yasalgan zaminlagichning qarshiligi qanday aniqlanadi?
5. O'zaro bir-biri bilan gorizontal bog'langan n ta vertikal elektroddan tashkil topgan murrakab zaminlash sistemasining zaminlash qarshiligi qanday aniqlanadi?

XULOSALAR

Jamiyatning taraqqiyoti elektr energetika tizimini muvofiq tarzda taraqqiy ettirib borishni taqozo etadi. Bunda ishlab chiqariluvchi va iste'mol qilinuvchi quvvatlarning oshib borishi bilan bir qatorda tarmoqlarni qurish orqali sistemaning faoliyat masshtablari ham kengayib boradi.

Katta elektr quvvatlarini uzoq masofalarga samarali uzatish uchun elektr uzatish liniyalarining va ularga ulanuvchi qurilmalarning kuchlanishlarini oshirish talab etiladi. Bunday qurilma va jihozlarni uzoq va ishonchli ishlashi ko'p jihatdan ularning izolyatsiyalarini samarali ishlashi bilan belgilanadi. Uni ta'minlash izolyatsiya materallarini to'g'ri tanlash va ishlatish orqali amalga oshiriladi.

Hozirgi davrda yuqori kuchlanishli elektr jihozlarida gaz, suyuqlik va qattiq shakldagi izolyatsiyalovchi materallar-izolyatorlardan foydalanilmoqda.

Elektr sistema elementlarining izolyatsiyasiga ta'sir etayotgan kuchlanishning qiymatini, himoyalash apparatlarining xarakteristikasini va izolyatsiya (dielektrik)ning elektrik xarakteristikasini elektr qurilmalarining yuqori samaradorligini va ishonchli ishlashini ta'minlash uchun moslash (muvofiqlashtirish), izolyatsiyani koordinatsiyalash sistema elementlarini loyihalashda bosh texnik-iqtisodiy masala hisoblanadi.

Ma'lumki, elektr qurilmalarini ishlatish jarayonida izolyatsiyada qo'llaniladigan dielektriklarning boshlang'ich holatidagi dielektrik xossalari turli ta'sirlar (qisqa tutashuvlarda, izolyatorlarning ho'llanishi va ifloslanishi) natijasida asta-sekin yomonlashib borishi va mos holda elektrik mustahkamligining pasayishi kuzatiladi. Agar bu jarayon davrida paydo bo'ladigan har xil kamchiliklar o'z vaqtida ilg'anmasa, u elektr qurilmaning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Izolyatsiyaning bunday yomonlashib borishi natijasida uning mustahkamligi ishchi kuchlanishga bardosh bera olmaydigan darajaga-chamacha pasayib ketishi mumkin.

Dielektrikning har bir teshilishi va qoplanishi elektr sistemasi uchun qisqa tutashuv holati deb qabul qilinib, u sistema rejimining buzilishiga olib keladi. Shuning uchun elektr mustahkamligi pasaygan (deffektl) dielektrikni o'z vaqtida yangisi bilan almashtirish yoki

ta'mirlash orqali sistema rejimining buzilishini oldi olinadi. Dielektriklarda elektr mustahkamligi pasaygan deffektli dielektrikni (izolyatorni) o'z vaqtida ilg'ash uchun ekspluatatsiya sharoitida izolyatsiyani har xil elektrik tekshirish usullari ishlab chiqilgan. Bu usullarni qo'llash jarayoni profilaktik tekshirish deb yuritiladi.

Shunday qilib, elektr sistemasining ishonchli ishlashini ta'minlash uning yuqori kuchlanish qurilmalarining izolyatsisida yuz beruvchi jarayonlarni baholash va tahlillash asosida zaruriy tadbirlarni amalga oshirishni talab etadi. Bunday muhim tadbirlarni aniqlash va amalga oshirish ushbu darslikda keltirilgan nazariy va amaliy bilimlarni qo'llash asosida samarali hisoblanadi.

GLOSSARIY

1. Elektr sistemasi – umumiy ish rejimiga ega bo'lgan, issiqlik va elektr energiyalarini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash uchun xizmat qiluvchi issiqlik va elektr stansiyalari, tarmoqlari, tizimlari va iste'molchilari majmuyi

2. Elektr sistemasi elementlari – elektr energiyasini ishlab chiqarish, o'zgartirish, uzatish va taqsimlash jarayonida o'zaro bog'langan hamda ularning ishlash holatini nazorat qiladigan, rostlaydigan va boshqaradigan mashina, qurilma va uskunalari.

3. Elektr sistemasining sistema parametrlari – sistema elementlarining fizik xosasini xarakterlaydigan parametrlar.

4. Elektr sistemasining holat parametrlari – sistemaning holatini son va sifat jihatdan xarakterlaydigan parametrlar majmuasi.

5. Sistemaning holati – ayni bir lahzada sistemaning holatini belgilaydigan vaziyat.

6. Elektr sistemasining normal holati – sistemaning barcha elementlari ishlashga mo'ljallangan, uzoq vaqt davomida ishlay oladigan holat.

7. O'tkinchi jarayon – sistemaning bir ish holatidan boshqa bir holatga o'tish jarayoni.

8. Qisqa tutashuv holati – elektr zanjiri qutblarining cheksiz kichik qarshilik orqali ulangan holati.

9. O'takuchlanish – kuchlanishning nominal kuchlanishdan katta qiymati.

10. Izolyatsiya – qurilmalarning shikastlanishsiz ishlashini ta'minlashga mo'ljallangan dielektrik qatlamlar.

11. Izolyator – qurilmalarning tok o'tkazuvchi qismlarini muhofaza qilishga va izolyatsiyalovchi konstruksiyaga mahkamlashga qo'llaniladigan dielektriklar.

12. Razryadlanish (elektrsizlanish) – dielektrikning tashqi elektr maydon ta'sirida dielektriklik xususiyatini yuqotishi.

13. Razryad turlari – burqsima razryad, uchqunli razryad, yoyli razryad, tojlanish razryadi.

14. Ionlanish – tashqi elektr maydoni ta'sirida neytral molekuladan bitta elektronni uzib olish jarayoni.

15. Ionlanish koeffitsienti – bitta elektronning elektr maydon kuch chiziqlari yo'unalishi bo'yicha 1sm yo'lda bajargan ionlashtirishlar soni.

16. Elektronning erkin yugurish yo'li – bu elektronning boshqa, ionlar yoki elektronlar bilan ketma-ket to'qnashishlari orasidagi masofa.

17. Razryadlanish kuchlanishi – gazli izolyatsiya oralig'ining va dielektrikning izolyatsiyalash xususiyatini butunlay yo'qotadigan kuchlanish.

18. Quruq razryadlanish kuchlanishi – qattiq dielektrikning toza va quruq holatidagi razryadlanish boshlanadigan kuchlanish.

20. Ho'l razryadlanish kuchlanishi - dielektrikning nam holatidagi razryadlanish boshlanish kuchlanishi.

21. Kritik kuchlanish - dielektrlarda razryadlanish boshlanishi uchun zarur bo'lgan kuchlanishning eng kichik qiymati.

22. Volt-sekund xarakteristikasi - dielektrlarning kuchlanish impulsiga dielektrik mustahkamligini baholaydigan kattalik.

23. Razryadlanishning mustaqilligi - tashqi ta'sirsiz kechadigan razryadlanish.

24. Bir jinsli maydon - hamma nuqtalarida maydon kuchlanganligi teng tekis taqsimlangan maydon.

25. Bir jinsli bo'lmagan maydon - elektrodlar orasida maydon kuchlanganligi bir tekis taqsimlanmagan maydon.

26. Elektr maydoni - elektr qurilmalarning tok o'tkazuvchi elektrodlariga kuchlanish qo'yilganda paydo bo'lib, dielektrlarda kechadigan jarayonlarda asosiy ko'rsatkich hisoblanadi. U vektor kattalik bo'lib, ikkita tashkil etuvchidan iborat. Uning ta'sirida dielektrik teshilishi yoki qoplanishi mumkin.

27. Izolyatsiya materiallari - elektr qurilmalarining tok o'tkazuvchi qismlarini izolyatsiyalash uchun qo'llaniladigan gazsimon, suyuq va qattiq ko'rinishdagi dielektrik materiallar.

28. Ichki izolyatsiya - atmosfera va tashqi ta'sirlarga uchramaydigan, elektr qurilmalarining ichki qismlaridagi qattiq, suyuq, gaz yoki ularning aralashmasidan tashkil topgan izolyatsiya.

29. Tashqi izolyatsiya - muhit va boshqa tashqi ta'sirlarga uchraydigan atmosfera havosining qatlamlari va qattiq izolyatsiyaning sirtki qismi.

30. Izolyatsiyaning eskirishi - ishlatish jarayonida tashqi faktorlar - qizish, ho'llanish, silkinish va maydon ta'sirida izolyatsiyalovchi materialning izolyatsiyalash xususiyatini pasayishi.

31. Izolyatsiyani muvofiqlashtirish - elektr qurilmalar izolyatsiyani ichki va tashqi o'takuchlanish satxi bo'yicha muvofiqlashtirish tushiniladi.

32. Tayanch izolyatori - elektr texnik uskuna yoki uning alohida qismlarini mahkamlash uchun xizmat qiluvchi izolyator.

33. O'tish izolyatori - tok o'tkazuvchi qismlarni to'siqlar (devorlar) orqali o'tkazuvchi izolyator.

34. Osmo izolyator - tok o'tkazuvchi qismni yukni ushlab turadigan qurilmaga siljuvchan qilib birlashtirish uchun mo'ljallangan izolyator yoki izolyatorlar shodasi.

35. Tortma izolyator - havodagi elektr uzatish liniyasi tayanchiga simning jami mexanik tortish kuchini beradigan izolyator yoki izolyatorlar shodasi.

36. Elektr mustahkamlik - izolyatsiyaning eng yuqori kuchlanishni ushlay olish qobiliyatini ifodalovchi ko'rsatkich.

1. Александров Г. Н. Ограничение перенапряжений в электрических сетях. Учебное пособие. – СПб.: Издание центра подготовки кадров, 2003. – 214 с.
2. Кобзистый С. Ю. Техника высоких напряжений: изоляция и перенапряжения в электрических сетях. Воронеж: Международный институт компьютерных технологий, 2007. – 104 с.
3. Басманов В.Г. Изоляция и перенапряжение. Учебное пособие. – Киров: ВятГУ, 2005. – 152 с.
4. Электротехнический справочник: Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии./Под общ. ред. профессоров МЭИ. – М.: Издательский дом МЭИ, 2004. - 964 с.
5. Лифанов В. Н. Электроизоляция и перенапряжения. Учебное пособие. - Владавосток: ДВГТУ, 2003. – 128 с.
6. Техника высоких напряжений : Учебник для вузов/ И. М. Багатынков, Ю. Н. Бачаров, Н. И. Гумерова, Г. М. Иманов и др.; под ред. Г. С. Кучинского. - СПб.: Энергоатомиздат, 2003. – 608 с.
7. Голдштейн В. Г., Халилов Ф. Х., Бобров В. П. Перенапряжения и защита от них в электрических сетях 35 – 220 кВ. – Самара.: Изд-во СамГТУ, 2001.- 259 с.
8. Хайдаров С. Д. «Ўта кучланиш ва изоляция» фанидан маъруза матнлари. - Тошкент: ТошДТУ, 2001. – 116 с.
9. Хайдаров С.Д. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Перенапряжение и изоляция». - Ташкент: ТашГТУ, 2008. – 157 с.
10. Курганов В. В. Изоляция и перенапряжение в электроэнергетических системах. Курс лекций по одноименной дисциплине для студентов «Электроэнергетика»ю – Гомел: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010.– 93 с.
11. Базуткин В. В., Ларионов В. П., Пинтал Ю. С. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов /Под общей ред. В. П. Ларионова – 3-е изд., пераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.: ил.
12. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электроэнергетических системах: Учеб. пособие – М.: Изд. «Омега-Л», 2013.

13. Кудратуллаев А. С. Методы и устройство контроля изоляции высокого напряжения. – Ташкент, Издательство «ФАН» Узбекский ССР, 1988. – 212 с.
14. Базуткин В. В., Дмаховская Л. Ф. Расчеты переходных процессов и перенапряжений – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 328 с.
15. Аллаев К. Р. Электромеханические переходные процессы. – Т.: ТГТУ, 2008.
16. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для Вузов. - М: Высшая школа, 1985.
17. Крючков И. П., Старшинов В. А., Гусев М. В., Пираторов. Переходные процессы в электрических системах /под ред И. П. Крючкова/. Учебник для вузов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
18. Герасименко А. А. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие/А.А.Герасименко, В.Т.Федин. – Красноярск: Издательские проекты, 2006.
19. Jan Machowski, Janusz W.Bialek, James R.Bumby. Power System Dynamics: Stability and Control. Second edition – West Sussex, PO19 8SQ, UK, John Wiley & Sons, Ltd. 2008.
20. M.S.Naidu, V.Kamaraju. High Voltage Engineering./ Second Edition./ McGraw-Hill. New York, San Francisco, 2006.
21. Корякин – Черняк С. Л. и др. Электротехнический справочник. – СПб.: Наука и техника, 2009.
22. Справочник по электрическим сетям 35–1150 кВ. – М.: ОАО «Энергосетпроект», 2004.
23. Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 – 1150 /Под ред И. Т. Горюнина, А. А. Любимова. – М.: Папирус ПРО, 2003.
24. Правила устройств электроустановок. 7-е изд. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002.
25. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М.: Издательства НЦ ЭНАС, 2003. – 454 с.
26. www.energystrategy.ru
27. www.uzenergy.uzpak.uz
28. www.ZiyoNet.uz
29. www.Kniginfo.ru

T. SH. GAYIBOV

YUQORI KUCHLANISH TEXNIKASI

Muharrir *Axtam Ro'zimurotov*
Badiiy muharrir va texnik muharrir *Dilmurod Jalilov*
Sahifalovchi *Madina Abdullayeva*
Musahhih *Nigora G'aniyeva*

Nashriyot litsenziyasi AI № 315. 24.11.2017.
2020-yil 8-oktabrda bosishga ruxsat etildi.
Bichimi 60x84 $\frac{1}{16}$. Times New Roman garniturası.
Ofset bosma. 13,5 shartli bosma taboq. 12,5 nashr tabog'i.
Adadi 220 nusxa. 147 raqamli buyurtma.
Bahosi shartnoma asosida

YOSHLAR NASHRIYOT UYI.
Shayxontohur tumani, Navoiy ko'chasi, 11-uy.

«Yoshlar matbuoti» MCHJda chop etildi. 100113. Toshkent,
Chilonzor-8, Qatortol ko'chasi, 60.