

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

**ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT  
DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

## **“O‘TA KUCHLANISH VA IZOLATSIYA”**

fanidan laboratoriya ishlari uchun uslubiy ko‘rsatma

**Toshkent–2014**

UDK 621.315

Tuzuvchilar: S.J. Xaydarov, H.O'. Omonova “O‘ta kuchlanish va izolatsiya” fanidan laboratoriya ishlari uchun uslubiy ko‘rsatma – Toshkent, ToshDTU, 2014. 83 b.

Uslubiy ko‘rsatmada “O‘ta kuchlanish va izolatsiya” fanidan laboratoriya ishlarini bajarish, ular asosida hisobotlarni rasmiylashtirish bo‘yicha ko‘rsatmalar va zaruriy ma’lumotlar berilgan. Har bir laboratoriya ishi bo‘yicha ishdan maqsad, nazariy ma’lumotlar, ishni bajarish tartibi, sinov savollari keltirilgan.

Ko‘rsatma 5310200 – “Elektr energetikasi” ta’lim yo‘nalishida tahsil oluvchi bakalavriat talabalari uchun mo‘ljallangan.

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashi qaroriga muvofiq chop etildi.

Taqrizchilar: A.S. Quدراتillayev – O‘zbekiston FA Energetika va avtomatika instituti yuqori kuchlanishlar laboratoriyasining mudiri, texnika fanlari nomzodi

A.Q. Yo‘ldoshev – Toshkent davlat texnika universiteti “Elektr mexanika, elektr texnika va elektr texnologiyalari” kafedrasining dotsenti, texnika fanlari nomzodi

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2014

## SO‘Z BOSHI

Ushbu uslubiy ko‘rsatmada bakalavriatning 5310200 – “Elektr energetikasi” ta’lim yo‘nalishining “Elektr stansiyalari, elektr tarmoqlari va tizimlari”, “Shaharlar va korxonalarni elektr energiyasi bilan ta’minlash” va “Izolatsiya va kabel texnikasi” mutaxassisliklarining o‘quv rejasiga moslangan “O‘ta kuchlanish va izolatsiya” faniga oid laboratoriya ishlari bo‘yicha ko‘rsatmalar keltirilgan.

Har bir ish hajmiga ko‘ra belgilangan soatga mo‘ljallangan bo‘lib, unga tayyorgarlik va texnika xavfsizligi ko‘rsatmalarini berish vaqtlari ham ko‘zda tutilgan.

Hozirgi kunda respublikamiz hududidagi energetika resurslaridan unumli foydalanishni tashkil etish aktual masalalarga kiradi. Elektr energiyasini ishlab chiqarish va uni uzoq masofalarga uzatish masalalari hozirgi kunning dolzarb muammolari hisoblanadi. Jamiyatdagi texnik taraqqiyot ko‘p jihatdan energetikada erishilgan yutuq bilan baholanadi va u davlatning industrial quvvatini belgilaydi.

Shuni ta’kidlash lozimki, elektroenergetika muammolarining asosiyalaridan biri faqatgina elektr sistema elementlarining birlik quvvatini oshirishgina emas, balki quvvatning uzatilish masofasini oshirish hamdir. Energetikaning rivojlanishi elektr energiyasini uzoq masofaga uzatish uchun mo‘ljallangan yuqori kuchlanishni qo‘llash bilan chambarchas bog‘langan. Elektr energetik sistemalarda yuqori kuchlanishni kiritish bir qancha murakkab ilmiy texnik muammolarni yechishni talab etadi. Shulardan biri elektr izolatsiyaga mansub bo‘lgan muammolardir. Elektr sistemasida qo‘llanilayotgan elektr qurilmalarning izolatsiyasini loyihalashda asosiy masala “izolatsiya sathini”, ya’ni izolatsiya shikastlanmasdan chidaydigan kuchlanishni aniqlash.

Elektr sistemani ekspluatatsiya qilish davrida ularda sodir bo‘ladigan har xil tashqi (atmosfera) va ichki (kommutatsiya va keskin holat o‘zgarishlarida) sabablarga ko‘ra izolatsiyaga nominal kuchlanishdan anchagina ortiq bo‘lgan kuchlanish ta’sir etadi.

Elektr tarmoqlarida kommutatsiya vaqtida (sistema elementlarini qo‘shish va o‘chirish, sistemadagi qisqa tutashuvlarni o‘chirishda) sistemada kommutatsiya o‘ta kuchlanishi va kommutatsiya impulsi paydo bo‘ladi.

Zaminlanmagan (sistemaning neytrali izolatsiyalangan yoki rezonansli zaminlangan) o‘zgaruvchan tok tarmoqlaridagi elektr qurilma-

larga, kommutatsiya vaqtida kuchlanishning ma'lum vaqtga uning nominal kuchlanish qiymatidan oshirilgan qiymati ruxsat etiladi.

Ma'lumki, yerdan to'la izolatsiyalangan o'tkazgichga (havo elektr uzatish yo'lining simlari, elektr qurilmalarining korpuslari) yashinning bevosita urilishidan unda bir necha million voltga yetadigan kuchlanishning paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin. Bu qiymatdagi kuchlanishga hech bir elektr qurilmasining izolatsiyasi dosh bera olmaydi. Shuning uchun elektr sistemaning normal ishlashini ta'minlash maqsadida turli xildagi tadbirlar qo'llaniladi, ya'ni muhofazalovchi troslar va yashin qaytargichlar. Yana elektr sistema elementlarining izolatsiyasiga ma'lum darajada maxsus tadbirlarni qo'llash natijasida pasaytirilgan atmosfera o'ta kuchlanishi ta'sir etadi. O'ta kuchlanish qiymati faqatgina yashinning xarakteriga bog'liq bo'lmasdan, balki elektr sistemada qo'llanilayotgan himoya elementlarining xossalariga ham bog'liqdir.

Izolatsiyaning elektr mustahkamligi, o'ta kuchlanish ta'sir etish vaqtining o'sishi bilan kamayib boradi, ya'ni bu izolatsiyaning konstruksiyasiga va izolatsiya tayyorlangan material (dielektrik)ning tarkibi hamda uning fizik-kimyoviy xossalariga ham bog'liq. Bir xil amplitudali ichki va tashqi o'ta kuchlanishning ta'siri bir xil bo'lmaydi. Shu sababdan izolatsiya sathining o'ta kuchlanishini bir qiymat bo'yicha xarakterlash to'g'ri bo'lmaydi. Shuning uchun izolatsiyani koordinatsiyalash ichki va tashqi o'ta kuchlanish bo'yicha tanlanadi va xarakterlanadi.

Elektr sistemada qo'llanilayotgan yuqori kuchlanish uskunalari ekspluatatsiya jarayonida nafaqat ishchi kuchlanish ta'sirida bo'lmasdan, balki chaqmoq va kommutatsiya – impuls kuchlanishi ta'sirida ham bo'ladi.

Elektr ta'minotida qo'llaniladigan uskuna va apparatlarning ishlash xususiyatini va izolatsiyasining mustahkamligini aniqlash uchun yuqori kuchlanishlar laboratoriyasida sinovlar o'tkaziladi. Bunday laboratoriyalar o'zgaruvchan, o'zgarmas va impulsli tok transformatorlari va generatorlari bilan jihozlangan bo'lib, kerakli kuchlanish qiymatini olish uchun maxsus rostlash va o'lchov uskunalari ham ishlatiladi. Bu kurs bo'yicha laboratoriya ishlarining asosiy maqsadi talabalarni ToshDTU yuqori kuchlanishlar laboratoriyasiga o'rnatilgan uskunalarning ishlash prinsiplari bilan tanishtirib chiqish va talablarga javob beradigan sinovlar o'tkazilishi uchun asos yaratishdan iboratdir.

# **1- laboratoriya ishi.**

## **SINOV VA O'LCHOV USKUNALARI. SINOV TRANSFORMATORINI DARAJALASH**

**Ishdan maqsad:** yuqori kuchlanishni o'lchashda va sinashda qo'llaniladigan o'lchash va sinov asboblari, shu jumladan sinov transformatori va o'lchash uskunalarining hamda impuls kuchlanishlar generatorlarining ishlash prinsipi va o'lchash usullari bilan tanishish. Sinov transformatoridan foydalanib elementlarning o'lchash chegarasini tekshirish va xarakteristikalarini bilan tanishish.

Yuqori kuchlanish uskunalarining izolatsiyasi ekspluatatsiya jarayonida faqat ishchi kuchlanish ta'sirida bo'lib qolmasdan balki kuchlanish impulsining (kommutatsiyali va chaqmoqli) ta'sirida bo'lib qolishi mumkin.

Sistema elementlari izolatsiya konstruksiyalari va ularni izolatsiya-lovchi elementlarning ishlash qobiliyati va ishonchliligi to'g'risida fikr yuritish uchun ularni laboratoriya yoki sanoat (dala) sharoitida sinash kerak. Sanoat chastotasida o'zgaruvchan kuchlanishda sinovlar o'tkazilayotganda yuqori kuchlanishning amplituda-viy, ta'sir etuvchi qiymatlarini o'lchash bilan birga sinov kuchlanishining shaklini nazorat qilishga ham to'g'ri keladi. Bu laboratoriyada kuchlanish turlarining manbai – transformatorlar va transformatorlar kaskadi, to'g'rilagich uskunalari, elektrostatik generatorlar, chaqmoq va kommutatsiya impuls kuchlanishi generatorlari hisoblanadi.

Yuqori kuchlanishdagi o'lchash asboblari – sharli o'lchash razryadlagichlari va elektrostatik voltmeter sinalayotgan obyektlarga bevosita ulanadi hamda kuchlanishni o'lchash vaqtida yuqori kuchlanish ostida bo'ladi. Ancha yuqori kuchlanishlar, toklar hamda tez kechayotgan jarayonlarni o'lchash ma'lum qiyinchiliklarga olib keladi va uni amalga oshirish uchun maxsus apparaturalar va qurilmalar (kuchlanishni bo'lgichlar, sharli razryadlagichlar, amplitudaviy voltmترلar, ossilloqraflar)ni qo'llashni taqozo etadi. Past kuchlanishdagi o'lchash asboblari esa yuqori kuchlanish zanjiriga kuchlanishni bo'lgich yoki pasaytiruvchi transformator yordamida ulanadi.

Sharli o'lchov razryadlagichlari yuqori kuchlanishni bevosita o'lchash yoki yuqori kuchlanishni o'lchashga mo'ljallangan boshqa o'lchov asboblari va uskunalarini darajalashda qo'llaniladi.

Asosan darajalash sharli razryadlagich yordamida o'lganayotgan kuchlanish bilan sinalayotgan uskunalarning o'lchash zanjiriga ulangan o'lchash asboblarning ko'rsatishi orasidagi bog'lanishni o'rnatish hisoblanadi.

**Sinov sharoitiga talablar:** sinov sharoitini izolatsiyaning ishlash sharoitiga maksimal yaqinlashtirish va aniqroq natija olish uchun bir qancha shartlar bajarilishi kerak:

1. Sig'imi elektr maydon shakliga ta'sir ko'rsatuvchi va tashqi elektrmagnit maydon ta'sirini bartaraf etish uchun katta o'lchamli predmetlarni sinov va o'lchov olib borilayotgan joydan uzoqlashtirish kerak. Buning uchun zaminlangan yoki o'zga kuchlanish ostidagi o'lchamli katta uskunalar sinov obyektidan ma'lum bir masofada bo'lishi kerak. Misol uchun kuchlanishi 220 kVdan yuqori kuchlanishda sinov o'tkazilsa, qayd etilgan masofa sinov obyekti o'lchamiga nisbatan 2-3 marta katta bo'lishi kerak.

2. Tashqi maydonning o'lchash natijalariga ta'sirini bartaraf etish uchun sinov maydoni maxsus o'tkazuvchi ekran – Faradey qafasi ichiga olinadi. Ekran ishonchli zaminlangan bo'lishi kerak. Bu haqiqatan ham tashqi maydon ta'sirini va elektromagnit maydon tarqalishini bartaraf etadi.

3. Asosiy talablardan yana biri bu – sinov jarayonida texnika xavfsizligi qoidalariga rioya qilish va zaminlash jamlamasining qarshiligi 0,5 Om dan katta bo'lmasligini ta'minlash.

4. Potensiallarning taqsimlanishini tekislash uchun inshootning poliga setka to'shalishi va sinalayotgan obyekt ham aktiv qarshilikli fol-galar yordamida yer ustidagi nuqtalarda zaminlanishi kerak.

5. Sinov maydoni shunday tanlanishi zarurki, sinalayotgan obyektidan – laboratoriya devorlari va doimiy to'siqlarga hamda elektr qurilmalarining zaminlangan qismlarigacha bo'lgan masofa tavsiya etilgan normaga mos kelishi va oldinda ko'zda tutilmagan yo'nalish bo'yicha razryadlanishning rivojlanishiga yo'l qo'ymaslik kerak.

## **1. Yuqori kuchlanish uskunalari**

### **1.1. Impulsli kuchlanish generatorlari**

Yuqori kuchlanish elektr qurilmalarining izolatsiyasi yashin urilishida impuls kuchlanish ta'siriga tushib qoladi. Ma'lumki, izolatsiyaning razryadlanish kuchlanishi impuls shakliga va uning davom etish vaqtiga bog'liqligi uchun sinov impulsini normallashtirish zarur. Izolat-

siyani sinash uchun qo'llaniladigan normallashtgan aperiodik impuls-larni impuls kuchlanish generatori (IKG) uskunasi yordamida olish mumkin. Impuls kuchlanish generatorining sxemasi va elementlarin-ing parametrlari ma'lum bo'lsa, uning chiqishidagi kuchlanish shakli-ni quyidagi formula yordamida topish mumkin:

$$U = nU_0(e^{\frac{t}{T_1}} - e^{\frac{t}{T_2}}) \quad (1)$$

bu yerda:  $T_1 \cong (Kp + Rdg)(Sg + Sx)$ ;  $T_2 \cong Cx(Rf + Rdg)$

$Rdg$  – IKG pog'onalarining tinchlantirish (dempferlash) qarshilik-larining yig'indisi.

Kuchlanish impulsining fronti  $T_2$  bilan aniqlaniladi. Impuls fron-tining davom etish vaqti  $t_f$  kuchlanishning, maksimal kuchlanishning 90% va 30% qiymatlariga teng bo'lgan vaqtlari orasidagi farqdan 1,67 marta katta deb aniqlanadi.

Agar  $t_f$  vaqt ichida impulsning  $e^{\frac{t}{T_1}}$  tashkil etuvchisi ( $T_1 \gg T_2$ ) so'nmasa, unda (1) o'rniga  $\frac{U}{nU_0} = 1 - e^{\frac{t}{T_2}}$  ni yozishimiz mumkin. Frontn-ing hisobiy uzunligini quyidagi tenglamalarni yechib topish mumkin:

$$0,3 = 1 - e^{\frac{t}{T_2}}; 0,9 = 1 - e^{\frac{t}{T_2}}, \text{ bundan } t_f = 3,22T_2 \cong 3,2Cx(Rf + Rdg)$$

$$t_f = \frac{t_2 - t_1}{0,9 - 0,3} = 1,67(t_2 - t_1) \quad (2)$$

Impulsning uzunligi  $t_i$  amalda  $T_1$  doimiy vaqt bilan aniqlanadi.

$$t_i = 0,69T_2 \cong 0,69(Kp + Rdg)(Sg + Sx) \quad (3)$$

Yuqoridagi (2) va (3) formulalarda IKGning parazit sig'implari hi-sobga olinmagan, chunki ularni hisobga olish qiyin va noaniq.

IKGda dastlab kondensatorlar katta  $r_{himoya} \gg r_{so'ndirish}$  qarshiliklar orqali bir vaqtda zaryadlanadilar. Natijada, toq sonlar bilan belgilan-gan tugunlar potentsiali nolga, juft sonlar bilan belgilangan tugunlar potentsiali esa transformator kuchlanishi ( $U_0$ )ga teng bo'ladi. 2 - 3, 4 - 5 va hokazo tugunlariga ulangan qo'sh shar (QSH) uchqun oraliqlari ( $U_0$ ) shunday tanlanadiki,  $U_0$  kuchlanishi birinchi  $U_0$  da uchqun ho-sil qilsin. Natijada 3-tugun 2-tugun potentsialini oladi, 4-tugun po-tentsiali esa  $2U_0$  ga ko'tarilib, ikkinchi  $U_0$  da uchqun hosil qiladi, 6-tugun potentsiali  $3U_0$  ga keltiriladi va h.k. Ketma-ket  $U_0$  lar teshilishi kondensator  $S$  lar ketma-ket ulanib,  $n$  tugunda  $nU_0$  qiymatli kuchla-

nishni hosil qiladi va ajratuvchi UO da uchqun hosil bo'lishiga olib keladi. Shuning bilan sig'imning to'plagan energiya impulsi sig'imi-ning  $R_1$  qarshilik orqali zaryadlanishi,  $S_1$  ning esa zaryadsizlanishi boshlanadi.  $S_2$  sig'im zaryadlanib bo'lgandan keyin u ham  $R_2$  qarshilik orqali zaryadsizlanish boshlaydi.  $S_2$  sig'imning zaryadlanish vaqti sinov obyektida hosil bo'lgan to'lqin frontini,  $S_1$  va  $S_2$  sig'irlarning  $R_2$  qarshilik orqali zaryadsizlanishi esa bu to'lqin uzunligini aniqlaydi.

### **1.2. O'zgarmas kuchlanish sinov uskunalari**

Laboratoriya sharoitiga o'zgarmas tok kuchlanishi o'zgaruvchan tok kuchlanishini to'g'rilash yo'li bilan olinadi. Bu maqsadda keno-tron yoki yarimo'tkazgichli (germaniy, selen yoki kremniy moddalari asosida ishlangan) to'g'rilagichlar (o'zgartirgichlar) ishlatiladi. Ish us-lubi sodda bo'lgani uchun yarim o'tkazgichli to'g'ri-lagichlar qo'llanilishi maqsadga muvofiq. Ularni ketma-ket ulab, qiymati 100-200 kV o'zgarmas kuchlanish olish mumkin. Faqat to'g'rilagichlarni tanlab olishda ularning volt-ampere xarakteristikasi bir xil bo'lishiga ahamiyat berish kerak.

ToshDTUning yuqori kuchlanishlar laboratoriyasidagi to'g'rilagich qismlari qo'shimcha kondensatorlar bilan rostlangan. Sinov jarayonida yarimo'tkazgichlarning ichki yoki sirtqi qismlari bo'ylab teshilish xavfini bartaraf qilish uchun to'g'rilagich yog' to'ldirilgan idishga joylashtirilgan.

O'ta kuchlanishlar hosil etish uchun ko'paytirish sxemalari qo'llaniladi. Hozirgi vaqtda yuqori kuchlanish texnikasida qo'llani-layotgan kuchlanishi 3200 kV, tok kuchi 100-200 mA bo'lgan o'zgarmas kuchlanish generatorlari mavjud.

### **1.3. Yuqori kuchlanishni o'lchash asboblari**

Ma'lumki, voltmetrni yuqori kuchlanish tarafiga bevosita ulash noqulay va kuchlanish 100 kVdan oshsa, umuman mumkin emas. Kuchlanishni past kuchlanish tarafida voltmetr bilan o'lchab, keyinc-halik yuqori kuchlanish tarafiga hisoblab keltirish esa juda katta xato-liklarga olib keladi. Shu sababdan sanoat chastotasidagi yuqori kuch-lanishlarni, impuls kuchlanishlar va o'zgarmas tok kuchlanishini o'lchash texnikasida o'lchash chegarasini kengaytiradigan va past kuchlanishli apparaturalardan foydalanishga imkon beradigan kuchla-

nishni bo'lgich va amplitudaviy voltmetr ko'rinishida sharli razryadlagichlarni (SHR) qo'llash mumkin.

Sharli razryadlagichlar ko'pincha har xil elektr uskunalarida komutatsiyalovchi elementlar ko'rinishida qo'llaniladi.

Sharli razryadlagichlar havo oralig'ining teshilishi unga qo'yilgan kuchlanishning amplitudasi bilan aniqlanadi va sharning ma'lum o'lchamida hamda havoning ma'lum nisbiy zichligida, bu havo oralig'ining uzunligi kuchlanishning o'lchovi bo'lib xizmat qilishi mumkin. Teshilish kuchlanishini aniqlash MEKning har xil kuchlanish turlari va sharli razryadlagichlarning ulanish sxemalariga (ikkala shar ham kuchlanishga qo'yilgan – simmetrik sxema; sharlardan biri zaminlangan nosimmetrik sxema) moslanib tuzilgan maxsus jadval yordamida bajariladi. MEKning jadvali normal atmosferada sharoiti: nisbiy zichlik

$\delta=1$ , atrof-muhit harorati  $t=20^{\circ}\text{C}$ , bosimi  $R=101,3\text{ kPa}$  (760 mm.sim.ust) uchun tuzilgan. Atmosfera havosining boshqa parametrlari uchun tuzatish koeffitsientlari kiritiladi  $U = U_{\delta}$ , bu yerda:

$$\delta = 0,386 \frac{P}{t^0 + 273}.$$

Sharlar standartlashtirilgan va o'lchashlarni bajarishda ularning o'lchamlari shunday tanlanadiki, teshilish paytidagi sharlar orasidagi masofa shar diametrining yarmidan  $\left(s \leq \frac{D}{2}\right)$  oshmasligi kerak. Shar standartlangan va ularning diametri – 2; 5; 6,25; 10; 12,5; 15; 25; 50; 75; 100; 125; 150; 175; 200 smga teng, bu holda o'lchash natijalarining xatoligi 5% dan oshmasligi aniqlangan. Laboratoriyaning joylarini tejash maqsadida diametri 50 sm dan katta bo'lgan sharli razryadlagichlar vertikal o'rnatiladi va pastki shar zaminlanadi.

Yuqori kuchlanishlarni o'lchashda ko'pgina kuchlanishni bo'lgichlar qo'llaniladi. Ular toza qarshilikli, sig'imli va sig'imli-qarshilikli ko'rinishlarda bo'ladi.

Bu o'lchov asbobi to'rt qutbli bo'lib, uning kirishiga o'lchanayotgan kuchlanish beriladi va chiqishidagi signal pasaytirilib, o'lchash asboblari (voltmetrga, ossillograf plastinasiga va hokazoga) beriladi. Bunda uzatilayotgan signalni buzmasdan uzatishning sharti o'lchanayotgan kuchlanish formasini takrorlashdir. Bu yuqori kuchlanish va o'lchash qismining aniq o'lchashligidagina mumkin.

Bunga turli xil o'lchash sxemalarini va kuchlanishni bo'lgichlarning turli konstruksiyasini qo'llash orqali erishiladi.

Sig'imiyl bo'lgichlar alohida kichik sig'imli impuls kondensatorlaridan yig'iladi. Natijaviy sig'im ko'pincha  $10^{-10}$  F atrofida qilib yig'iladi va bu sig'imning o'lchashga ta'sirini kamaytirish maqsadida u yerga nisbatan zararli sig'imdan ancha katta bo'lishi kerak. Ko'pincha natijaviy sig'im sifatida namunaviy va o'lchov kondensatorlari ishlatiladi. Shuning uchun sinov transformatori kuchlanishini o'lchash uchun sinov kondensatorlari qo'llaniladi. Misol uchun 600 kVli sinov transformatorining kuchlanishini o'lchash uchun 14 atm.bosimda karbonat angidrid gazi bilan to'ldirilgan namunaviy kondensator MCF 60/600 qo'llaniladi.

Odatda, yuqori kuchlanish qiymatini o'lchash uchun qo'shsar razryadlagichlari (QSHR) hamda kuchlanishni taqsimlab o'lchash (KTU) uskunalari qo'llaniladi. QSHR yordamida kuchlanishning absolut qiymati o'lchansa, KTU uskunasi yordamida esa bunga qo'shimcha ravishda kuchlanish shaklini ham ko'rish mumkin. QSHR uskunasining ish prinsipi havo izolatsiyasi teshilishining kuchlanishi qiymatiga bog'liqligiga asoslangan. Shuning uchun sharlarning o'l-chamiga, ularni ulash sxemasiga va kuchlanish turiga qarab sharlar orasidagi masofa "S" kuchlanish o'lchovi birligi sifatida ishlatiladi. Odatda sof aktiv qarshilikli KTU uskunasi rostdash uchun maxsus ekranlar (E) ishlatiladi. Bu uskunaning yuqori kuchlanish qismidagi zararli sig'imlarning kuchlanish taqsimotiga ta'siri kamaytirilib, qisqa impulslarni o'lchash uchun zamin tayyorlanadi. KTU uskunasi asosiy parametri kuchlanishni taqsimlash koeffitsientlaridir,  $K_d = nR_1R_2$  yoki  $K_d = nC_2C_1$ . Bu yerda  $n$  KTU uskunasi qo'llanilgan  $R_1$  qarshiliklar va  $S_1$  sig'imlar soni.

Ko'pchilik hollarda izolatsiya konstruksiyaning elektrik mustahkamlik xarakteristikasi sezilarli darajada kuchlanish shakliga bog'liq. Shu sababdan sinov kuchlanishining faqat qiymati emas, balki uning o'zgarish egri chizig'ining shakli ham normallashtiriladi, chunki uning ikkala davri ham bir-biriga yaqin bo'lib sinusoidal shaklda bo'lishi kerak.

#### **1.4. Sinov transformatori**

Sinov transformatori (ST) yuqori kuchlanish texnikasi laboratoriyasining asosiy elementlaridan biri hisoblanadi. Ular bir fazali (chulg'amli) qilib tayyorlanadi va uning nominal kuchlanishi 1 mln volt dan

oshib ketishi mumkin. Nominal kuchlanishi 250 kV gacha bo'lgan sinov transformatorlari 0,1÷1,0 A tokka tayyorlansa, undan yuqoriroq nominal kuchlanishga esa 1-10 A tokka mo'ljallab tayyorlanadi. Quyidagi 1.1-jadvalda sinov transformatorlarining parametrlari keltirilgan.

1.1-jadval

| Qisqacha nomi | Rusumi           | Kuchlanish qiymati, kV | Nominal quvvati, kVA | To'liq shakli | $U_k$ , % | $I$ , A |
|---------------|------------------|------------------------|----------------------|---------------|-----------|---------|
| ST            | PEO<br>350/700   | 700                    | 350                  | 50 Hz         | 12,8      | 0,5     |
| ST            | FREO<br>2100/600 | 600                    | 2400                 | 50 Hz         | 10        | 3,3     |
| ST            | IOM<br>100/100   | 100                    | 100                  | 50 Hz         | -         | 1,0     |
| ST            | SH<br>100/10     | 100 (50)               | 10                   | 50 Hz         | -         |         |

Kuch transformatorlariga nisbatan sinov transformatorlarining chulg'amlararo va bosh izolatsiyasining elektr mustahkamligi anchagina past bo'ladi. Shu sababdan sinov transformatorlarini qo'shish qoidalarini va unda kuchlanishni o'zgartirishni juda aniq bajarish kerak. Ya'ni sinov transformatoriga uning nominal kuchlanishidan 25% ortiq kuchlanishni zarb bilan berib bo'lmaydi. Kuchlanishning ko'tarilish tezligi 1kV/s dan oshmasligi kerak. Zavod va firmalar beradigan yo'riqnomalarda bu talablar aniqlashtiriladi.

Sinov transformatorining birlamchi tomoniga ulangan o'lchov asbobi yordamida yuqori kuchlanishni o'lchashda, o'lchash asbobining darajalashi sinalayotgan obyekt sinov transformatorining yuqori kuchlanish tomoniga ulangan holda amalga oshiriladi. Uning birlamchi chulg'amiga tarmoqdan rostlovchi transformator yordamida o'zgaruvchi  $U_1$  kuchlanishi beriladi va ikkilamchi chulg'amidan  $U_2$  yuqori kuchlanishning qiymati olinadi.

Ba'zan sinov transformatorlari ikkita yuqori kuchlanishga mo'ljallangan kirishli qilib bajariladi. Bu holda chulg'amlarning o'rtasi zaminlanadi va har bir kirish nominal kuchlanishning yarmiga mo'ljallanib hisoblanadi. Bu ayniqsa 500 kV va undan yuqori kuchlanishlar

uchun jiddiy, chunki kirishlarning izolatsiyasini bajarish og'irlashib boraveradi.

Bir kirimli sinov transformatorining afzalligi (yuqori kuchlanish chulg'amining oxiri zaminlangan) uning izolatsiyani sinash sharoitining ekspluatatsiya sharoitiga maksimal yaqinligidir.

Yuqori kuchlanish izolatsiyasini va yuqori kuchlanish kirishining izolatsiyasini tashkil etish bilan bog'liq bo'lgan qiyinchiliklarini bartaraf etish, sinov transformatorlarini kaskad ko'rinishda ulashni keng qo'llanishga olib keldi. Lekin kaskad ko'rinishida ulanadigan sinov transformatorlarining soni 2-3 tadan oshmaydi. Bu chegaralashlar razryad paytida kaskad elementlarida o'ta kuchlanishning paydo bo'lishi bilan chegaralangan. Zamonaviy kaskadlar 3 mln Volt va undan yuqori kuchlanishlarni olishga mo'ljallanib ko'riladi. Hozirgi vaqtda sinov transformatorlarining kaskad sxemasi keng qo'llanilmoqda, unda har bir keyingi sinov transformatori o'zidan oldingi pog'onadagi sinov transformatorida ko'zda tutilgan va uning yuqori kuchlanish chulg'ami bilan avtotransformator aloqada bo'lgan maxsus qo'shimcha qo'zg'atish chulg'amidan ta'minlanadi. Bu holda sinov transformatorining qo'zg'atish chulg'amida va past kuchlanish chulg'amlarida kuchlanish bir xil bo'ladi, lekin qo'zg'atish chulg'amining potentsiali, ikkilamchi chulg'am kuchlanishiga teng qiymatdan yuqori bo'ladi. Maxsus chulg'amli sinov transformatoridan PEOI 350/700 rumli sinov transformatori keng tarqalgan.

Yopiq binolarda o'rnatishga juda qulay bo'lgan TUR firmasining korpusi izolatsiyalangan sinov transformatori kaskadini qaraymiz. Kaskad transformatorlarining korpusi metall belbog'li getenaksdan tayyorlangan bo'lib, "Bashnya" sxemasi bo'yicha bir-biriga o'rnatilgan. Ular kaskad yoki parallel hamda alohida ishlanishi ham mumkin. Sinov transformatorining past kuchlanish chulg'amiga uchinchi, beshinchi va ularga karrali garmonikalarni yo'qotishga mo'ljallangan drossel va  $12,5 \div 7,5$  pF kondensatorlardan iborat filtr ulangan.

Yuqori kuchlanish sinov obyektiga  $r_{\text{so'ndirish}}$  qarshilik orqali beriladi. Bu yo'l bilan sinov transformatorini sinov obyektining sirtida razryad rivojlanishidan hosil bo'ladigan katta toklardan yoki sharlar orasidagi masofa teshilganda kuchlanish keskin kesilishining asoratlari-dan muhofaza qilish mumkin bo'ladi.

Rostlash uskunasining kuchlanishi  $U_1$  sinov transformatorining quvvatiga asoslanib tanlanadi. Quvvati 250 kV gacha bo'lgan sinov transformatorlari uchun PHO, ROT va ROTM turidagi rostlash transformatorlari mo'ljallangan. Katta quvvatli ST uchun maxsus yuqori kuchlanish avtotransformatorlari qo'llaniladi. Misol uchun FREO 2400/600 rusumli sinov transformatorida  $U_1$  kuchlanish qiymatini 0 dan 6 kV gacha ko'tarish uchun quvvati 1000 kV bo'lgan ikki avto-transformator qo'llanilgan.

Yuqori kuchlanish chulg'ami izolatsiyasi odatda ko'p qatlamli qog'oz izolatsiyadan iborat bo'lib, qatlamlari orasiga izolatsiyalovchi silindr qo'yilgan bo'ladi. Razryad vaqtida paydo bo'ladigan o'ta kuchlanishni kamaytirish uchun yuqori kuchlanish chulg'aming, chulg'am oxiriga (yerga) nisbatan sig'imini oshirish uchun metaldan yasalgan ekran o'rnatiladi. Past kuchlanish chulg'amiga ekran o'rnatish razryad paytida yuqori potensialning sig'imi uzatishini kamaytiradi.

### **1.5. Sinov transformatorini darajalash**

Ikkilamchi (yuqori kuchlanish) kuchlanishni birlamchi kuchlanishning qiymatidan foydalanib ma'lum transformatsiyalash koeffitsientni qo'llab aniqlash ancha qulay.

$$U_2 = K_T U_1$$

Lekin bu holda sinalayotgan obyektning sig'imi bilan aniqlanadigan, sinov transformatorining chulg'ami bo'ylab tokning oqib o'tishi va sinov transformatorining to'yinishi bilan bog'liq bo'lgan yo'l qo'yib bo'lmaydigan xatolikka olib keladi. Quyidagi 1.1-rasmda keltirilgan vektor diagrammasidan  $\frac{U_2}{U_1}$  kuchlanishlar nisbatiga yukla-

ma sig'im tokining ta'siri illustratsiya qilingan, shuning uchun ikkilamchi kuchlanish  $U_2$  ni yanada aniqroq aniqlash uchun ommaviy sinovlarda sharli razryadlagich yordamida laboratoriya yo'li bilan olingan  $U_2=f(U_1)$  darajalash egri chizig'idan foydalaniladi.

Ma'lumki, shar-shar oraliqqa mansub bo'lgan bir qancha afzalliklarga ega bo'lgan sharli razryadlagichlar yuqori kuchlanish laboratoriyalarida amplitudaviy voltmetr sifatida qo'llaniladi. Sharlar orasidagi masofaning keng diapazonda  $S \leq 0,5D$  o'zgarishida bu oraliq o'lchashning ancha turg'un natijalarini beradi. Impulslar koeffitsienti

birga yaqin. Shar-shar oralig'i boshqa oraliqlarga qaraganda ixchamdir.

Sinov transformatorining boshqarish sxemasini o'z ichiga olgan laboratoriya ishining prinsipial sxemasi 1.2-rasmda keltirilgan.

Sharli razryadlagich yordamida transformatorlarni darajalash ikkita usul bo'yicha amalga oshirilishi mumkin.

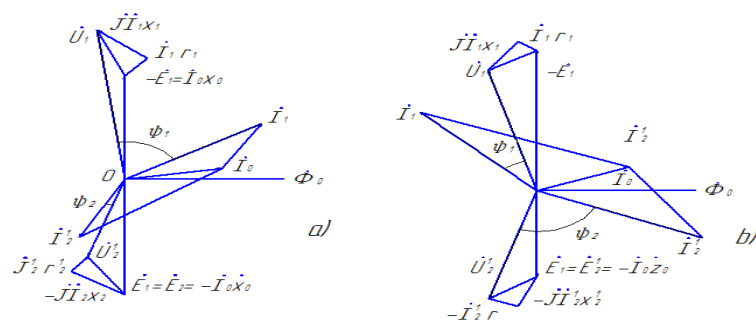
Birinchi usul bo'yicha birlamchi chulg'amda voltmetrning shkalasidagi butun songa mos keluvchi bo'linishlarga teng kuchlanish qo'yiladi va keyinchalik oldindan ancha masofaga uzoqlashtirilgan sharlar ular orasida razryad paydo bo'lguncha yaqinlashtiriladi. Keyin esa sharlar orasidagi masofaning uzunligi ( $X$ ) o'lchanadi va jadval yoki sharli razryadlagichning darajalash egri chizig'i yordamida birlamchi kuchlanishning bu qiymatiga mos keluvchi  $U_2$  kuchlanish aniqlanadi. Bu usulni qo'llaganimizda sharli razryadlagich sharlari orasidagi masofaning uzunligini kuchlanish qo'yilgan holatda o'zgartiradigan moslama va razradlanish oralig'ining ( $X$ ) qiymatini hisoblaydigan shkala bo'lishi kerak.

Ikkinchi usul bo'yicha tanlangan ma'lum kuchlanishga mos keluvchi sharlar orasidagi masofa o'rnatiladi. Keyin sinov transformatori qo'shiladi va kuchlanish  $X$  oraliqda razryad olinguncha sekin ko'paytirilib boriladi. Razryad boshlangan payt (lahza)dagi kuchlanish  $U_1$  voltmetr yordamida qayd qilinadi. Bu usulning afzalligi darajalash uchun masofadan boshqarilishga ega bo'lmagan sharli razryadlagichni qo'llashdir. Laboratoriya ishini bajarishda shu usuldan foydalanamiz.

Sharli razryadlagichdan foydalanilganda uni shunday o'rnatish lozimki, uni o'rab turgan predmetlar (narsalar) undan 5D masofada joylashishi kerak. Sharlar sirtining toza saqlanishi talab etiladi. O'lchash paytida tasodifiy xatoliklardan muhofazalanish uchun teshilish laboratoriyasi bir necha (3-5) marta takrorlanib, ularning o'rtachasi olinishi kerak. Xavfli o'ta kuchlanishlarning oldini olish maqsadida sinov transformatorini zarb bilan qo'shib bo'lmaydi.

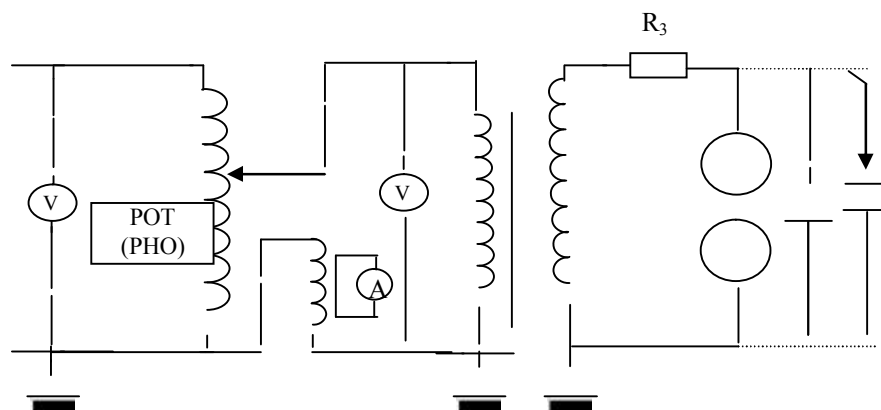
Kuchlanishning ko'tarilish tezligi 1kV/s dan oshmasligi kerak. Shuni yodda tutish lozimki, sinalayotgan oraliqning har bir teshilishi sinov transformatori uchun qisqa tutashuv sifatida qabul qilinadi. Shuning uchun har bir razryadlanish (teshilish)dan keyin sinov transformatorini avtomatik ravishda o'chirish moslamasi ko'zda tutilishi va avtomatik o'chirish moslamasi bo'lmasa uni qo'lda o'chirish kerak. Har bir razryadlanish QSHR uskunasi ma'lum bir iz qoldiradi –

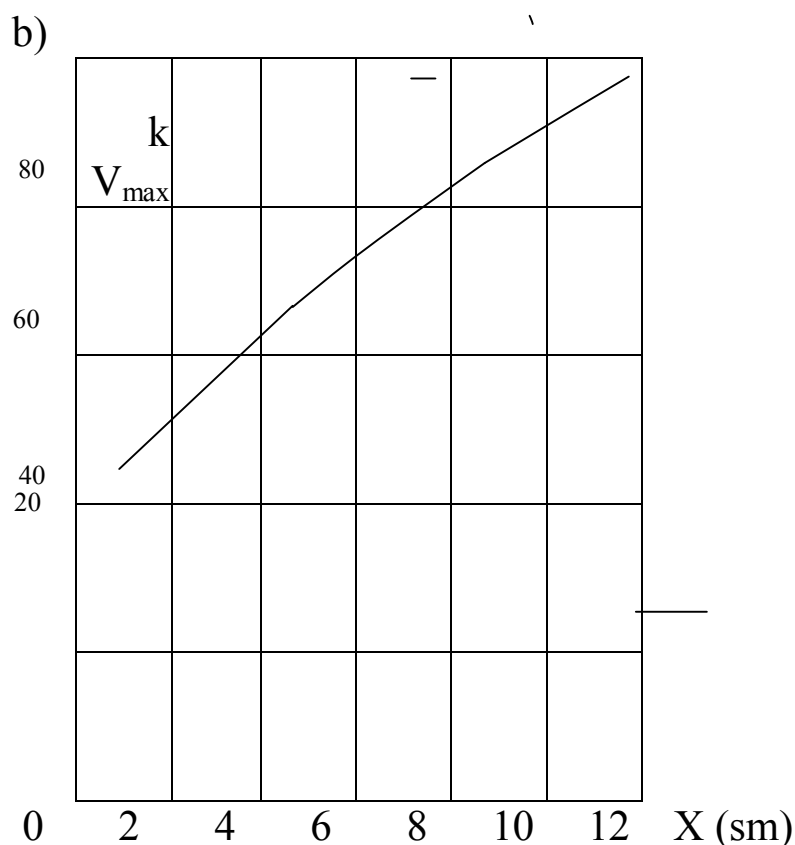
sharlar sirtida quyindi hosil bo'lishi va razryad kuchlanish qiymatining o'zgarishi nazarda tutilgan. Sinov transformatorining yuqori kuchlanish zanjirida tokning qiymatini chegaralash maqsadida 1kOm/kV hisobidan aktiv qarshilik ulanishi kerak.



1.1-rasm. Transformatorning vektor diagrammasi:  
a) induktiv xarakterli yuklama; b) sig'im xarakterli yuklama

a)





1.2.-rasm. Sinov transformatorining boshqarish sxemasini o‘z ichiga olgan laboratoriya ishining prinsipial sxemasi:

a) IOM 100/25 rusumli sinov transformatorli sinov qurilmasining prinsipial sxemasi;

b)  $x < 8$  sm bo‘lgandagi  $U''_2 = f(x)$  funksional bog‘lanish

## 2. Ishni bajarish tartibi

1. Sinov transformatorining sxemasi va tuzilishi, boshqarish pulti va blokirovka bilan tanishish.

2. Sinov transformatorini darajalash uchun o‘qituvchi bilan kelishgan holda sharli razryadlagichlarni tanlash. Tanlangan sharlarning diametri shu laboratoriyada o‘lchanadigan eng katta kuchlanishga mos kelishi kerak. Bunda sharlar orasidagi eng katta masofa sharlar radiusidan katta bo‘lmasligi kerak.

3. QSHR uskunasini uchun tuzilgan darajalash shkalasiga asoslanib va razryadlanish kuchlanishidan kelib chiqqan holda kerakli oraliq masofalarini tanlab oling. Masalan,  $D=12,5$  sm uchun  $S=0,5; 1,0; 1,5; 2; 3; 3,5$  sm.

4. Sinov transformatorining darajalash xarakteristikasini qurish uchun darajalash jadvalida kuchlanishning talab etilayotgan intervalini qamrab oladigan 6-8 nuqta olish yetarli. Shuning uchun ketma-ket tanlangan masofalar uchun QSHR uskunasi razryadlanish qiymati  $U_{o'r}$  ni toping. Tasodifiy xatoliklardan xolis bo'lish uchun har bir masofa uchun laboratoriya uch marta takrorlanishi kerak.

5. Sharli razryadlagichning ishlashi uchun zarur bo'lgan razryadlanish oralig'i uzunligining tanlangan qiymati bo'yicha olingan natijadan (jadvaldan) foydalanib  $U=f(X)$  grafigini quring.

6. Barometr va termometr bo'yicha atrof-muhitning bosimi ( $R$ ) va harorati ( $t^0$ ) o'lchanib, quyida keltirilgan ifodadan foydalanib nisbiy zichlik aniqlansin.

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

Bu yerda:  $R$  – mm simob ustunida olingan havoning bosimi,  $T$  – Kelvinda ifodalangan atrof-muhit harorati, ya'ni  $T = 273 + t^0C$

7. Navbatma-navbat razryadlanish oralig'ini o'rnatib, kuchlanishni sharli razryadlagichda teshilish paydo bo'lguncha ko'tara boramiz va bu kuchlanishning qiymatini fiksatsiya qilib jadvalga tushiramiz. Olingan natijalar asosida sinov transformatorining darajalovchi chizmasi  $U_{2o'r}=f(U_1)$ -ni tuzing va transformatsiya koeffitsient  $K_t$  ni toping.

$$U_{2yp} = \delta U_2; \quad K_r = \frac{U_2}{U_1}$$

Eslatma: Laboratoriya sxemasiga o'zgarish kiritilsa, darajalovchi chizma yangi sharoitda takrorlanishi kerak.

1.2-jadval

| T/r | S, sm | U <sub>1</sub> [ V ] |   |   |     | U <sub>1</sub><br>[kV] | U <sub>2</sub><br>[kV] | U <sub>2o'r</sub><br>[kV] |
|-----|-------|----------------------|---|---|-----|------------------------|------------------------|---------------------------|
|     |       | 1                    | 2 | 3 | o'r |                        |                        |                           |
|     |       |                      |   |   |     |                        |                        |                           |

Jadvalda:  $U_1$ -sinov transformatorining birlamchi chulg'amidagi kuchlanishning o'rtacha qiymati;  $U_2$ -QSHR uskunasi darajalash chizmasidan olingan razryadlanish kuchlanishining qiymati (havo holati  $R = 760$  mm.sim.ust. va  $t = 20^0C$  uchun);  $U_{2o'r}$ -QSHR uskunasi laboratoriya jarayonidagi razryadlanish kuchlanishi qiymati.

7. Olingan natijalar asosida sinov transformatorining darajalovchi chizmasi –  $U_{20'r} = f(U_1)$  ni chizing.

### **Sinov savollari**

1. Nima uchun sinov transformatorini darajalashda asosan QSHR uskunasi ishlatiladi? Bu ishni kilovoltmetr yordamida bajarish mumkin emasmi?

2. Nima uchun sinov transformatori va QSHR oralig'iga qo'shimcha qarshilik ulanadi?

3. Nima uchun laboratoriya jarayonida havoning nisbiy zichligini aniqlash kerak bo'ladi?

4. Sinov transformatorlarini kichik diametrli QSHR uskunasi yordamida darajalash mumkinmi?

5. Sinov uskunalarining turi va tavsifini keltiring.

6. O'ta yuqori kuchlanish hosil qilish uchun sinov transformatorlarini ketma-ket ulash shartmi?

7. Yuqori kuchlanishning qiymatini o'lchash uchun qanday uskunalar ishlatiladi?

8. Nima uchun yuqori kuchlanish uskunalarida ekranlar qo'llaniladi?

### **2- laboratoriya ishi.**

#### **ATMOSFERA HAVOSINI ELEKTR MUSTAHKAMLIGINING ELEKTRODLAR SHAKLIGA BOG'LIQLIGINI O'RGANISH**

**Ishdan maqsad:** laboratoriya ishini bajarishdan maqsad sanoat chastotasidagi bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan maydonlarda havo oralig'ining elektr mustahkamligining normal atmosfera sharoitida elektrodlar shakliga, ular orasidagi masofaga bog'liqligini tekshirish va  $U_r = f(x)$  bog'lanishning bir qancha qiymatlarini olish va keskin bir jinsli bo'lmagan maydonlarda havo oralig'ida kechadigan razryadlanishning rivojlanishini boshqarish uslublari bilan tanishish hisoblanadi. Birinchi laboratoriya ishida olingan darajalash egri chizig'idan foydalanib, laboratoriya yo'li bilan havoni elektr mustahkamligining sanoat chastotasidagi kuchlanishlarda elektrodlar shakliga bog'liqligini aniqlash.

## 1. Nazariy qism

Razryadlanish oraliq'ining ma'lum uzunligida razryadlanish kuchlanishi elektr maydonning konfiguratsiyasiga bog'liq, chunki elektrodlar shakli, ularning o'lchami maydonning bir jinsli bo'lmasligi darajasiga anchagina ta'sir ko'rsatadi. Bir jinsli elektr maydonda qalinligi 1 sm bo'lgan atmosfera havosining razryadlanishi elektr maydon kuchlanganligining taxminan  $E=30\text{kV/sm}$  ga yaqin qiymatlarida sodir bo'ladi. Bir jinsli maydonli elektrodlar oraliq'ining elektr mustahkamligi o'zgarmas kuchlanishda va o'zgarmas chastotada bir xil bo'ladi va uning qiymatini yetarlicha aniqlikda quyidagi empirik formula yordamida aniqlash mumkin:  $U_0 = 6,66\sqrt{\delta S} + 24,55\delta S$  kV

bu yerda:  $S$  - elektrodlar orasidagi masofa,  $\delta$  - havoning nisbiy zichligi. Bu bog'lanish Pashen qonuniga to'la mos keladi, chunki Pashen qonunining ifodasida  $S$  va  $\delta$  ko'paytma ko'rinishida qatnashadi. Kuchli bir jinsli bo'lmagan elektr maydonlarida o'rtacha razryadlanish kuchlanganligi  $E_{o,r} = \frac{U_p}{S}$  ancha past bo'ladi, chunki gazlarning elektr mustahkamligi bir jinsli bo'lmasligi darajasiga bog'liq. Bu shu shart bilan bog'liqki, maydon kuchlanganligi ancha yuqori bo'lgan ( $E_{o,r}$  kuchlanganlikdan ancha katta bo'lgan) maydon bilan chegaralangan sohada strimerning paydo bo'lishi, uning kuchsiz maydonda harakatlanishi uchun qulay sharoit tug'diradi, bu esa oraliqning qoplanishi bilan tugaydi. Masalan, bir jinsli bo'lmaslik darajasi  $K>500$ , ya'ni keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda (sterjen – tekislik) havoning elektr mustahkamligi  $7\text{ kV/sm}$  (4 martagacha) pasayadi. Bu ratsional izolatsiya konstruksiyasini tanlashda katta ahamiyatga ega. Elektrodlar shakli va ular orasidagi masofa, ularning o'lchamlari elektr maydonning bir jinsli bo'lmaslik darajasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Laboratoriya ishi ko'rsatadiki, gazlarning elektr mustahkamligi maydonning bir jinsli bo'lmasligi darajasiga bog'liq.

Keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda havo oraliq'ining razryadlanish kuchlanishi egrilik radiusi kichik bo'lgan elektrodning qutblanishiga ham bog'liq.

**Maxsus shakldagi yassi elektrodlar.** Bir jinsli maydonda razryadlanishni o'rganish uchun yassi kondensatorning ekvipotensial maydoni bo'yicha joylashgan chegaralangan o'lchamli elektrodlar qo'llaniladi. Bu ko'rinishdagi elektrodning chetlaridagi maydon

kuchlanganligi uning markazidagi maydon kuchlanganligiga nisbatan kichik bo'ladi.

Elektrodlarning minimal o'lchamini ta'minlash uchun ular orasidagi masofaning olingan maksimal qiymatida, elektrodlar markazida, ya'ni bir jinsli maydonda razryad kechyapti deb olib, chegaraviy ekvipotensial sirt tanlanadi. Bu holda elektrodlar diametri  $D$  elektrodlar orasidagi olingan masofaning maksimal qiymatidan taxminan to'rt marta katta bo'ladi. Elektrodlar orasidagi masofa  $s < \frac{D}{4}$  bo'lsa, razryad elektrodlarning markazida bir jinsli maydonda kechadi.  $s < \frac{D}{4}$  bo'lganda esa razryadlanish diskning chetlariga o'tadi.

**“Shar-shar” ko'rinishdagi elektrodlar.** Ikkala shar uchqun oralig'i kuchsiz bir jinsli bo'lmagan maydonga misol bo'ladi va bir jinsli bo'lmaslik darajasi sharlar orasidagi masofaning sharlar diametriga nisbati oshishi bilan o'sib boradi. Sharlar oralig'i jahon amaliyotida tan olingan o'zgaruvchan, o'zgarmas va impuls kuchlanishlarni o'lchashga mo'ljallangan asbob hisoblanadi. Sharli razryad-lagichni o'lchash uchqun oralig'i ko'rinishida tanlash uning quyidagi xossalari bilan aniqlangan:

a) sharli oraliqning volt sekund xarakteristikasi (VSX) katta intervalda gorizontaal chiziq ko'rinishida bo'lganligidan, oraliqning razryadlanish kuchlanishi oraliqqa qo'yilgan kuchlanishning shakliga va uning ta'sir etishiga bog'liq emas.

b) kuchsiz bir jinsli bo'lmagan maydonli oraliqlardan, sharli oraliqni bajarish eng oson hisoblanadi.

“Shar-shar” elektrodli oraliqning razryadlanish kuchlanishi sharlar diametriga  $D$ , ular orasidagi masofaga va sharlarning ulanishiga (simmetrik – agar ikkala shar ham kuchlanishga qo'yilgan bo'lsa, nosimmetrik – sharlardan biri zaminlangan bo'lsa) bog'liq. Bu laboratoriya ishida biz nosimmetrik sxemadan foydalanamiz. Sharlar orasidagi masofaga bog'liq ravishda, ular orasidagi maydon bir jinsli yoki bir jinsli bo'lmagan maydon bo'lishi mumkin. Sharlar orasidagi masofa  $S \leq D$  bo'lsa, maydon bir jinsligiga yaqin. Mustaqil razryad oraliqning yuqori o'rtacha gradientida boshlanib, uchqunli razryad ko'rinishida rivojlanadi.

Agar  $S > 2D$  bo'lsa, oraliqdagi maydon bir jinsli emas. Agar elektrodlar orasidagi oraliq ( $S$ ) uning kritik qiymatidan ( $S_{kr}$ ) katta bo'lganda uchqunli razryaddan oldin tojlanish bo'ladi, ammo elektrodlar

orasidagi masofani o'zgartirishning ba'zi hollarida teshilish kuchlanishining noturg'un qiymatlarini olamiz. Sharlar orasidagi masofa bilan razryadlanish kuchlanishi orasidagi bog'lanish birinchi laboratoriyagi 1.2.b-rasmda keltirilgan. Laboratoriyadan olingan natijalarni tahlil qilish natijasida quyidagi empirik formula tavsiya qilinadi.

$$U_0 = 27.28r \frac{(1 + \frac{0.54}{\sqrt{r\delta}}) \frac{S}{r}}{0.25 \left[ \frac{S}{r} + \sqrt{(\frac{S}{r} + 1)^2 + 8} \right]}$$

Bu ifodada yerning ta'siri e'tiborga olinmagan.

### **“Sterjen–tekislik” ko‘rinishidagi elektrodlar**

O'tkir uchli sterjen va tekislik ko'rinishdagi elektrodlar orasidagi kuchli bir jinsli bo'lmagan maydonda hamma vaqt razryad o'tkir uchli sterjen ko'rinishidagi elektrod tomonidan boshlanadi. Bu holda uchqunli razryaddan teshilishga nisbatan tojlanish razryadi oldin boshlanadi.

Sterjenning o'tkir uchi musbat bo'lganda mustaqil razryadning ko'chkilari o'zidan keyin hajmiy musbat zaryad qoldiradi. Tojlanish razryadining boshlang'ich kuchlanishida  $U_b$  hajmiy zaryadning paydo bo'lish tezligi uning bartaraf etilish tezligidan yuqori bo'ladi. Bu ionlanish jarayonning notekis (uzlukli) kechishiga olib keladi. Shu sababdan yangi ko'chki faqat hajmiy zaryadning kuchsiz maydon sohasiga ketganidagina sodir bo'ladi va o'tkir uch yaqinida kuchlanganlik boshlang'ich qiymatigacha ko'tariladi. Shuning uchun tojlanish toki impuls xarakterga ega. Musbat tojlanish toki impulsining davom etish vaqti bir necha o'n mikrosekundga teng.

Kuchlanishning  $U_b$  dan uncha sezilarli katta bo'lmagan qiymatida tojlanish tokining impulsi yo'qolib, tojlanish toki uzluksiz holatga o'tadi. Kuchlanishning o'sishi davom ettirilganda ko'chkidagi elektronlar soni  $10^7$ – $10^8$  ga yetsa, strimer paydo bo'ladi. Strimerning rivojlanishida amplitudasi  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  A va  $10^{-7}$ – $10^{-8}$  s uzunlikdagi tok impulsi oqib o'tadi.

Bu bosqich bir-biriga qo'shib ketadigan ko'chkilardan tashkil topgan, siljiydigan kuchsiz yallig'lanuvchi iplar to'plami–strimerning paydo bo'lishi bilan xarakterlanadi. Ko'chkining elektronlari ionlanish sohasi oldidagi maydoni kuchaytiradigan musbat hajmiy zaryad qoldirib musbat o'tkir uch tomon siljiydi. Bu strimerning rivojlanishini va uning butun oraliqni kesib o'tishini yengillashtiradi.

Sterjenning o'tkir uchi manfiy zaryadli bo'lsa, ko'chki tojlanuvchi elektrodga teskari yo'nalishda rivojlanadi. Ko'chkidan keyin qoladigan musbat ionlar elektrodga yaqin joyda joylashadi, elektronlar esa kuchsiz maydon tomon siljiydi va neytral molekulalar tomonidan ushlanib, ionlanish chegarasi yaqinida manfiy ionlarni hosil qiladi. Ionlarning hajmiy zaryadi havo oralig'idagi maydonning shaklini buzadi. Taxminan  $10^{-8}$  s o'tkir uch yaqinida ionlanish jarayoni boshlangandan keyin uzunligi millimetrdan kichik sohada maydon kuchayib, ionlanish zonasi oldida susayadi. O'tkir uch yaqinidagi yuqori maydon kuchlanganligi musbat ionlar hosil qilgan ko'chkini shunday tezlikda bartaraf etib elektrodlar sirtida neytrallashtiradi va  $10^{-7}$  manfiy hajmiy zaryad musbat zaryadga nisbatan ustun keladi. Ortiqcha manfiy hajmiy zaryadning paydo bo'lishi tojlanish boshlangan elektrod sirtida elektr maydon kuchlanganligining pasayishiga va razryad mustaqilligining tugallanishiga olib keladi.

Keyinchalik manfiy hajmiy zaryad elektrodga nisbatan kuchsiz maydon sohasi tomon siljiydi va elektrod sirtidagi maydon kuchlanganligi yana kuchayadi. O'tkir uch yaqinida maydon kuchlanganligi tojlanish boshlangandagi maydon kuchlanganligiga ( $E_b$ ) tenglashganda yana boshqatdan mustaqil razryadlanish paydo bo'ladi va jarayon takrorlanadi. Manfiy tojlanish toki impulsining uzunligi  $10^{-7}$  s ga teng bo'lib, amplitudasi esa musbat tojlanishdagiga nisbatan katta bo'ladi.

Kuchlanishni tojlanishning boshlang'ich kuchlanishiga nisbatan ko'paytirsak, navbatdagi tok impulsining paydo bo'lishi uchun oraliqdan manfiy ionlarning to'liq yo'qotilishini talab etmaydi. Shuning uchun kuchlanishning ko'paytirilishi bilan ikkita ketma-ket kelayotgan tok impulslari orasidagi interval tojlanishning uzluksiz holati paydo bo'lmaguncha kamayib boradi. Ayni shu paytda ionlanish sohasining orqasida joylashgan maydon hajmiy zaryad tomonidan salmoqli tekislangan. Bu oraliqning ichkariroq joylarida strimerning rivojlanishiga to'sqinlik qiladi.

Oraliqda kuchlanishni salgina o'zgartirsak, bu uzun strimerning hosil bo'lishiga olib keladi. Buning natijasida o'tkir uchli sterjen-tekislik oraliqda, o'tkir uchning manfiy qutblanishida razryadlanish kuchlanishi musbat zaryadlangandagiga qaraganda katta bo'ladi. Elektrodlar orasidagi masofa uncha katta bo'lma-ganda "Sterjen-tekislik" oraliqning razryadlanish kuchlanishi sterjen uchining shakliga bog'liq, ayniqsa sterjen musbat qutbli bo'lsa. Oraliq masofa kattalashgan sari

sterjenning roli kamayib boradi va razryadlanish kuchlanishi “nuqta-tekislik” oralg‘ining razryadlanish kuchlanishiga intiladi.

### **“Sterjen–sterjen” va “sterjen–tekislik” elektrodlar**

O‘zgaruvchan kuchlanishda “sterjen-tekislik” oralg‘ida razryad sterjenga qo‘yilgan kuchlanish musbat qutbli bo‘lganda sodir bo‘ladi, chunki bu holda razryadlanish kuchlanishi manfiy qutbli bo‘lgandagiga qaraganda ancha past bo‘ladi. Elektrodlar orasidagi masofa bir xil bo‘lganda “sterjen-tekislik” oraliqdagi razryadlanish kuchlanishi “sterjen-sterjen” oraliqnikiga nisbatan past bo‘ladi, chunki birinchi holda (sterjen-tekislik sistemasining sig‘imi katta bo‘lganligidan) zaryad strimerning uchida bo‘lsa, demak, uning yaqinidagi kuchlanganlik yuqoriroq bo‘lib, u strimerning chuqur tarqalish sharoitini osonlash-tiradi.

Keyingi yillarda havo oralg‘ining elektr maydoni va elektr mustahkamligini boshqarish keng qo‘llanilmoqda. Bunda razryadlanish oralg‘iga toriadol-ekran kiritilganda u yoki bu potensialning berilishiga qarab va ekranning joylashishi hamda kuchlanishning qiymatiga qarab sterjenning o‘tkir uchi yonida elektr maydonning kuchayishi yoki susayishi kuzatiladi. Bu o‘z navbatida razryadlanish kuchlanishining ko‘payishi yoki kamayishiga olib keladi.

Elektrodlar shakli, o‘lchami va elektrodlar orasidagi masofaning maydon kuchlanganlagining taqsimlanishiga ta’siri katta, u atmosfera havosining elektr mustahkamligini, ya’ni kuchlanishga chidamlilik qiymati  $U_p$  ni ham o‘zgartirib yuboradi. Misol uchun “shar-shar” (“tekislik-tekislik”) va “sterjen-tekislik” elektrodlar sistemasi olinsa, birinchi oraliqda elektr maydoni taqsimlanishi bir tekis bo‘lib,  $S < 1$  sm bo‘lganda  $U_p = 30 \text{ kV/sm}$  bo‘ladi. Ikkinchi oraliqda esa elektr maydoni katta bir jinsli emaslikka ega bo‘lib,  $(K_n = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} > 500)$   $U_p = 7 \text{ kV/sm}$  ni tashkil etadi, xolos. Shu boisdan yuqori kuchlanish texnikasi sohasida elektr maydon shakliga qarab havoning chidamlilik xossasi keng borada o‘rganiladi. O‘rganish uslubi, asosan, laboratoriya sharoitida bo‘lsa-da ba’zan hisob yo‘li ham qo‘llaniladi.

Havo oralg‘ining razryadlanish kuchlanishi havoning namligiga bog‘liq. Namlik oshgan sari uning razryadlanish kuchlanishiga ta’siri ham oshib boradi, chunki maydonning bir jinsli bo‘lmaslik darajasi ham o‘sib boradi.

2.1-jadval

| Oraliq               | Kuchlanish                                             | Formulalar                                                       |
|----------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| «Sterjen–sterjen»    | Sanoat chastotasi<br>Impuls +1,5/40<br>Impuls – 1,5/40 | $U_r = 70 + 5,25 S$<br>$U_r = 75 + 5,6 S$<br>$U_r = 110 + 6,0 S$ |
| «Sterjen – tekislik» | Sanoat chastotasi<br>Impuls +1,5/40<br>Impuls – 1,5/40 | $U_r = 40 + 5,0 S$<br>$U_r = 40 + 5,0 S$<br>$U_r = 215 + 6,7 S$  |

“Sterjen-tekislik” va “sterjen-sterjen” ko‘rinishdagi elektrodlar oralig‘ining razryadlanish kuchlanishini normal atmosfera sharoitida ( $t=20^0C$ ,  $R=760$  mm sim.ust.,  $S>40$  sm) 2.1-jadvalda keltirilgan empirik formulalar yordamida hisoblash mumkin. “Sterjen-tekislik” va “sterjen-sterjen” ko‘rinishdagi elektrodlar oraliqlari keskin bir jinsli bo‘lmagan maydonning tipik ko‘rinishi bo‘ladi va ularning elektr mustahkamligi ayrim izolatsiya konstruksiyalarining elektr mustahkamligini taxminiy baholash uchun qo‘llaniladi.

## 2. Ishni bajarish tartibi

Laboratoriya ishini bajarishda birinchi laboratoriya ishidagi uskunaga o‘xshash laboratoriya uskunasiidan foydalanamiz. Laboratoriya uskunasiining prinsipial sxemasi 2.1-rasmda ko‘rsatilgan.

Laboratoriya ishini bajarish vaqtida elektrodlar orasidagi havo oralig‘ining sanoat chastotasidagi razryadlanish kuchlanishining elektrodlar orasidagi masofaga bog‘liqligini quyidagi elektrodlar uchun aniqlang:

1. Chetlari yarim doira shaklidagi “tekislik-tekislik” elektrodlari (maydon bir jinsli);
2. “Shar-shar” elektrodlar (bir xil diametrli);
3. “Sterjen-sterjen”; “Sterjen-tekislik”;
4. Maxsus formadagi elektrodlar.

Razryadlanish oralig‘ining uzunligi kalibr bo‘yicha yoki elektrodlar mahkamlanadigan stanokning shkalasi bo‘yicha o‘rnatiladi. Har bir ko‘rinishdagi laboratoriyani boshlashdan oldin shkalaning nolga o‘rnatilganligini tekshirib ko‘rish kerak.

## 2.1 “Tekislik-tekislik” ko‘rinishidagi elektrodlar oralig‘i

1. Elektrodlar oralig‘ining qiymatini quyidagi tartibda oling:

$S = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$  sm, havoning nisbiy zichligini birinchi laboratoriya ishidan oling.

2. Har bir masofa uchun laboratoriya yo‘li bilan havoning teshilish kuchlanish qiymatini aniqlang va 1.2-jadvalga kiriting.

3. Ma’lumki, uncha ko‘p bo‘lmagan bir jinsli va kuchsiz bir jinsli bo‘lmagan elektr maydonlar uchun elektr maydon kuchlanganligini empirik formulalar yordamida aniqlash mumkin  $E_x=f(x)$  (misol uchun sharsimon va silindrik kondensatorlarning maydoni). Har bir masofa uchun quyidagi formulalar yordamida havoning teshilish kuchlanishini hamda maydon kuchlanganligini hisoblang:

$$E_2'' = 24.5 \delta \left( 1 + \frac{0.28}{\sqrt{\delta x}} \right); [\text{kV/sm}]$$

$$U_2'' = E_2'' X; [\text{kV}]$$

Bu formulalar tekis taqsimlangan (bir jinsli) va unga yaqin bo‘lgan maydonlar uchun o‘rinlidir. Hisoblashlar natijasi 2-jadvalning 9-10 ustunlariga kiritiladi.

2.2-jadvalning 11-ustuniga kiritish uchun teshilish kuchlanganligi quyidagi formula bo‘yicha hisoblanadi:

$$E_2' = \frac{U_2'}{X}; [\text{kV/sm}]$$

4. Ishdan olingan natijalar bilan 2-jadvalning 7-8 hamda 11-ustunlari ma’lumotlarini va 9-10 ustunlardagi hisoblangan natijalar bo‘yicha  $U_2''=f(X)$  va  $E_2''=f(X)$  chizmalarni chizing. Chizmaga laboratoriya nuqtalarini qo‘yib chiqing va taqqoslang.

2.2-jadval

| T/r | Razryadlanish oralig‘i, sm | Laboratoriya ishi natijalari |   |   |     |       |        | Formula bo‘yicha hisoblangan |              | $E_2'$ kV/sm |
|-----|----------------------------|------------------------------|---|---|-----|-------|--------|------------------------------|--------------|--------------|
|     |                            | $U_1$ [V]                    |   |   |     | $U_2$ | $U_2'$ | $U_2''$ kV                   | $E_2''$ kV/s |              |
|     |                            | 1                            | 2 | 3 | o‘r | KV    | KV     |                              |              |              |
| 1   | 2                          | 3                            | 4 | 5 | 6   | 7     | 8      | 9                            | 10           | 11           |
|     |                            |                              |   |   |     |       |        |                              |              |              |

## 2.2 “Shar-shar” ko‘rinishidagi elektrodlar oralig‘i

1. Sinov transformatorini darajalashda olingan natijalardan foydalanamiz. 2.3-jadvalning 11-ustuniga kiritish uchun teshilish kuchlanganligi, havoning teshilish kuchlanishi hamda maydon teshilish kuchlanganligini quyidagi formulalar yordamida hisoblang:

$$f(X,R) = 0,25 \left[ \frac{s}{R} + I + \sqrt{\left(\frac{X}{R} + 1\right)^2 + 8} \right];$$

$$E_2' = \frac{U_c'}{X} f(X,R); \quad [\text{kV/sm}]$$

bu yerda:  $f(X,R)$  - sharlar orasidagi masofaning sharlar radiusiga nisbatiga bog‘liq bo‘lgan funksiya, u oraliq izolatsiyasining foydalanish koeffitsient tekis taqsimlangan maydon uchun ( $R=\infty$ ) birga teng.  $E_2''$  va  $U_2''$  hisoblash quyidagi formulalar yordamida bajariladi:

$$E_2'' = 27,2 \delta \left( I + \frac{0,54}{\sqrt{R\delta}} \right); \quad \left[ \frac{\text{kV}_{\text{max}}}{\text{sm}} \right]$$

$$U_2'' = E_2'' \frac{l}{f(X,R)}; \quad [\text{kV}_{\text{max}}]$$

1.3-jadvalning 2; 9; 10; 11; 12-ustunlarida olingan natijalar yordamida keltirilgan  $U_2'' = f(X)$ ,  $U_2 = f(X)$  va  $E_2'' = f(X)$  bog‘lanish chizmalarini chizing va taqqoslang.

Shuni ta’kidlash zarurki,  $f(X,R)$  bog‘lanish elektr zaryadlarning o‘xshashlik qonuniyatiga mos ravishda olingan va empirik formula  $E_2'' = 27,2 \delta \left( I + \frac{0,54}{\sqrt{R\delta}} \right)$  hisoblanganda, bu ifoda shar-shar oralig‘i uchun laboratoriya yo‘li bilan olingan qiymatlarni yaxshigina approxsimatsiyalash yordamida olingan boshlang‘ich kuchlanganlikni beradi.

2.3-jadval

| T/r | Razryadlanish<br>oralig‘i, sm | f<br>(x,R) | Laboratoriya ishi natijalari |   |   |     |    |     | Formula<br>bo‘yicha hisoblan-<br>gan |               |                |
|-----|-------------------------------|------------|------------------------------|---|---|-----|----|-----|--------------------------------------|---------------|----------------|
|     |                               |            | U1                           |   |   |     | U2 | U2' | U2',<br>kV                           | E2',<br>kV/sm | E2'',<br>kV/sm |
|     |                               |            | 1                            | 2 | 3 | o‘r | kV | kV  |                                      |               |                |
| 1   | 2                             | 3          | 4                            | 5 | 6 | 7   | 8  | 9   | 10                                   | 11            | 12             |
|     |                               |            |                              |   |   |     |    |     |                                      |               |                |

Kuchlanganlik va kuchlanishning boshlang‘ich qiymati razryadning mustaqillik sharti bajarilgandagi kuchlanish va kuchlanganlikning minimal qiymatiga teng. Tekis taksimlangan va kuchsiz bir jinsli

bo‘lmagan maydonlarda kuchlanish va kuchlanganlikning boshlang‘ich qiymati teshilish kuchlanishi va kuchlanganligiga teng.

### 2.3 “Sterjen-sterjen” (“sterjen-tekislik”) ko‘rinishidagi elektrodlar oralig‘i

1. O‘qituvchi ko‘rsatmasiga binoan igna yoki tekislik elektrodi zaminlanadi.

2. Oraliq masofani 1sm dan 15 sm (1, 2, 5, 8, 10, 12, 15) gacha o‘zgartiring va har bir masofa uchun havoning teshilish kuchlanishini aniqlang.

3. Olingan natijalar bilan keltirilgan 2.4-jadvalning 2-8 ustunlarini to‘ldiring.

2.4-jadval

| T/r | Razryadlanish<br>oralig‘i, sm | Laboratoriya natijalari |   |   |     |                |                  | Formula<br>bo‘yicha<br>hisoblangan |                  | E <sub>2</sub> ‘ |
|-----|-------------------------------|-------------------------|---|---|-----|----------------|------------------|------------------------------------|------------------|------------------|
|     |                               | U <sub>1</sub>          |   |   |     | U <sub>2</sub> | U <sub>2</sub> ‘ | U <sub>2</sub> ”                   | E <sub>2</sub> ” |                  |
|     |                               | 1                       | 2 | 3 | o‘r | kV             | kV               | kV                                 | kV/sm            | kV/s<br>m        |
| 1   | 2                             | 3                       | 4 | 5 | 6   | 7              | 8                | 9                                  | 10               | 11               |
|     |                               |                         |   |   |     |                |                  |                                    |                  |                  |

Bu 2.4-jadvalning 9-ustuniga teshilish kuchlanishining qiymatini kiritish uchun teshilish kuchlanishining qiymati elektrodlar orasidagi masofa  $X > 8$  sm dan ortiq bo‘lsa, quyidagi empirik ifoda orqali topiladi:

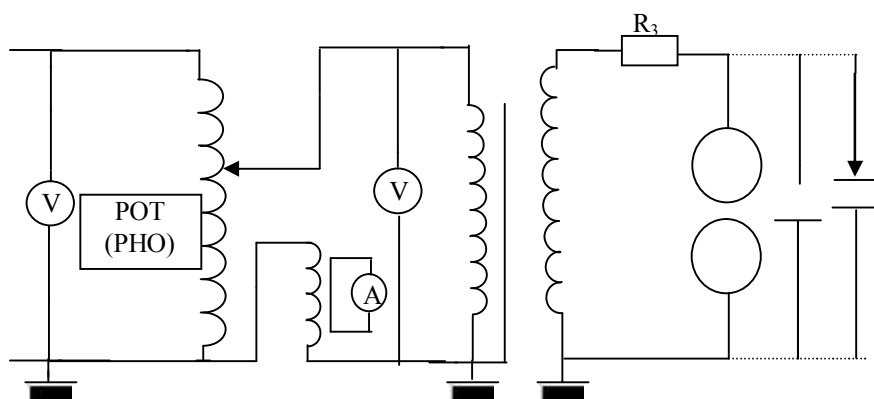
$$U_2'' = \sqrt{2} (14 + 3.6X), [kV_{\max}]$$

Elektrodlar orasidagi masofaning  $X < 8$  sm dan kichik qiymatlarida simmetrik va nosimmetrik ulanishlar uchun teshilish kuchlanishi  $U_2''$  ( $U_2'' = 12X$ ) ifoda orqali topiladi.

4. 2.4-jadvalning 9-10 ustuni qiymatlari uchun tegishli  $U_2'' = f(X)$  va  $E_2'' = f(X)$  chizmalarni chizing va unga laboratoriya nuqtalarini qo‘yib chiqing.

### Sinov savollari

1. Elektrodlar shakli va o'lchamlarining elektrodlar oralig'ining elektr maydon shakliga ta'sirini tushuntiring.
2. Qachon "tekislik-tekislik" va "shar-shar" oraliqlarining teshilish kuchlanishlari bir xil bo'ladi?
3. Nima uchun "sterjen-sterjen" ("sterjen-tekislik") oraliq masofasi 8 sm dan kam yoki katta bo'lganda hisob ikki yo'l bilan bajariladi?
4. Turli elektrodlar orasidagi masofa bir xil bo'lgandagi razryadlanish kuchlanishi va kuchlanganligining farqini tushuntiring.
5. Nima uchun sinov transformatorining yuqori kuchlanish tarafga katta qiymatli aktiv qarshilik ulanadi?
6. Boshlang'ich kuchlanish va kuchlanganlikni tushuntiring.



2.1-rasm. Laboratoriya uskunasiining prinsipial sxemasi

Ilova

Sharli oraliq razryadlanish kuchlanishining [ $kV_{max}$ ] sanoat chastotasidagi kuchlanish, manfiy qutbli o'zgaras tok kuchlanishining manfiy impulslari uchun. Sharlarning biri zaminlangan. Bosim 760 mm sim.ust., atrof-muhit darajasi  $20^0C$ .

| Masofa,<br>sm | Sharlar diametri, sm |       |       |        |        |
|---------------|----------------------|-------|-------|--------|--------|
|               | 1,00                 | 1,25  | 1,50  | 6,25   | 12,50  |
| 0,01          | 1,03                 | 1,02  | 1,01  | -      | -      |
| 0,02          | 1,54                 | 1,53  | 1,52  | -      | -      |
| 0,03          | 2,00                 | 1,98  | 1,97  | -      | -      |
| 0,04          | 2,43                 | 2,42  | 2,40  | -      | -      |
| 0,05          | 2,82                 | 2,81  | 2,80  | -      | -      |
| 0,06          | 3,22                 | 3,20  | 3,19  | -      | -      |
| 0,07          | 3,61                 | 3,60  | 3,58  | -      | -      |
| 0,08          | 4,01                 | 3,98  | 3,95  | -      | -      |
| 0,09          | 4,38                 | 4,34  | 4,31  | -      | -      |
| 0,10          | 4,75                 | 4,72  | 4,70  | -      | -      |
| 0,20          | 8,34                 | 8,28  | 8,23  | -      | -      |
| 0,30          | 11,70                | 11,60 | 11,50 | -      | -      |
| 0,40          | 14,9                 | 14,77 | 14,65 | 14,20  | -      |
| 0,50          | 17,80                | 17,78 | 17,75 | 17,56  | 16,70  |
| 0,60          | 20,15                | 20,42 | 20,70 | 20,20  | -      |
| 0,70          | 22,13                | 22,69 | 23,26 | -      | -      |
| 0,80          | 23,85                | 24,41 | 25,77 | 26,20  | -      |
| 0,90          | 25,30                | 26,58 | 27,86 | -      | -      |
| 1,00          | 26,50                | 28,12 | 29,75 | 31,90  | 31,50  |
| 1,50          | -                    | -     | 36,50 | -      | 45,60  |
| 2,00          | -                    | -     | -     | 58,20  | 59,20  |
| 2,50          | -                    | -     | -     | 69,60  | 72,00  |
| 3,00          | -                    | -     | -     | 79,10  | 85,20  |
| 3,50          | -                    | -     | -     | 87,50  | 97,20  |
| 4,00          | -                    | -     | -     | 94,80  | 100,90 |
| 4,50          | -                    | -     | -     | 101,00 | 119,00 |
| 5,00          | -                    | -     | -     | 107,00 | 129,00 |
| 5,50          | -                    | -     | -     | 112,00 | 138,00 |
| 6,00          | -                    | -     | -     | 116,00 | 146,00 |
| 6,50          | -                    | -     | -     | -      | 154,00 |
| 7,00          | -                    | -     | -     | -      | 162,00 |
| 7,50          | -                    | -     | -     | -      | 168,00 |
| 8,00          | -                    | -     | -     | -      | 174,00 |
| 9,00          | -                    | -     | -     | -      | 186,00 |

**3- laboratoriya ishi.**  
**BIR JINSLI VA BIR JINSLI BO‘LMAGAN**  
**MAYDONLARDA DIELEKTRIKLAR SIRTIDAGI**  
**GAZLARDA RAZRYADLANISH JARAYONI**

**Ishdan maqsad:** bu laboratoriya ishini bajarishdan maqsad qattiq dielektrlardan tuzilgan izolatsiya konstruksiyalari sirti bo‘ylab gazlarda razryadlanishni o‘rganish va laboratoriya yo‘li bilan tekis taqsimlangan va bir jinsli bo‘lmagan maydonlarda dielektrlarning sirti bo‘ylab razryadlanish xarakteristikasini olish.

**1. Nazariy qism**

Dielektrlar sirti bo‘ylab gazda rivojlanadigan razryadlanish jarayoni ko‘p jihatdan gaz bilan dielektrikning bo‘linish sirti sohasidagi maydonlarning shakliga bog‘liq. Elektrodlar orasiga dielektrik kiritilganda uning razryadlanish kuchlanishi keskin o‘zgaradi. Razryadlanish kuchlanishiga dielektrikning materiali va uning razryad rivojlanayotgan sirtining holati hamda elektrodlar orasidagi maydonning shakli ta’sir ko‘rsatadi. Elektrodlar orasidagi maydonda dielektrik uchta xarakterli ko‘rinishda joylashishi mumkin:

1. Bir jinsli elektr maydonda dielektrikning sirti maydon kuch chiziqlarining yo‘nalishiga parallel joylashtirilgan. Bu real izolatsiyakonstruksiyasida kam uchraydi. U asosan laboratoriyada dielektrik sirtidagi razryadning xossalari o‘rganishda qo‘llaniladi. Bunda qattiq silindr ko‘rinishidagi dielektrik yasovchisi maydon kuch chiziqlariga parallel (3.1.a-rasm).

2. Bir jinsli bo‘lmagan elektr maydonda dielektrikning sirti elektr maydon kuch chiziqlari bo‘ylab joylashgan. Bunda maydon kuchlanganligining bo‘ylama tashkil etuvchisidan tashqari uning normal tashkil etuvchisi ham mavjud. Lekin dielektrik sirtining ko‘p nuqtalari maydon kuchlanganligining bo‘ylama tashkil etuvchisi bo‘ylab joylashgan, ya’ni  $E_{\tau} < E_n$ . Bunga misol elektr qurilmalarining tayanch izolatorlari bo‘ladi (3.1,b- rasm).

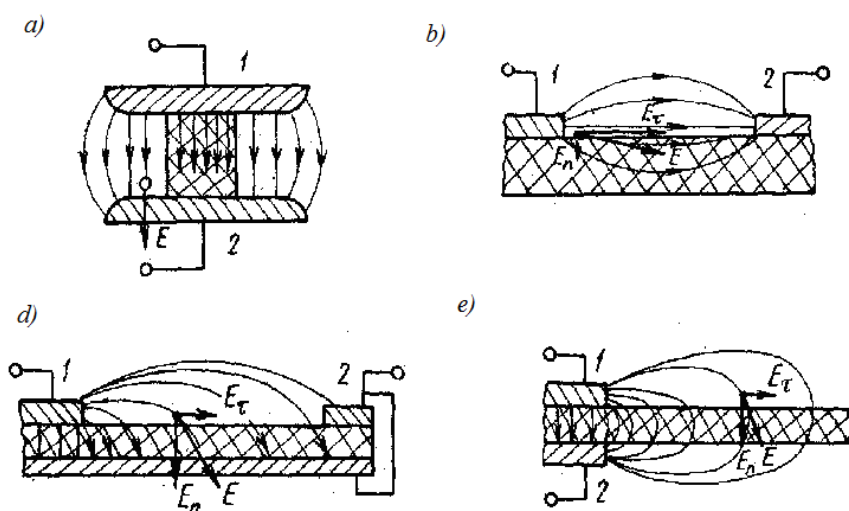
3. Elektrodlar dielektrik sirti bilan gazning bo‘linish sirti bo‘ylab keskin bir jinsli bo‘lmagan elektr maydoni hosil qiladi. Dielektrikning sirti elektr maydon kuch chiziqlari bo‘ylab joylashgan, lekin uning sirtida maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi uning tan-

gensial tashkil etuvchisidan katta, ya'ni  $\epsilon_n \gg \epsilon_t$ , bu tayanch izolatorlarida (3.1.d,e-rasm).

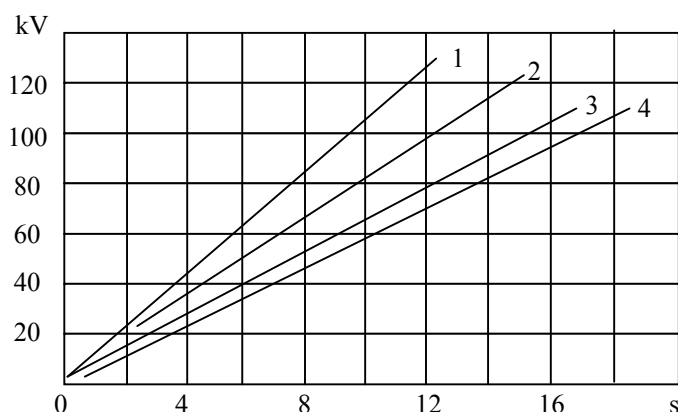
**Birinchi holatda** bunday qaraganda elektrodlar oralig'iga dielektrik kiritilganda ham elektr maydoni shakli o'zgarmaganday tuyuladi va dielektrik kiritilgani bilan gazli oraliqning razryadlanish kuchlanishini o'zgarmaydi deb qaraymiz. Ammo amalda esa dielektrik sirtida yig'ilgan zaryad maydonni buzadi va razryadlanish kuchlanishining pasayishiga olib keladi. Ayniqsa, razryadlanish kuchlanishi dielektrik bilan elektrod oralig'ida havo qatlami mavjud bo'l-ganda ko'proq pasayadi. Chunki dielektrik bilan gazning (havoning) dielektrik singdiruvchanligi o'zaro katta farq qilganidan kuchlanganlikning mahalliy o'sishi sababli ionlanish jarayoni, avvalo, havo qatlamida boshlanadi. Dielektrik sirtida razryadning rivojlanishida adsorbirlangan namlik katta rol o'ynaydi. Chunki razryadlanish kuchlanishi dielektrikning gigroskopligiga bog'liq. Dielektrlarning gigroskoplikligidan namlikning yig'ilishi tufayli (ayniqsa shisha va bakaletda) razryadlanish jarayoni va razryadlanish kuchlanishi o'zgaradi. Bu 3.2-rasmda keltirilgan egri chiziqlardan ko'rinadiki, parafindan olingan namuna eng kam gigroskopikligidan eng katta elektr mustahkamlikka ega. Solishtirish uchun elektrod bilan dielektrik orasidagi havo qatlamining razryadlanish kuchlanishining pasayishini ko'ramiz. Yig'ilgan namlikning ionlari kuchsiz o'tkazuvchanlik tokini hosil qilishi natijasida elektr maydoni buziladi. Shuning uchun bakelizlangan qog'ozdan yasalgan o'tuvchi izolatorlar ochiq havoda joylashadigan elektr qurilmalarda qo'llanilmaydi. Bu dielektrik sirtidan zaryadning elektrodarga oqishi natijasida butun oraliqning teshilishini ifodalaydigan kuchsiz uchqunlanishga olib kelishi mumkin. Dielektrik sirtidagi razryadlanish kuchlanishi toza havo oralig'ining razryadlanish kuchlanishidan (2 va undan ortiq) katta. Dielektrik sirtining razryadlanish kuchlanishining qiymati asosan dielektrik bilan elektrodlar orasidagi havo qatlamiga bog'liq. Havo qatlamidagi elektr maydon kuchlanganligi qattiq dielektrik sirtidagiga nisbatan ancha kattaligidan, havo qatlamida razryadlanish asosiy oraliqdan oldinroq boshlanib, ionlashish mahsuli qattiq dielektrik sirtiga chiqib razryadlanishning ertaroq boshlanishiga olib keladi. Shuning uchun izolatsiya konstruksiyalarida elektrodning mustahkam bog'lanishiga e'tibor beriladi. Masalan, chinni izolatorlar bilan elektrodning yaxshi mexanik mah-

kamlanishini ta'minlovchi va havo ulanishlarni bartaraf etish maqsadida sement yordamida mustahkamlanadi. Lekin elektrodlar dielektrikka jips yopishganda ham razryadlanish kuchlanishi dielektrik sirti bo'ylab toza havo oralig'iga nisbatan ancha pastligicha qoladi.

Nisbiy namlikning 70-80% da razryadlanish kuchlanishining keskin pasayishi kuzatiladi. Nisbiy namlikning 100% ga yaqin qiymatida, har xil dielektriklarning to'la ho'llanganidan ularning sirti bo'ylab razryadlanish kuchlanishining farqi kamayadi. Dielektrikning gigroskopikligidan uning sirti namlanadi va suvning ion o'tkazuvchanligidan elektr maydon ta'sirida ionlar elektrodlar tomon siljiydi. Ionlarning mikroskopik yupqa qatlamda harakati juda sekin, shuning uchun elektrodlariga yaqin joylashgan sirdagi zaryadlar ketishi natijasida har bir elektrodning yaqinida uning ishorasi bilan bir xil ishorali ortiqcha ionlarning to'dasi hosil bo'ladi. Elektrodlar yaqinida ortiqcha ionlar paydo bo'lishi natijasida elektr maydon shaklining buzilishiga olib keladi. Ya'ni elektrodlar yaqinida ortiqcha ionlar bir jinsli maydonning buzilishiga va razryadlanish kuchlanishining kamayishiga olib keladi. Agar kuchlanishning elektrodlar sirtida taqsimlanishini qaranganimizda ularning notekisligini ko'ramiz. Elektrodlar sirtida razryadning rivojlanishi va razryad kuchlanishi uning namligiga, ya'ni materialning gigroskopikligiga bog'liq. Uning elektrodlar yaqinida maydonni kuchsizlantirganidan kuchlanishning sirt bo'ylab taqsimlanishi buziladi va maydon bir jinsli bo'lmagan maydonga aylanadi.



3.1-rasm. Elektrodlar oralig'ida dielektriklarning joylashish xarakteri



3.2-rasm. Bir jinsli maydonda har xil dielektrik materiallardan olingan namunalarining sirti uchun razryadlanish kuchlanishining elektrodlar orasidagi maydonga bog‘liqlik grafigi: 1-parafin; 2-chinni; 3-turbonit; 4-dielektrikning elek-trodlarga jips yopishmaganidagi (chinni, shisha, turbonit); 5-toza havo oralig‘ining razryadlanish kuchlanishi

Shu sababdan dielektrik sirtida absorbirlangan namlik razryadlanish kuchlanishiga juda katta ta’sir ko‘rsatadi. Dielektrik sirti bo‘ylab razryadlanish kuchlanishini ko‘paytirish uchun dielektrik sirti qovurg‘ali qilib yasaladi, chunki razryadlanish yo‘li uzayadi.

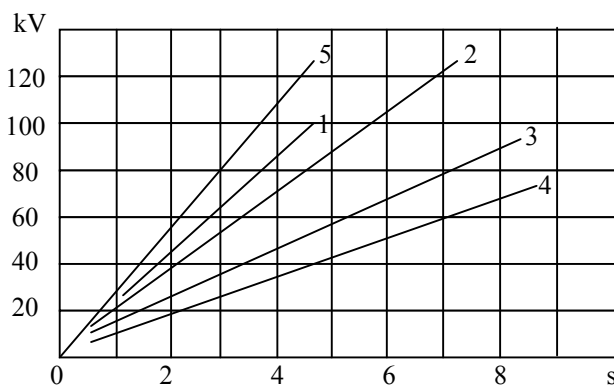
**Ikkinchi holatda** dielektrik bir jinsli bo‘lmagan maydonda turibdi, shu sababdan dielektriklar orasidagi masofa bir xil bo‘ladi. Dielektrikning ho‘llangan sirtida razryadlanish kuchlanishi birinchi holatdagiga nisbatan past bo‘ladi. Dielektrikning ho‘llangan sirtida kechayotgan jarayon, maydonning shunday ham yuqori bo‘lgan bir jinsli emasligini sezilarli darajada oshira olmaydi, chunki absorbirlangan namlikning qarshiligi yetarlicha katta. Bir jinsli bo‘lmagan maydon har xil turdagi qoziqsimon va tayanch izolatorlarda hamda yuqori kuchlanishli elektr uskunalarining korpuslarida mavjud bo‘ladi.

Xuddi bir jinsli maydondagidek razryadlanish kuchlanishi dielektrikning gigroskopikligiga bog‘liq, lekin bir jinsli bo‘lmagan maydonda bu bog‘lanish kuchsizroq bo‘ladi. Razryadlanish kuchlanishi-ning har xil izolatsiyalovchi materiallardan yasalgan silindr sirtida mahkamlangan silindrik elektrodlar orasidagi razryadlanish kuchlanishining masofaga bog‘liqligi 3.3-rasmda keltirilgan. Bu grafiklarni solishtirganimizda ham toza havoning razryadlanish kuchlanishiga nisbatan razryadlanish kuchlanishining eng kam pasayishi eng kichik gi-

groskopik bo'lgan izolatsiyalovchi material parafinda kuzatiladi. Bu pasayish absolut qiymat bo'yicha bir jinsli maydondagidan bir muncha kam. Natija tabiiy, chunki qaralayotgan holatda, namlik qatlami sirtning notekis o'tkazuvchanligini va bir jinsli emasligini bir muncha kattalashtiradi, u razryadlanish kuchlanishiga kuchli ta'sir ko'rsatmaydi.

Bir jinsli bo'lmagan maydonlarda eng katta elektr maydon kuchlanganligi asosan elektrodlar yaqinida bo'ladi. Masalan, tayanch izolatorlarining biri doimo zaminlangan konstruksiyalar bilan bog'langanligi va uning o'lchamini kattaligidan uning sirtida maydon kuchlanganligi kichik bo'lib, razryad potentsiali yuqori bo'lgan elektrod tomonidan boshlanadi. Bu elektrodga razryadlanish kuchlanishini ichki ekran kiritish va uning razryadlanish yo'lini uzaytirish bilan oshirish mumkin. Bu holda maydon kuchlanganligining kichik qiymatida ham razryad musbat elektrod tomonidan boshlanadi.

Razryadlanish kuchlanishini oshirish uchun elektrodlarda elektr maydonini tekislovchi ichki va tashqi ekranlar qo'llaniladi. Ichki ekran kiritish orqali kuchlanish ostida turgan elektrodning sirti bo'ylab razryadlanish kuchlanishini ancha oshirishga erishamiz. Ichki ekranining uzunligiga qarab razryadlanish kuchlanishi kuchlanish impulsining qutblanishiga bog'liq. Misol uchun musbat qutbli impulsda ekranning uzunligi ortishi bilan razryadlanish kuchlanishi ham o'sib boradi. Manfiy qutbli impulsda esa razryadlanish kuchlanishi sekinroq keyin esa tezlik bilan kamaya boshlaydi. Chunki keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda razryadlanishning manfiy elektrod tomonidan rivojlanishi anchagina qiyinroqdir. Bu holda manfiy qutbli impulsda zaminlangan elektrod anod rolini bajaradi. Ichki ekranning dielektrik ichki qismiga chuqurlashishi, zaminlangan elektrodning maydon kuchlanganligi asta-sekin o'sib borishiga va elektrodlar orasidagi masofa qisqarishi bilan razryadlanish kuchlanishini kamayib borishiga olib keladi. Ichki ekranning qanoatlanarli uzunligi manfiy va musbat qutbli impulslarning tengligi bilan aniqlaniladi.



3.3-rasm. Bir jinsli bo‘lmagan maydonda har xil dielektriklar sirtida razryadlanish kuchlanishi: 1-toza havo oralig‘ining teshilishi; 2-parafin; 3-turbonit; 4-bakalit; 5-chinni va shisha

Xuddi bir jinsli maydondagidek razryadlanish kuchlanishini oshirish uchun uning sirtini qovurg‘asimon qilib yasash tavsiya etiladi, chunki sirtiy qoplanish yo‘li kattalashadi. Bu holda kuchli maydonda joylashgan qovurg‘a, ya’ni zaminlanmagan elektrod yaqinida joylashgan qovurg‘a qoplanish yo‘lini uzaytirish bilan birga u to‘siq rolini ham bajaradi. Qovurg‘ali qilib yasash har xil turdagi izolatorlar konstruksiyasida keng qo‘llaniladi.

**Uchinchi holatda** dielektriklarning elektr mustahkamligi nuqtai nazaridan tanlangan qalinligi dielektriklar sirti bo‘ylab elektrodlar orasidagi masofadan ancha kichik bo‘ladi. 1-elektrodning chetidagi elektr maydoni keskin bir jinsli emas. Nisbatan uncha katta bo‘lmagan kuchlanishda 1-elektrod yaqinida tojlanish razryadi boshlanadi. Elektrodlar sirtida maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi katta bo‘lganligidan razryadlanish kuchlanishi pasayadi va razryad xarakterining o‘zgarishiga olib keladi. Bu holda nisbatan past kuchlanishda ham elektrodlar chetida yallig‘lanuvchi tojlanish razryadi (yallig‘lanuvchi nuqta) paydo bo‘ladi, bunga misol tayanch izolatorlarida tok o‘tkazuvchan qismi mahkamlanadigan flans hisoblanadi. Kuchlanishning maydon kuchlanganligining o‘sishiga proporsional ravishda yallig‘lanish ipining uzunligi ham o‘sib boradi. Kuchlanishning ma’lum qiymatida yallig‘lanish tezroq o‘zgarib elektrodlar oralig‘ining to‘la teshilishiga olib keladi. Razryadlanishning bu bosqichi **sirpanuvchan** razryad deb yuritiladi, chunki u elektrod sirtiga yopishganday uning sirti bo‘ylab sirpanganday ko‘rinadi.

Bu jarayonni quyidagicha tushuntirish mumkin. Razryadning ikkinchi bosqichida alohida iplar bo‘ylab zarbaviy ionlanish natijasida

hosil bo'lgan ionlar harakatlanadi. Maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisining kattaligidan bu ionlar dielektrik sirtini uzluksiz bombardimon qilishi haroratning mahalliy o'sishiga olib keladi. Kuchlanish o'sishi bilan yallig' ip bo'yicha harakatlanayotgan ionlar soni ham ortib boradi. Kuchlanishning ma'lum bir qiymatida bu harorat termik ionlanish jarayoni boshlanishi uchun yetarli bo'lganidan kanal bo'ylab ionlar soni keskin o'sib ketadi. Shu sababdan kanalning qarshiligi keskin kamayib, kanallar oxirida maydon kuchlanganligining kattalashishi ipning intensiv uzayishiga olib keladi. Demak, sirpanuvchan razryad dielektrik sirtidagi termik ionlanish jarayoni bilan bevosita bog'langan.

Razryadlanish kanali bo'ylab oqayotgan tok kanalning qarama-qarshi elektrodga nisbatan sig'imi bo'ylab tutashadi. Shu sababdan kanal bo'yicha oqayotgan tok va ionlar soni shu sig'imga va qo'yilgan kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarishiga ko'p jihatdan bog'liq. Kanalning sig'imi dielektrikning birlik sirtining qarama-qarshi elektrodga nisbatan sig'imiga proporsional bo'ladi.

Sanoat chastotasida sirpanuvchan razryad paydo bo'lishi uchun yetarli bo'lgan kuchlanish quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$U_{sr} = \frac{1.36 \cdot 10^{-4}}{C^{0.44}} [\text{kV}]_{\text{ta'sir etuvchi}} \quad (1)$$

bu yerda:  $C$  – sirtning solishtirma sig'imi,  $\text{F}/\text{sm}^2$

Sirpanuvchan razryad kanalining uzunligi qo'yilgan kuchlanishdan tashqari uning vaqt bo'yicha o'zgarishi va solishtirma sig'imiga ham bog'liq. Bu bog'lanish Tepler tomonidan taklif etilgan formula bilan xarakterlanishi mumkin:

$$L_{cp} = KCU^2 \sqrt[4]{\frac{dU}{dt}} \quad (2)$$

bu yerda:  $U$ -elektrodlarga qo'yilgan kuchlanish;  $S$ -sirtning solishtirma sig'imi;  $dU/dt$ – qo'yilgan kuchlanishning o'zgarish tezligi;  $K$ -  $39 \cdot 10^{15}$ -musbat,  $-33 \cdot 10^{15}$  - manfiy impulslar uchun.

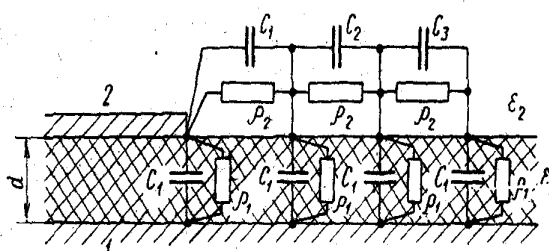
Agar  $L_{cp}$  o'rniga  $S$ -elektrodlar oralig'ining uzunligi qo'yilsa, (2) ifoda razryadlanish kuchlanishini beradi.

O'zgaras tok kuchlanishida razryad kanali sirtiy sig'im bo'yicha tutasha olmaydi, natijada zaryadlar dielektrik sirtida o'rtnashadi va asta-sekin kuchlanishning taqsimlanishini tekislaydi. Shunday qilib, ionlanish toki termik ionlanish jarayoni boshlanishi uchun yetishmaydi va

solishtirma sig'ım yetakchi rol o'ynamaganligidan razryadlanish kuchlanishi ancha yuqoriligicha saqlanadi.

Kuchlanish impulslarida dielektrikning qalinligi (ya'ni sirtiyo solishtirma sig'ım) razryadlanish kuchlanishiga kuchli ta'sir ko'rsatadi. Shuni ta'kidlash lozimki, impulslarda va sanoat chastotasidagi kuchlanishda razryadlanish kuchlanishi elek-trodlar orasidagi masofa kattalashishi bilan juda sekin kattalashadi. Bu ayniqsa elektrodlar oralig'ining katta qiymatida va dielektrikning uncha katta bo'lmagan qalinligida yaqqol seziladi. Shu sababdan amalda o'tuvchi izolatorlarni konstruksiyalashda dielektrik sirti bo'ylab razryadlanish kuchlanishini izolatorning uncha katta bo'lmagan o'lchamini saqlash uchun qo'shimcha tadbirlar qo'llaniladi.

Quyidagi 3.4-rasmda elektrodlar sistemasida dielektrikning almashtirish sxemasi berilgan. Bu yerda  $C_1 = \frac{\epsilon_1}{d}$  - qattiq dielektrik sirtining pastki elektrodga nisbatan solishtirma sig'imi 1, F;  $C_2 = k\epsilon_2$  - qattiq dielektrik qo'shni sirtlarining o'zaro ekvivalent solishtirma sig'imi F;  $d$  - dielektrik qalinligi;  $\rho_1 = \rho v d$  - birlik sirtiyo maydonli va balandligi  $d$  bo'lgan dielektrik ustunining qarshiligi, Om;  $\rho_v$  - dielektrikning hajmiyo solishtirma qarshiligi Om\*m;  $\rho_2 = \rho_s$ ,  $\rho_s$  - dielektrikning sirtiyo solishtirma qarshiligi Om;  $\epsilon_1, \epsilon_2$  - muhitning va qattiq dielektrikning dielektrik singdiruvchanligi, F/m.



3.4-rasm. Kombinatsiyalangan dielektrikning elektrod chetidagi ekvivalent sxemasi

Agar dielektriklarga  $U$  kuchlanish qo'yilgan bo'lsa, u holda qarayotgan  $\dot{U}_x = f(x)$  bog'lanishni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\dot{U}_x = U \frac{Sh\gamma(l-x)}{Sh\gamma}$$

bu yerda 
$$\gamma = \sqrt{\frac{\frac{1}{\rho_1} + j\omega C_1}{\frac{1}{\rho_2} + j\omega C_2}}$$

Qattiq dielektrikning sirti bo‘ylab maydon kuchlanganligi

$$E_x = -\frac{dU}{dx} = U_\gamma \frac{ch\gamma(l-x)}{sh\gamma l}.$$

Elektrodning chetidagi eng katta kuchlanganlik

$$E_{x\max} = U_{\gamma ch\gamma l}$$

Elektrod sirtida tojlanish boshlanadigan kuchlanganlik va kuchlanish quyidagicha bog‘lanishda:

$$U_b = \frac{Eb}{\gamma} th\gamma l.$$

O‘zgaruvchan tok kuchlanishida katta solishtirma qarshi-likli muhit uchun ( $\rho_2 > 10^{12}$ ),  $\omega S_2$  bilan solishtira oladigan  $1/\rho_2$  kattalikni hisobga olmasak ham bo‘ladi. Bundan tashqari barcha texnik dielektriklar uchun  $\frac{1}{\rho_2} \ll \omega C_1$ . Bunda parametr  $\gamma = \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\kappa \epsilon_2 d}}$  ga teng. Bunda  $\gamma$  ni

qo‘llab va  $\gamma l > 10$   $th\gamma l = 1$  deb quyidagi ifodani olamiz  $U_b = Eb \sqrt{\frac{\kappa \epsilon_2 d}{\epsilon_1}}$ ,

bu yerda  $E_b = 24$  kV/sm - havoda razryadlanish mustaqilligi uchun maydonning boshlang‘ich kuchlanganligi. Bu ifodadan ko‘rinadiki, agar dielektrikning uzunligi  $l \geq 5d$  bo‘lsa, sirpanuvchan razryadning paydo bo‘lish kuchlanishi elektrodlar orasidagi masofaga emas, balki asosan uning dielektrik o‘tkazuvchanligi bilan qalinligiga bog‘liq.

$U_{sr} = \frac{18}{C_1^{0.44}}$ , bu yerda  $C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1}{d} 10^{-2}$  - maydoni  $1 \text{ sm}^2$  bo‘lgan dielektrik qarama-qarshi sirtlarining sig‘imi. Bu formula  $S_1 \geq 0,25 \cdot 10^{-12} \text{ F/sm}$  da o‘rinli.

Yuqorida 3.4-rasmda keltirilgan almashtirish sxemasidan ko‘rinadiki, elektrodarga qo‘yilgan o‘zgaruvchan kuchlanish  $C_1$  va  $C_2$  sig‘imlarga taqsimlanadi. Dielektrikning uncha katta bo‘lmagan qalinligida  $C_1$  dan  $C_2$  anchagina katta, shu sababdan elektrodarga qo‘yilgan kuchlanishning ko‘pgina qismi  $C_2$  ga (havo oralig‘iga) to‘g‘ri keladi. Strimer paydo bo‘lganda razryad toki dielektrikning sig‘imi  $C_1$  da siljish toki ko‘rinishida tutashadi. Chunki strimer kanaliga yonboshdagi ko‘chkilar va kichik strimerlarning toki oqib kirishidan unda tok anchagina, u strimer kanalining qizishiga va termik ionlanishning boshlanishiga olib keladi. Yoki bu sig‘imlar bo‘yicha kuchlanishning tekis taqsimlanishini ta‘minlaydigan maxsus uslublarni qo‘llash orqali, bu ko‘pincha kondensator turidagi kirishlarda uchraydi.

Izolatsiya konstruksiyalarida sirpanuvchan razryadning uzoq davom etishi ruxsat etilmaydi. Izolatsiya konstruksiyalarida sirpanish ra-

zryadning boshlanish kuchlanishi va razryadlanish kuchlanishini ko'paytirish uchun dielektrik sirti bo'ylab uning qarshiligiga mos potensialning sig'implarda tekis taqsimlanishiga imkon beradigan yarim o'tkazgichdan qoplama qo'llaniladi. Sirtida bo'layotgan razryad rivojlanishining birinchi bosqichida uning uzunligi kuchlanish o'sishiga proporsional va kuchlanishning o'zgarish tezligiga deyarli bog'liq emas, bu xossa impuls kuchlanishining amplitudasini o'l-chashga mo'ljallangan asbob – klidonografda qo'llaniladi.

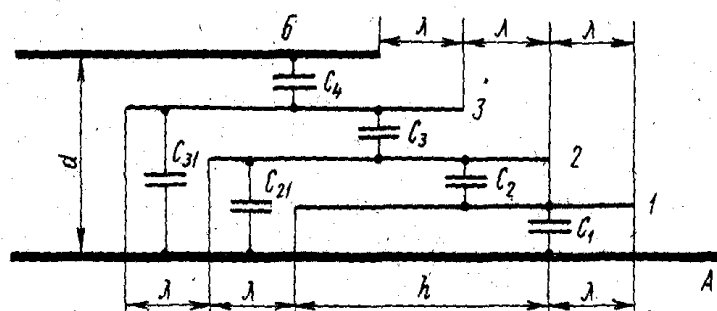
Izolatsiya konstruksiyalari metall qoplamalarining uchlari orasida elektr maydonni tenglashtirish, qo'shimcha manjetlar yotqizish orqali bajariladi (3.5-rasm). Bu A va B asosiy qoplamalar; 1-3 qo'shimcha qoplamalar; d – izolatsiya qalinligi;

$C_1$ – $C_4$ -qoplamalar orasidagi sig'im;  $C_{21}$ ,  $C_{31}$ -asosiy va qo'shimcha qoplamalar orasidagi sig'im;  $\lambda$ -chekinish uzunligi; h- $C_1$ – $C_4$  sig'implarni tashkil qiluvchi qoplama uzunligi.

Tashqi B qoplama yopishgan qatlamlar eng katta yuklangan bo'ladi va kuchlanish quyidagi ifoda bo'yicha topiladi:

$$U_n = \frac{U}{n} \frac{1+(n-1)K}{1+\frac{(n-1)}{2}K} = \frac{U}{n} K'$$

bu yerda: U - asosiy qoplamalar orasidagi kuchlanish; n – yupqa qatlamlar soni; K-  $\lambda/h$  ga teng bo'lgan koeffitsient; K' - notekislik koeffitsienti.



3.5-rasm. Asosiy qoplamalar chetlarida elektr maydonini tekislash uchun qo'shimcha qoplamalar sistemasining (manjeti) ko'rinishi

## 2. Ishni bajarish tartibi

1. Tekis taqsimlangan maydon sifatida ikkita disk orasidagi maydon olinadi. Dielektriklar namunasi silindrik ko'rinishda bo'lib, u maydonning markaziy qismiga joylashtiriladi. Barcha namunalar toza va quruq mato bilan tozalab artilgan bo'lishi kerak. Laboratoriya ishi vaqtida 4-5 nuqta olinadi. Uchta o'lchashning o'rtacha qiymati hisobga olinadi. Olingan o'lchash natijasi 3.1-jadvalga kiritiladi.

Razryadlanish yo'lining uzunligi 0,1 mm aniqlikda shtan-gensirkul bilan o'lchanadi. Namunani disklar orasidagi maydonga o'rnatilishida uning elektrodlarga yopishib joylashishiga e'tibor berilishi kerak. O'lchash va hisoblash natijalari jadval-larga kiritiladi. Olingan natijalar bo'yicha  $U_2=f(X)$  bog'lanish-ning grafigi quriladi. Kuchlanish  $U_2$  ning qiymati darajalash egri chizig'idan yoki quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$U_2 = \frac{U_2'}{\delta} = \frac{K_m}{\delta} U_1 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kV}]$$

Bu yerda:  $U_2'$  - laboratoriyadan olingan kuchlanish;  $U_2$  - Nisbiy zichlik  $\delta = 1$  dagi kuchlanish;  $K_t$  – transformatsiyalash koeffitsienti ( $K_t=500$ )

3.1-jadval

| T/r | Dielektriklar materiali | X, mm | U1[V] |   |   |     | U <sub>2</sub> , kV | U <sub>2</sub> , kV | Ilova |
|-----|-------------------------|-------|-------|---|---|-----|---------------------|---------------------|-------|
|     |                         |       | 1     | 2 | 3 | o'r |                     |                     |       |
| 1   | 2                       | 3     | 4     | 5 | 6 | 7   | 8                   | 9                   | 10    |
|     |                         |       |       |   |   |     |                     |                     |       |

2. Maydon kuchlanganligining bo'ylama (tangensial) tashkil etuvchisi ustunroq bo'lgan keskin bir jinsli bo'lmagan maydon sifatida (bakelit, chinni, viniplast va boshqalardan yasalgan) halqali elektrodlar kiydirilgan naylar olinadi. Maydon kuchlanganligining normal tashkil etuvchisi ustunroq bo'lgan keskin bir jinsli bo'lmagan maydon sifatida tashqi halqasimon elektrodlarning biriga elektrik ulangan va nayga zichroq yopishgan elektrodlar o'rnatilgan holat mos keladi. Kuchlanish manbai sifatida IOM–100/25 sinov uskunasi qo'llaniladi. Elektrodlar orasidagi masofa 20 sm dan boshlab eng kamida 4-5ta nuqta olinadi va laboratoriya ishi natijasi jadvalga kiritiladi. Har bir elektrod uchun alohida jadval to'ldiriladi.

3. Quyidagi bog‘lanishlarning grafiklari qurilsin:

$$U_r=f(l), E_{o'r}=f(l), U_{bt}=f(l), U_{bsr}=f(l).$$

### **Sinov savollari**

1. Razryadlanish kuchlanishiga dielektriklar sirti, materiali va elektrodlar orasidagi maydon shaklining ta'sirini tushuntiring.

2. Razryadlanish kuchlanishining havo namligi, bosimi va elektrodlar orasidagi masofaga bog‘liqligini tushuntiring.

3. Sirpanuvchan razryadlanishni tushuntiring.

4. Elektrodlar sirtida bo‘layotgan razryadlanishni tushuntiring.

5. Elektr maydonini tekislash (to‘g‘rilash) uchun nimalar qo‘llaniladi?

6. Sirpanuvchi razryadlanishda asosiy o‘rinni qaysi razryadlanish turi egallaydi?

7. Tepler formulasini izohlang.

### **4- laboratoriya ishi.**

#### **BIR JINSLI BO‘LMAGAN MAYDONLARDA ELEKTR RAZRYADLARI. QUTBLANISHNING EFFEKTI. TO‘SIQ (EKTRAN)LARNING ROLI**

**Ishdan maqsad:** amaliyotda ko‘p uchraydigan sterjen-tekislik ko‘rinishdagi elektrodlar orasidagi razryadlanish va elektrodlar oralig‘i elektr mustahkamligi elektrodarning qutblanishiga va to‘siqlar mavjudligiga hamda to‘siqlarning shakli va materialiga bog‘liqligi holda qanday darajada o‘zgarishini ko‘rsatuvchi qiymatlarni olish.

#### **1. Nazariy qism**

Bir jinsli tekis taqsimlangan maydonda elektr razryadning shakllanishi uning yuzasi yaqinida samarador elektron paydo bo‘ladigan, ya’ni zarbaviy ionlashish natijasida elektronlar ko‘chkisini hosil eta oladigan elektron mavjud bo‘lgan elektrod tomonidan boshlanadi. Odatda bu elektrod katoddir. Shuni ta’kidlash lozimki, bir jinsli maydonda razryadlanish kuchlanishidan past kuchlanishlarda elektrodlar oralig‘ida ionlanish jara-yoni rivojlanmaydi. Haqiqatan ham misol uchun elektrodlar orasidagi masofa 3 sm bo‘lgan yassi kondensator maydonida razryadlanish kuchlanishi 28,6 kV/sm va bunda zarbaviy ionlanish koeffitsient  $\alpha = 8,5$ , kuchlanish razryad kuchlanishiga nisba-

tan 10% ga pasaytirilganda hajmiy ionlanish koeffitsienti ( $\gamma$ ) 2 marta kamaysa, ko'chkiidagi elektronlar soni  $10^4$  marta kamayadi. Shuning uchun bir jinsli maydonda boshlang'ich ko'chki hajmiy zaryad hosil bo'lmaganda ham rivojlanishi mumkin. Taxminan xuddi shunday sharoit kuchsiz bir jinsli bo'lmagan maydonlarda ham uchraydi.

Gazning bosimi, harorati va elektrodlar orasidagi masofaga bog'liq holda elektronlar ko'chkisi yuqori darajadagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qilsimon plazma-strimerga aylanishi mumkin. Musbat va manfiy zaryadlardan tarkib topgan bu kanal yuqori tezlikda ( $10^6$  sm/s) qarama-qarshi elektrod (anod)ga qarab o'sib boradi. Strimer kanalida mujassamlangan hajmga katoddan erkin manfiy zaryadlar oqib kela boshlaydi (zarbaviy ionlashish natijasida paydo bo'lgan manfiy zaryadlar bundan mustasno). Strimer uchi anodga yaqinlashgan sari anod bilan strimer orasidagi hali teshilmagan oraliqdagi juda katta maydon kuchlanganligi natijasida sodir bo'ladigan shiddatli ionizatsiya tufayli o'tkazuvchan ko'prik hosil bo'ladi. Anoddan strimer kanaliga, strimerning yo'nalishiga qarama-qarshi tarafga musbat zaryadlar oqa boshlaydi va strimerning ortiqcha manfiy zaryadlarini neytrallaydi. Buning natijasida asosiy razryad hosil bo'ladi.

Elektr zanjirining parametriga bog'liq holda razryad uchqunsimon bo'lishi mumkin (qarshilik katta, tok manbaining quvvati kam) yoki yoysimon (qarshilik kam, tok manbaining quvvati katta) bo'ladi.

Keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda razryadning rivojlanishi umuman boshqacha bo'ladi. Masalan, tashqi radiusi  $R = 50$  sm, ichki radiusi  $r = 0,1$  sm bo'lgan silindrik kondensatorda razryadlanish kuchlanishi 90 kV, tojlanish paydo bo'ladigan kuchlanish esa 30 kVga teng bo'lsa, bu ichki silindr sirtida maydon kuchlanganligi 330 va 70 kV/smga to'g'ri keladi. Tojlanish kuchlanishidan 2 marta, razryadlanish kuchlanishidan 6 marta kichik bo'lganda ham ichki silindr sirtidagi maydon kuchlanganligi 30 kV/smdan ortiq bo'ladi. Agar elektrodlar orasiga qo'yilgan kuchlanishni juda sekin oshirilganda tojlanish boshlanishidan ancha oldin ichki silindrning bevosita yaqinida intensiv ionlanish jarayoni hosil bo'ladi. Oldindan ionlanishdan hosil bo'ladigan hajmiy zaryad razryadlanishning keyinchalik rivojlanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi va uni doimo hisobga olish kerak. Keskin bir jinsli bo'lmagan nosimmetrik elektr maydonlarida elektr razryadining shakllanishi odatda egrilik radiusi katta bo'lgan elektroddan rivojlana-

di. Shuni ta'kidlash lozimki, keskin bir jinsli bo'lmagan maydonlarga elektrod qirrasida yaqinida maydon kuchlanganligi, maydonning o'rtacha kuchlanganligidan ancha katta, ya'ni bir jinsli emaslik darajasi  $K_b = \frac{E_{\max}}{E_{or}} > 5$  bo'lgan maydonlar kiradi. Bu yerda:  $E_{\max}$ —elektromaydon kuchlanganligining maksimal qiymati,  $E_{or}$ —maydon kuchlanganligining o'rtacha qiymati.

Ma'lumki, elektr zaryadining shakllanishi, avvalo, elektronlar yordamida zarbaviy ionlashtirish bilan bog'langan, shu sababdan egrilik radiusi katta bo'lgan elektrodning qanday ishoraga egaligi ma'lum ahamiyatga ega emas.

Misol tariqasida sterjen-tekislik elektrodlar tizimi uchun maydon bir jinsli emaslik koefitsientning  $K_n = \frac{E_{lot}}{E_{or}}$  igna va tekislik oraliq masofa o'lchamiga bog'lanish ma'lumotlari quyidagi 4.1-jadvalda keltirilgan. Bunda keskin bir jinsli bo'lmagan elektr maydonning bir jinsli emaslik darajasi  $K > 500$  deb olingan, bu esa maydon bir jinsli emasligining chegaraviy holati hisoblanadi.

Ko'rinib turibdiki, sterjen uzunligi (L) radiusi (R) ga nisbatan 10 marta va undan katta o'lchamda bo'lsa, maydon bir jinsli emaslik koefitsient taxminan  $0,6 \times SR$  qiymat bilan aniqlanadi.

4.1-jadval

| S/R  | S/R |     |      |      |       |     |
|------|-----|-----|------|------|-------|-----|
|      | 2   | 5   | 20   | 50   | 100   | 500 |
| 2    | 2,7 | 5,6 | 20,5 | 50,5 | 100,5 | 500 |
| 10   | 2,6 | 5   | 17   | 41,1 | 81,3  | 402 |
| 100  | 2,5 | 4,8 | 15,3 | 35   | 67,2  | 322 |
| 1000 | 2,5 | 4,8 | 15   | 33,7 | 63,2  | 285 |

Elektr razryadining vujudga kelishi to'qnashuv (zarbaviy) ionizatsiyasiga bog'liq bo'lgani sababli sterjendagi zaryad ishorasi, uning qutblanishi, elektrodlar oralig'idagi masofa va elektrodlar orasiga o'rnatilgan to'siqning elektr mustahkamligiga ta'siri juda katta.

Keskin bir jinsli bo'lmagan maydonga yaqqol misol bo'ladigan “sterjen-tekislik” elektrodleri orasidagi oraliqni qaraymiz. Bu oraliqda oldindan ionlanish jarayoni kuchli maydon sohasida, ya'ni sterjen yaqinida rivojlana boshlaydi. Bunda hajmiy zaryad yaratayotgan

elektr maydonning buzilishi sterjenning musbat va manfiy zaryadlanishida har xil bo'ladi.

Sterjen musbat zaryadlanganda (qutblanganda) oraliqda paydo bo'lgan elektron sterjen tomon harakatlanib, kuchli maydonga tushganda ionlanish jarayoni boshlanib, elektronlar ko'chisini hosil qiladi. Agar kuchlanishni asta-sekin oshira borsak, tojlanish boshlangunga qadar, ya'ni razryadning mustaqillik sharti bajarilgungacha oraliqda bir nechta ko'chki hosil bo'ladi. Ularning har biri sterjenga yetganda, elektronlar elektrodga ketib, musbat ionlar esa oraliqda qolib asta-sekin qarama-qarshi elektrod tomon siljiydi va anod (sterjen) oldida musbat hajmiy zaryad hosil qiladi. Tashqi maydon kuchlanganligi bilan hajmiy zaryad hosil qilayotgan magnit maydonining yo'nalishi mos keladi. Musbat hajmiy zaryadning mavjudligi sterjen oldidagi maydonni kamaytirib, tashqi maydonni bir muncha kuchaytiradi. Shu sababdan keyinchalik sterjen yaqinida ionlanish jarayoni kuchsizlanadi, bu razryadlanishning mustaqillik sharti bajarilishini qiyinlashtiradi, ya'ni tojlanishning boshlanishini sekinlashtiradi. Chunki keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda "sterjen-tekislik" elektrodlar oralig'ida razryad doimo sterjen tarafidan boshlanadi. Bunda uchqunli razryaddan oldin tojlanish razryadi keladi.

Sterjen musbat zaryadlangan taqdirda anodli strimer hosil bo'ladi. Sterjen yaqinida intensiv ionlanish jarayoni ( $E > E_0$ ) tufayli musbat va manfiy ishorali erkin zaryadlar hosil bo'ladi. Ammo ionlarga nisbatan harakatchanligi ikki va undan ortiq darajada katta bo'lgan elektronlarning ko'p qismi sterjen (anod)ga yetib kelib, tashqi zanjirda tok hosil qiladi. Ignaning oldida qolgan musbat hajmiy zaryad maydonning shaklini o'zgartirib, razryadning rivojlanishi yo'nalishida, ya'ni hajmiy musbat zaryad bilan manfiy zaryadlangan tekislik orasidagi maydon kuchlanganligini ko'paytiradi. Igna bilan musbat hajmiy zaryad oralig'ida intensiv ionlashish natijasida tezlikda plazma hosil bo'lib, musbat strimer shakllanadi. Bu strimer uning bosh qismida joylashgan musbat hajmiy zaryad tufayli u manfiy tekislik ko'rinishdagi elektrod tomon o'sib boradi.

Agar sterjen musbat zaryadli bo'lib, yana elektrodlar orasidagi qo'yilgan kuchlanish yetarlicha yuqori bo'lsa, hajmiy zaryadning o'ng tomonda ko'chki paydo qilib ko'chkining elektronlari hajmiy zaryadning musbat ionlari bilan aralashib anod strimerining paydo bo'lishiga olib keladi. Strimer plazmasining zaryadi elektr maydon ta'sirida bo'l-

ganligi sababli ular tekis taqsimlanmasdan strimer kanalining uchida ortiqcha musbat zaryadlar joylashadi. Bu zaryad strimer kanalining maydonni qisman kompensatsiyalab uning uchida yuqori maydon kuchlanganligini hosil qiladi. Strimerning uchida kuchli maydonning borligi elektronlari strimer kanaliga tortiluvchi yangi ko'chkilarning paydo bo'lishiga olib keladi. Maydonning bir jinsli emaslik darajasiga ko'ra elektrodlar orasidagi kuchlanish va maydon kuchlanganligi strimerning bosh qismida (uchida) uning cho'zilishiga qarab o'sishi yoki kamayishi mumkin. Birinchi holda strimerning qarama-qarshi elektrodga tarqalishi ta'minlansa, ya'ni oraliq to'la teshilsa, ikkinchi holda esa strimerning rivojlanishi ma'lum uzunlikdan keyin to'xtaydi, bunda tojlanish razryadi sodir bo'ladi.

Shu sababli, sterjen musbat zaryadlanganda, oraliqning elektr mustahkamligi ortsa, u manfiy zaryadlanganda esa kamayadi. Oradagi farq bir jinsli emaslik koeffitsienti  $K_n$  ga ko'p jihatdan bog'langan va uning qiymati 2,5 va undan ko'proq bo'lishi mumkin.

Sterjen manfiy qutblanganda katod sirtida paydo bo'lgan elektronlar birdaniga kuchli maydon ta'siriga tushib qolib, tekislik tomon yo'nalgan ko'chki hosil qiladi. Elektronlar kuchli maydon ta'siridan chiqqandan keyin ular ionlanish jarayonini bajarolmay qolib sekinlanuvchi tezlik bilan anodga tomon uchadi. Ularning bir qismi anodga yetib borib u yerda neytrallansa, qolgan qismi esa kislorod molekullari bilan osongina rekombinatsiyalashgan holda manfiy ionlarni hosil qiladi. Bundan keyin manfiy ionlarning anodga tomon siljish tezligi keskin kamayadi. Ko'chkining musbat ionlari asta-sekin sterjenga ketib, ularning tezligi nisbatan kichik bo'lganidan doimo sterjen oldida musbat hajmiy zaryad hosil qiladi. Shunday qilib sterjen oldida ixcham musbat hajmiy zaryad, oraliqning ichkarisida esa sochilgan manfiy hajmiy zaryad mavjud bo'ladi. Manfiy ionlar zichligi kamligidan musbat ionlarga qaraganda tashqi maydon shaklini unchalik buzmaydi. Sterjen yaqinida maydon kuchlanganligi o'sishi natijasida razryadning mustaqillik shartining buzilishini qiyinlashtiradi.

Sterjenni manfiy qutbli deb olsak, u holda sterjenning bevosita yaqinida strimerning paydo bo'lishi (katod strimeri) anchagina qiyinlashgan bo'ladi. Chunki sterjen yaqinidagi kuchli maydon sterjeni o'rab turuvchi musbat hajmiy zaryad tomon tarqaluvchi ko'pgina ko'chkilarning paydo bo'lishiga olib keladi. Bir vaqtda paydo bo'ladigan ko'chkilarning ko'pligidan oraliqni to'ldiruvchi plazma

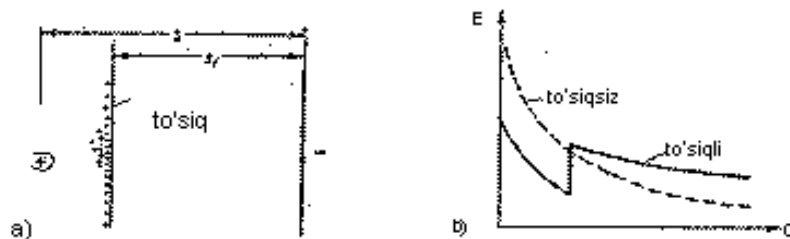
paydo bo'lmagan, balki bir jinsli plazma qatlami hosil bo'ladi. Bu qatlam egrilik radiusi etarlicha katta bo'lgan ekran hosil qiladi. Bu holda kuchlanishining keyinchalik o'sishida ham ionlashish uzoq vaqt faqat sterjen bilan plazma qatlami orasida boradi, u esa asta-sekin kattalashib, qarama-qarshi elektrod tomon cho'ziladi. Maydon kuchlanganligining keyinchalik kuchayishida elektrodlar orasidagi kuchlanishning o'sishi elektronlar ko'chkisi plazma qatlamining o'ng tomonida razryadning rivojlanishiga olib keladi. Bu ko'chkilarning musbat zaryadi keyinchalik ko'chkilar sonining ko'payishiga olib kelishi va plazma qatlamining anod tomon cho'zilishi hamda strimerga aylanishiga olib kelishi mumkin.

Yuqorida qilingan tahlildan ko'rinadiki, "sterjen-tekislik" elektrodlar orasida sterjen musbat zaryadlanganida tojlanishning paydo bo'lishi, uning manfiy zaryadlanganiga qaraganda yuqoriroq bo'ladi.

Ikkala qutblanish holida strimerning oraliqni butunlay kesib o'tishi bu elektrodlar orasining to'la teshilishini bildiradi, lekin u razryadlanish jarayonining tugallanganligini bildirmaydi. Shuning uchun strimer sterjenning cho'zilishini bildirib, uning bosh qismidagi potensial sterjen potensialiga yaqin.

Gaz yoki yog' bilan to'ldirilgan elektrodlar oralig'iga uning elektr mustahkamligini oshirish maqsadida silindr shaklidagi yupqa plastinka kiritiladi. Bu plastinkaga to'siq deyiladi va to'siq sifatida juda ingichka yupqa elektrokarton, bakelit yoki metall qobig'i qo'llanilishi mumkin. Gazli oraliq uchun to'siq-ning elektr mustahkamligi hech qanday rol o'ynamaydi. To'siqning gazli oralig'ning razryadlanish kuchlanishiga sezilarli ta'siri ionlanish jarayonida hosil bo'lgan hajmiy zaryadning o'zgarishi bilan bog'liq. Misol sifatida yassi baryer o'rnatilgan "sterjen-tekislik" oralig'ni ko'rib chiqamiz (4.1.a-rasm).

Agar sterjen musbat zaryadlangan bo'lsa, uning yaqinida hosil bo'lgan musbat ionlar, to'siq bo'lmasa, musbat hajmiy zaryad hosil qiladi. To'siq o'rnatilganda esa musbat ionlar to'siq tomonidan ushlab qolinib, uning sirti bo'ylab tarqaladi. Musbat zaryadlarning tekis taqsimlanishi to'siq sterjendan qancha uzoq o'rnatilsa, shuncha yaxshi bo'ladi. Tashqi atrofdagi maydonning kuchlanganligi (hajmiy zaryad dan o'ng tarafda) avvalgiday kattalashaveradi, lekin kuchlanganlik oshgani bilan tekislik bilan to'siq oralig'i bo'ylab ma'lum darajada tekis taqsimlanganligidan to'siqning sirtida kuchlanganlik oshmaydi.



4.1-rasm. “Sterjen–tekislik” elektrodlar oralig‘iga to‘siq o‘rnatilgandagi maydonning taqsimlanishi:

- a) “sterjen-tekislik” oralig‘iga yassi to‘siq o‘rnatilgan;
- b) to‘siqning kuchlanganlik taqsimlanishiga ta’siri

Tashqi tarafdagi maydon kuchlanganligi oldingiday ko‘payaveradi, lekin bu kuchlanganlik iloji boricha bir tekis taqsimlanishga harakat qiladi. Shuning uchun musbat zaryadlangan sterjen yaqiniga o‘rnatilgan to‘siq razryadlanish kuchlanishining anchagina ko‘payishiga olib keladi.

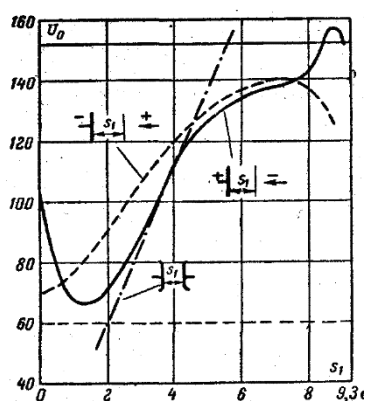
Sterjen manfiy zaryadlanganda jarayon boshqacha bo‘ladi. Sterjendan harakatlanayotgan elektron to‘siqqa uchrab o‘zining tezligini yo‘qotadi, ularning ko‘pchiligi kislorod atomi bilan birlashib to‘siq sirtida taqsimlanuvchi manfiy ionlarni hosil qiladi. Shunday qilib, to‘siq konsentratsiyalangan manfiy hajmiy zaryadning paydo bo‘lishiga olib keladi, chunki u to‘siq yo‘q paytida juda kichik qiymatni tashkil etadi.

To‘siq bo‘lmagan holatda asosiy rolni tashqi maydon kuchlanganligini kamaytiruvchi musbat hajmiy zaryad o‘ynasa, to‘siq bor holda esa uning sirtida yig‘ilgan tashqi atrof maydonini kuchaytiruvchi manfiy hajmiy zaryad asosiy rolni bajaradi. Shunday qilib, sterjen manfiy zaryadlanganda oraliqning o‘rtasiga o‘rnatilgan to‘siq razryadlanish kuchlanishini kamaytiradi.

Laboratoriya ishi shuni ko‘rsatadiki, agar to‘siq elektrodlar o‘rtasiga joylashtirilsa, razryadlanish kuchlanishi elektrodning musbat va manfiy qutblanishida bir-biriga juda yaqin bo‘ladi. Bu holda butun oraliqning elektr mustahkamligi to‘siq hamda tekislik oralig‘ining elektr mustahkamligi bilan aniqlanadi (4.2-rasm).

Agar to‘siq musbat elektrod yaqiniga joylashtirilsa, uning roli kamayadi, chunki to‘siqda hajmiy zaryadning taqsimlanishi keskin note-kis bo‘lib, maydon kuchlanganligi esa to‘siqning sirtida yetarlicha kat-

ta bo‘lganligidan to‘siqning orqa tomonida ionlashish jarayonining rivojlanishiga olib keladi. Bevosita hosil bo‘lgan musbat ionlar to‘siq tomonidan ushlab qolinmaydi va oraliqning ichki qismlarida razryadning rivojlanishiga qolib keladi. To‘siqning bevosita manfiy elektrod, ya’ni kuchli maydon yaqinida joylashishida u katta tezlik bilan uchib kelayotgan elektronlarni ushlab qolish imkoniga ega emas, ular to‘siqni teshib o‘tib ketishidan to‘siq sirtida katta manfiy hajmiy zaryadning paydo bo‘lishiga yo‘l qo‘ymaydi. To‘siqning teskari tomonida ionlashish natijasida hosil bo‘lgan musbat ionlar maydonning yanada kuchli buzilishiga olib keladi. Shunday qilib, to‘siqning musbat zaryadlangan sterjendan  $(0,25 \div 0,3)$  sm masofada joylashishi razryadlanish kuchlanishini taxminan 2 martagacha oshirishi mumkin. Bu qattiq va gazsimon dielektriklarning kombinatsiyalangan izolatsiya konstruksiyasiga misol bo‘ladi. Bunday kombinatsiyalashgan izolatsiya konstruksiyalari ko‘pgina elektr apparatlar va mashinalarning izolatsiyalarida ko‘p uchraydi.



4.2-rasm. “Sterjen-tekislik” oralig‘i razryadlanish kuchlanishining sterjen qutblanishida to‘siqning o‘rniga bog‘liqligi

Elektrodlar oralig‘i  $S=9,3$  sm ga teng qilib olinib, unga o‘zgarmas kuchlanish qo‘yilganda, punktir bilan bir jinsli maydonda razryadlanish kuchlanishining elektrod bilan to‘siq orasidagi masofaga bog‘liqligi keltirilgan.

Kombinatsiyalangan izolatsiya tarkibiga kiruvchi dielektriklarga talab ularning qanday kuchlanishga mo‘ljalanishiga bog‘liq, misol gazsimon muhitdagi to‘siq ionlarni ushlab qolishga mo‘ljallangan. To‘siqning elektrik mustahkamligi asosiy rol bajarmasada, uning g‘ovak yoki teshik bo‘lishiga yo‘l qo‘yilmaydi.

O'zgaruvchan kuchlanishda teshilish razryadlanish kuchlanishi kam bo'lgan yarim davrda sodir bo'ladi. To'siqning ta'siri o'zgaruvchan va o'zgarmas kuchlanishlarda bir xil bo'ladi.

Tekshirish shuni ko'rsatadiki, sterjen-tekislik orasidagi razryadlanish musbat va manfiy qutblarda har xil xarakterga ega. Musbat zaryadli sterjendagi lider kanali juda ko'p tarmoqlanadigan bo'lsa, manfiy zaryadli sterjenda liderning harakati pog'onasimon bo'ladi. Bosh razryad tushayotgan liderning strimer bilan to'qnashishi bilan boshlanadi va uning tarqalishi to'qnashuv joyidan ikkala tomonga bo'ladi.

Amalda elektr sistemasining izolatsiyakonstruksiya-sida qo'llaniladigan to'siqlar (ekranlar) shakli bo'yicha ekvipotensial sirt shakliga yaqinlashtirishga intiladi. To'siqning ta'siri uning yuzasida zaryadlarning yig'ilishi natijasida elektr maydonning shaklining o'zgarishi bilan tushuntiriladi. Sterjen musbat zaryadlanganda uning yuzasida musbat ionlar yig'ilsa, manfiy zaryadlanganda esa manfiy ionlar yig'iladi.

Qo'llanilayotgan to'siq ta'sirining effektivligi undan sterjengacha bo'lgan razryadlanish oralig'ining uzunligiga bog'liq. Agar to'siq taxminan sterjendan elektrodlar oralig'ining uchdan bir qismiga teng masofada joylashtirilsa, ta'sirning effekti maksimal bo'ladi, chunki razryadning shakllanish vaqti sanoat chastotasi bilan o'zgarayotgan o'zgaruvchan kuchlanish yarim davridan 4-5 daraja kichik. O'zgaruvchan kuchlanishda elektr razryadi igna musbat qutblangandagi yarim davrda rivojlanadi. Shuning uchun to'siq sanoat chastotasidagi o'zgaruvchan kuchlanishda keng qo'llaniladi. O'zgaruvchan va o'zgarmas tok uskunalarida ham to'siqlar keng ko'lamda qo'llaniladi.

## **2. Ishni bajarish tartibi**

Laboratoriya yo'li bilan aniqlanishi kerak:

1. "Sterjen-tekislik" elektrodleri havoning oralig'ining elektr mustahkamligining, ya'ni teshilish kuchlanishining elektrodler qutblanishiga va oraliq masofasining bog'lanishini aniqlang:

a) sterjen musbat qutbli hol uchun  $S=2, 4, 6, 8$  va  $10$  sm.

b) sterjen manfiy qutbli hol uchun  $S = 2, 4, 6, 8$  va  $10$  sm.

Eslatma. Sinov sxemasida (4.3-rasm) kuchlanish asta-sekin ko'tariladi, razryad hosil bo'lgandan so'ng u darhol o'chirilishi kerak va qoldiq zaryadlar erga o'tkazilishi shart.

Natijalar 4.2-jadvalga kiritiladi, razryad kuchlanishi  $U_p$  ning qiymati  $U_p = \frac{U_1 K}{550}$ , bu yerda  $K$ -to'g'rilagich uskunasi ko'effitsient 1410 ga teng formula orqali hisoblanadi.

4.2 -jadval

| T/r | Elektrodlar orasidagi masofa, sm | Igna-musbat qutbli |   |   |     | Igna-manfiy qutbli |   |   |     |
|-----|----------------------------------|--------------------|---|---|-----|--------------------|---|---|-----|
|     |                                  | $U_1$ [V]          |   |   |     | $U_2$ [kV]         |   |   |     |
|     |                                  | 1                  | 2 | 3 | o'r | 1                  | 2 | 3 | o'r |

2. Elektrodlar orasidagi masofani  $S=10$  sm deb olib, to'siq ta'sirini aniqlang; to'siqning sterjenga nisbatan joylashishini  $x=2, 4, 6, 8$  sm deb olib, to'siqning har bir holati uchun laboratoriya ishi takrorlanadi va olingan natija 4.3 va 4.4-jadvallarga kiritiladi.

Eslatma. To'siq o'tga chidamli moddadan karton yoki tunukadan yasalgan bo'lsin. O'lchov natijalari bilan 4.3-jadvalga va unga o'xshash 4.4-jadval (Sterjen qutbi manfiy bo'lgan hol uchun ham) to'ldiriladi.

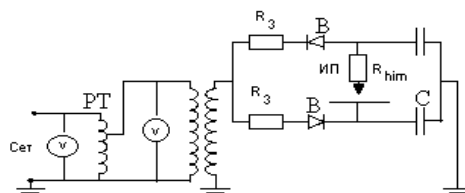
4.3-jadval

| T/r | X, sm | $U_1$ [V] |   |   |     | $U_p(U_2)$ kV | Igna qutbli |
|-----|-------|-----------|---|---|-----|---------------|-------------|
|     |       | 1         | 2 | 3 | o'r |               | musbat      |

4.4-jadval

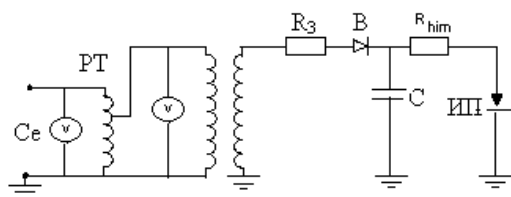
| T/r | X, sm | $U_1$ [V] |   |   |     | $U_p(U_2)$ kV | Igna qutbli |
|-----|-------|-----------|---|---|-----|---------------|-------------|
|     |       | 1         | 2 | 3 | o'r |               | manfiy      |

3. Jadvallar asosida  $U_p = f(S)$  va  $U_p = f(x)$ , bog'lanish chizmalarini tuzing.



4.3-rasm. Kuchlanishning ikkilanganligidagi to'g'rilash sxemasi

$$K=2\sqrt{2} K_t$$



4.4-rasm. Bir yarim davrli to‘g‘rilash sxemasi

$$K=2\sqrt{2} K_t$$

$R_{him}$ -himoya qarshiligi;  $R_z$ -zaryadlash qarshiligi;  
 $V$ -to‘g‘rilagich;  $IP$  – tekshirilayotgan oraliq.

### Sinov savollari

1. “Shar-shar” va “tekislik-tekislik” ko‘rinishdagi elektrodlar tizimida qutbning ta’siri bo‘ladimi?
2. Nima uchun “sterjen-tekislik” tizimida sterjen qutbining teshilish kuchlanishiga ta’siri katta bo‘ladi?
3. To‘siqning maydon shakliga ta’sirini tushuntiring.
4. Nima uchun to‘siq o‘tkazuvchan modda bo‘lsa ham teshilish kuchlanishi ortadi?
5. Impulslı kuchlanishda to‘siq ta’siri saqlanadimi? To‘siq ta’siri o‘zgaruvchan va o‘zgarmas kuchlanishlarda bir xil bo‘ladi.

### 5-laboratoriya ishi.

#### HAVO ELEKTR UZATISH YO‘LINING O‘TKAZGICHLARIDA KO‘RINUVCHAN TOJLANISHNI TEKSHIRISH

**Ishdan maqsad:** 1. Tojlanish razryadining asosiy fizik tavsiflarini aniqlash va uni aniqlash usuli bilan tanishish.

2. Ko‘rinuvchan tojlanish kuchlanishining o‘tkazgich radiusi o‘zgarmas bo‘lgandagi o‘tkazgichlar orasidagi masofaga bog‘liqligini aniqlash.

3. Ko‘rinuvchan tojlanish kuchlanishining o‘tkazgichlar orasidagi masofa o‘zgarmas bo‘lgandagi o‘tkazgichlar radiusiga bog‘liqligini aniqlash.

4. Bajarilgan 1-2 laboratoriya ishidan olingan natijalardan foydalalanib, ko‘rinuvchan tojlanishdagi elektr maydon kuchlanganligini hisoblang.

5. O'tkazgichlar radiusi o'zgarmas bo'lganda  $U_v=f(r)$  va  $E_v=f(r)$  hamda o'tkazgichlar orasidagi masofa o'zgarmas bo'l-gandagi  $E_v=\varphi(s)$  va  $U_v=\varphi(s)$  funksional bog'lanishlarning grafigi qurilsin.

### 1. Nazariy qism

Tojlanish – bir jinsli bo'lmagan maydonlarda razryadlanish mustaqilligining bir turi hisoblanadi. Keskin bir jinsli bo'lmagan maydonda mustaqillik shartining bajarilishida, hosil bo'layotgan strimer elektrodlar oralig'ini qoplamasdan, ionlanish jarayoni elektrodlar yaqinidagi kichik radiusli soha bilan chegaralanadi. Bu sohaga **tojlanish g'ilofi** deyiladi. Ionlanish va unga mos keluvchi rekombinasiya jarayoni va qo'zg'atilgan molekula va ionlar normal holatiga o'tishida ko'p sonli yorug'lik kvantini ajratishi natijasida tojlanish g'ilofi yorug'lanadi va tojlanayotgan elektrodlar atrofida yog'dulanishni paydo qilgani uchun unga tojlanish deyiladi.

Tojlanish g'ilofida hosil bo'layotgan ionlar tashqi maydon ta'sirida tashqi sohaga siljiydi. Kuchlanishning oshishida tojlanish g'ilofini tashkil etayotgan va alohida hosil bo'layotgan strimerlar asta-sekin uzayadi. Tojlanish tokining qo'yilgan kuchlanishga bog'liqligi tojlanish razryadining asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanadi.

Tojlanishning fizik xossasi ko'pincha “sterjen (igna)-tekislik” oralig'ida o'rganiladi va bu yerda igna sifatida kichik diametrli o'tkirlashtirilgan simdan foydalaniladi. Bunday oraliqda maksimal kuchlanganlik bo'lgan nuqta ignaning uchi hisoblanadi va ionlanish ignaning uchiga yaqin uncha katta bo'lmagan hajmda sodir bo'ladi.

Energetikada havo elektr uzatish yo'llarining o'tkazgichlarida kuzatiladigan tojlanish katta ahamiyatga ega. Ma'lumki, silindrik ko'rinishdagi o'tkazgichlar atrofida elektr maydon notekis bo'ladi. Uning elektr maydon kuchlanganligi o'tkazgich sirtidan uzoqlashgan sari tez kamayadi va o'tkazgich radiusi qancha kichik bo'lsa, shuncha tez kamayadi. O'tkazgichlarning radiusi kichik bo'lganda va nisbatan uncha katta bo'lmagan elektr maydon kuchlanganligida tojlanish bir jinsli ko'chki xarakterga ega bo'lib, tashqi tomondan zich bir jinsli yallig'lanuvchi tojlanishning g'ilofi ko'rinishda xarakterlanadi. O'tkazgichlarning radiusi va ularga qo'yilgan kuchlanish katta bo'lganda tojlanish strimer xarakteriga ega. Tojlanishning g'ilofi katta qalinlikda, uzilishli va notekisliklarga ega bo'ladi.

Ma'lumki, har qanday silliqlangan simning sirtida g'adir-budurliklar mavjud, u o'zgaras kuchlanishda tojlanish boshlanishiga olib keladi. Simning uzunasiga birdaniga bir nechta nuqtalarida tojlanish boshlanishidan tojlanish toki uzluksiz bo'ladi.

Laboratoriya ishidan ma'lumki, simning sirtida tojlanish mustaqil razryad ko'rinishida paydo bo'lishi, maydon kuchlanganligining kritik qiymati va kuchlanishga bog'liq.

Ma'lumki, yuqori va o'ta yuqori kuchlanishdagi havo elektr uzatish yo'l (liniya)larining simlarida tojlanish bo'lganda simlar orasida toklarning oqishi natijasida, tojlanish razryadi juda katta energiya isrofiga va elektr uzatish foydali ishlash koeffitsientining pasayishiga olib keladi. Yana tojlanishning paydo bo'lishi toklarning egri chiziqlarida yuqori garmonikaning hosil bo'lishi va elektr uzatish yo'li yaqinida joylashgan aloqa liniyalarining ishlash rejimiga ta'sir ko'rsatuvchi omillarning paydo bo'lishi kuzatiladi. O'ta kuchlanishlar paytida tojlanish razryadi energiya isrofining keskin ko'payishiga olib kelishi bilan o'tkazgichlarda kuchlanishni pasaytiradi va shu bilan birga o'ta kuchlanish sathining chegaralanishi kuzatiladi.

Kuchlanish o'sgan sari ionlanuvchi qatlamning qalinligi oshib boradi va nihoyat o'tkazgichlar orasining to'la teshilishi sodir bo'ladi. O'tkazgichlarni o'rab turgan havoning yallig'lanishi boshlanishi uchun o'tkazgich sirtidagi elektr maydon kuchlanganligi ma'lum bir qiymatga yetishi kerak. Kuchlanishning bu qiymati "ko'rinuvchan tojlanish kuchlanishi" deb ataladi, u simning radiusiga bog'liq va radius kamaygan sari o'sib boradi.

Umumiy hol uchun amalda qo'llaniladigan va juda kichik radiusli o'tkazgichlar uchun F. Pik tomonidan quyidagi bog'lanish olingan:

$$E_T = E_0 \delta \left( 1 + \frac{0.301}{\sqrt{r\delta}} \right) \text{ [kV/sm]} \quad (1)$$

Elektr maydonning shunday maydon kuchlanganligini hosil qilish uchun zarur bo'lgan kuchlanish ushbu ifoda bilan topiladi:

$$U_T = E_T r \ln \frac{S}{r} \quad (2)$$

Bu formuladagi mustaqil razryadlanish boshlanadigan boshlang'ich kuchlanganlik  $E_0 \cong 30 \text{ kV}_{\text{max}}/\text{sm}$  yoki  $21 \text{ kV}_{\text{eff}}/\text{sm}$  ga teng deb olinadi.

Bu yerda: Ut-berilgan sistemaning neytraliga nisbatan ko'rinuvchan tojlanish kuchlanishi, kV;

$r$  - o'tkazgich radiusi, sm;

$S$  – o'tkazgichlar o'qi orasidagi masofa, sm;

$\delta$  - keltirilgan ifoda bilan aniqlanadigan havoning nisbiy zichligi

$$\delta = \frac{0.386P}{273} + t^0; \quad (3)$$

bu yerda:  $R$ —simob ustuniga teng bosim,  $t^0$ —Selsiyda berilgan harorat.

Ko'rinuvchan tojlanish kuchlanishiga o'tkazgich sirtining silliqiligi katta ta'sir ko'rsatadi.

Yuqorida keltirilgan  $U_t$  ni aniqlash formulalari silliqilgan simlarga taalluqli bo'ladi. Amalda esa alohida paylardan o'ralgan o'tkazgichlar qo'llaniladi. O'tkazgichlar ko'pincha shilingan, tinalgan, Moylangan, qor, qirov va suv tomchisi bilan qoplangan bo'lishi mumkin. Bu omillarning ko'rinuvchan tojlanish kuchlanishining kamayishiga ta'siri silliqlik koeffitsient  $m_1$  va ob-havo koeffitsient  $m_2$  larning kiritilishi bilan hisobga olinadi.

Bir simli o'tkazgich uchun silliqlik koeffitsienti -0,93 – -0,95; ko'psimli o'ralgan o'tkazgichlar uchun esa -0,80 – -0,87. Yaxshi ob-havo uchun ob-havo koeffitsient 1,0 ga teng, yomon ob-havo uchun esa 0,8 ga teng deb olinadi. Bu koeffitsientlarning ko'paytmasining qiymati  $m_1, m_2$  yomon ob-havoda  $0,51 \div 0,55$  ga yetishi mumkin.

Tojlanish razryadi elektrotexnologiyada gazlarni tozalashda va maydalangan tog' jinslarining elektroseparasiyasida hamda boshqa operatsiyalarda keng qo'llaniladi.

Bunday razryad kuchli bir jinsli bo'lmagan maydonlarning yuqori kuchlanganlik mavjud bo'lgan sohasida paydo bo'ladi. Ionlanish jarayoni bilan o'ralgan gaz qatlamining qalinligi bir necha millimetrdan oshmaydi, elektr maydon kuchlanganligi kuchsiz bo'lgan tashqi oblastda esa ionlanish jarayoni kuzatilmaydi. Razryadlanishda kuchsiz yallig'lanish va tojlanuvchi maydonda ionlarning yo'naltirilgan harakati bo'yicha gaz oqimi bilan bog'langan engil xushtaksimon shovqini "elektrik shamol" kuzatiladi.

Laboratoriya ishi shuni ko'rsatadiki, o'tkazgich sirtidagi tojlanish razryadi mustaqil formani oladigan kritik kuchlanganlik elektrodlarining qutblanishiga bog'liq emas. Masalan, radiusi  $r$  bo'lgan silliqilgan o'tkazgich  $R$  radiusli silindrning o'qi bo'yicha joylashganda va  $R \gg r$  shart bajarilganda kritik kuchlanganlik ushbu empirik formula bo'yicha aniqlanadi:

$$E_k = 31\delta \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{r\delta}}\right) \quad \text{unga mos keluvchi kuchlanish}$$

$$U_k = Ekr \ln \frac{R}{r}.$$

Bir-biriga nisbatan  $S \gg r$  masofada joylashgan va  $h = \frac{S}{2}$  balandlikda osilgan  $r$  radiusli o'tkazgichlar uchun elektr maydon kuchlanganligi  $E_k$  va kritik kuchlanish  $U_k$  quyidagicha aniqlanadi.

$$E_k = 29.8\delta \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{r\delta}}\right); \quad U_k = Ekr \ln \frac{S}{r}.$$

Yuqorida keltirilgan ifodalar bir-biriga juda yaqin bo'lgan natija beradi, chunki o'tkazgichlar atrofida tojlanishning rivojlanish mexanizmi o'xshashdir. Bu tenglamalarni solishtirish shuni ko'rsatadiki, ular nafaqat strukturasi bo'yicha o'xshash, balki ular sonli qiymatlari bo'yicha ham yaqin. Chunki  $S \gg r$  shartda sim atrofidagi elektr maydoni strukturasi bo'yicha silindrik kondensator maydoniga juda yaqin. Bu tojlanishni o'rganishda keng qo'llaniladi.

Shuni ta'kidlash lozimki, musbat va manfiy tojlanishning boshlang'ich kuchlanganligi orasidagi farq uncha sezilarli emasligi kuchlanishning musbat va manfiy qutbliligida erkin elektronlarning paydo bo'lish mexanizmi orasidagi bir qancha farq bilan aniqlanadi. O'tkazgich radiusi santimetrlar atrofida bo'lsa,  $E_0^+ > E_0^-$  bo'ladi. Tojlanish rejimida kuchlanishning bir qutb liligida o'tkazgich yaqinida faqat ionlar siljisa, bu tojlanish rejimiga unipolarli deyiladi. Bunday rejim o'zgarmas kuchlanishda "o'tkazgich-yer" sistemasida yoki o'zgaruvchan kuchlanishda esa agar o'tkazgichning uzunligi shunchalik kichik bo'lib, kuchlanishning yarim davrida hosil bo'lgan barcha ionlar oraliqdan kuchlanishning keyingi yarim davrigacha to'la bartaraf etilgandagina mavjud bo'lishi mumkin.

Uzunroq oraliqlarda o'zgaruvchan kuchlanishda ionlar keyingi yarim davrda o'tkazgichga yana qaytsa yoki o'zgarmas kuchlanishda o'tkazgichlarga teskari zaryadlangandagi tojlanish holatida "bipolar" tojlanish rejimi o'rnatiladi. Musbat tojlanishning ionlanish sohasiga manfiy ionlarning kirishida erkin elektronlarni tashkil qilgan holda ionlarning yemirilishi mumkin. Shuning uchun tojlanishning bipolar rejimida razryad tojlanishning boshlang'ich  $U_b$  kuchlanishdan past kuchlanishda ham davom etishi mumkin. Kuchlanishning qarama-qarshi ionlar bor bo'lgan holdagi razryadni davom ettirish uchun zarur bo'lgan minimal qiymatiga kritik kuchlanish  $U_k$  deyiladi. Shunga mos

keluvchi o'tkazgichlar sirtidagi maydon kuchlanganligiga kritik kuchlanganlik  $E_k$  deyiladi.

Silindrik sirtli o'tkazgichlarda havoda kuzatiladigan razryadlanish mustaqilligining boshlang'ich kuchlanganligi quyidagi formulalar bilan qanoatlantirarli darajada approksimasiyalanadi:

o'tkazgichda musbat zaryad bo'lganda

$$E_n^+ = 24\delta \left( 1 + \frac{0,638}{r_0^{0,38} \delta^{0,3}} \right)$$

o'tkazgichda manfiy zaryad bo'lganda

$$E_n^- = 24\delta \left( 1 + \frac{0,62}{r_0^{0,38} \delta^{0,3}} \right)$$

bu yerda  $\delta$  - havoning nisbiy zichligi;  $r_0$  - o'tkazgichning radiusi, sm.

Radiuslari  $r_0$  bo'lgan o'tkazgichlar uchun sanoat chastotasidagi elektr maydon kuchlanganligining kritik amplitudaviy qiymati quyidagi formula orqali topiladi.

$$E_k = 23,3\delta \left( 1 + \frac{0,62}{\delta^{0,3} r_0^{0,38}} \right)$$

Boshlang'ich kuchlanish yaqinida musbat tojlanish toki manfiy tojlanish tokidan oshiqroq bo'ladi. Manfiy tojlanishdagi tokdagi uzilishlar, simning sirtiga yaqin joylarda musbat va manfiy ionlarning bipolar zaryadlarning yig'ilishi va ularning tezlikda bartaraf etilishi bilan aniqlanadi. Simning belgilangan yuzasidan rivojlanayotgan tojlanish impulsleri taxminan bir xil amplituda va formaga ega bo'lib, ularning takrorlanish chastotasi kuchlanish o'sishi bilan ko'payadi va bir necha yuz kilogersgacha yetishi mumkin. Kuchlanishni ko'paytirib borsak, tojlanish tokining o'zgarishi uzluksiz ko'rinishni oladi.

Kuchlanishning boshlang'ich  $U_b$  qiymatiga yaqin qiymatida musbat qutbli tokning uzilishli o'zgarishi hajmiy zaryadning hosil bo'lish va bartaraf etilish tezliklari orasidagi namunosibligi bilan aniqlanadi. Musbat tojlanish toki impulsining amplitudasi manfiyiniqiga qaraganda kichik, davom etish vaqti esa anchagina katta bo'lib, o'nlarcha hamda undan ortiq mikrosekundni tashkil etadi. Kuchlanishni boshlang'ich  $U_b$  qiymatidan uncha katta bo'lmagan qiymatga oshirsak, bu impulsler yo'qoladi va tojlanish tokining uzluksizligi o'rnatiladi. Keyinchalik kuchlanishni  $U_b$  ko'proq qiymatga oshirsak, tojlanish razryadi strimer formasiga o'tadi.

Yagona toza va yaxshilab silliqlangan o'tkazgichda maydonning simmetrikligi tufayli tojlanish razryadi o'tkazgichning butun yuzasini

qoplaydi. Qorong'ilikda o'tkazgichning butun aylana sirti bo'ylab ko'm-ko'k olovni kuzatamiz. O'tkazgich sirtining kirlanishida alohida yoritiluvchi dog'lar ko'rinishidagi mahalliy tojlanish kuzatiladi. O'zgaruvchan kuchlanishda tojlanayotgan oraliqda doimo bir-biriga teskari yo'nalgan musbat va manfiy ionlar qatnashadi. Har bir yarim davrda hosil bo'layotgan ionlarning zaryadining ishorasi o'tkazgich sirtidagi zaryadning ishorasiga mos kelsa, u o'tkazgichdan teskari yo'nalishda harakatlanadi. Kuchlanishning oldingi yarim davrida hosil bo'lgan teskari qutbli ionlar o'tkazgich tomon harakatlanadi. Sanoat chastotasining bir davri ichida ionlarning bosib o'tgan yo'li 220-750 kV kuchlanishli liniyalarda o'tkazgich atrofidagi kuchli maydonda 0,4-0,6 m ga yetadi.

Laboratoriya ishi shuni ko'rsatadiki, razryadning paydo bo'lish lahzasida tokning keskin o'sib ketishi kuzatiladi, bu hajmiy zaryadning paydo bo'lishiga va tojlanayotgan oraliqda kuchlanish bilan tok orasidagi chiziqli bog'lanishning buzilishiga to'g'ri keladi.

Hajmiy razryadning paydo bo'lishi o'tkazgichning dinamik sig'iminining  $C_d = \frac{dq}{du}$  ko'payishiga olib keladi. Dinamik sig'imning ko'payishini to'la zaryadning kuchlanishga bog'liqligini ko'rsatuvchi volt-kulon xarakteristikasida yaqqol ifodalaymiz.

Elektr uzatish yo'llarida o'ralgan va parchalangan o'tkazgichlar keng qo'llanilmoqda. O'ralgan simning g'adir-budurligi tojlanishning hosil bo'lishini yengillashtiradi. Tashqi diametrlar va boshqa har xil sharoitlarning tengligida (liniyaning sig'imi, kuchlanish, atmosfera sharoitlari) o'ramali sim sirtidagi maydonning maksimal kuchlanganligi  $E_o$ , silliq sim sirtidagi maydonning maksimal kuchlanganlikdan  $E_s$  ancha katta va ularning nisbati  $\frac{E_o}{E_s} = 0,7$  ga teng. O'ramli simning sirtiga

yaqin joyda maydon kuchlanganligi pasayishining silliq sig'imnikiga qaraganda salmog'i katta, o'ramli sim sirtidagi tojlanishning boshlanish kuchlanishining silliq simnikiga nisbati 0,82-85 ga teng.

Elektr uzatish yo'lida tojlanishning alohida o'choqlari, kuchlanishning qiymati o'tkazgich ustiga hech qanday yog'in-sochin bo'lmagandagi kritik kuchlanishdan anchagina kichik kuchlanishda ham paydo bo'ladi. Kuchlanishning kritik kuchlanishdan kichik qiymatlarida tojlanish razryadi mahalliy xarakterga ega. Sim sirtining ayrim joylarida razryadlanish o'choqlarining paydo bo'lishiga sabab o'tkazgich sirtining kirlanishi yoki shikastlanishi tufayli kuchlanganlikning

oshishi hisoblanadi. Elektr uzatish yo'lining simlaridagi kuchlanish kritik kuchlanishga tenglashganda isrof yo'l qo'yib bo'lmaydigan darajada oshib ketadi. Shuning uchun fazadagi parchalangan simlarning diametri shunday bo'lishi kerakki, ularning ishchi kuchlanishi tojlanishning kritik kuchlanishdan ancha kichik bo'lsin, ya'ni  $U_r = (0,8-0,9)U_k$ .

Tojlanish tokining impulslari elektr uzatish yo'llarining yaqinida radioshovqin hosil qiladi. Radioshovqin sathi ruxsat etilgan qiymatdan oshmagandagi simlar sirtlaridagi maydon kuchlanganligi (kV/sm) quyidagi empirik formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$E_{rsh} = 15,7 + \frac{11,2}{\sqrt{r_0}} + \frac{4,8}{r_0}$$

Laboratoriya sharoitida simlar sirtidagi tojlanishni tekshirishda sim silindrga joylashtiriladi. Bu paytda tojlanishlarning boshlang'ich kuchlanishi ushbu formulalar bo'yicha hisoblanadi:

- yagona sim uchun

$$U_b = E_b m r_0 l_n \frac{R}{r_0}$$

- parchalangan simlar uchun

$$U_b = \frac{n m r_0 E_b}{1 + (n-1) \frac{r_0}{r}} \ln \frac{R}{r_s}$$

bu yerda:  $E_b$ -tojlanishning boshlang'ich kuchlanganligi, kV/sm (agar tojlanishning kritik kuchlanishi  $U_k$  aniqlanilayotgan bo'lsa, u vaqtda  $E_b$  o'rniga  $E_k$  qo'yiladi);

$r_0$ -simning radiusi, sm;

$R$ -silindrning radiusi;  $m$ -nosillilik koeffitsienti;

$n$ -faza parchalangandagi simlar soni;  $r_p$ - parchalanish radiusi;

$r_e = r_p \sqrt{n \frac{r_0}{r_p}}$  - parchalangan simlarning ekvivalent radiusi;

re u shunday yagona o'tkazgichning radiusi-ki, u vaqtda liniyaning ishchi sig'imi parchalangan simlarning ishchi sig'imiga teng.

Ko'rinuvchan tojlanish kuchlanishiga o'tkazgich sirtining silliqiligi katta ta'sir ko'rsatadi.

Silindrik kondensatorning o'qiga nisbatan  $r$  masofadagi ixtiyoriy nuqtadagi maydon kuchlanganligi

$$E = \frac{U}{r \ln \frac{R}{r_0}},$$

$$U_k = E_k r_0 \ln \frac{R}{r_0}; \quad I = \frac{8\pi\epsilon_k}{R^2 \ln \frac{R}{r_0}} U(U-U_f) \text{ deb olsak, o'zgaras tok kuchlanishi-}$$

da tojlanishga bo'layotgan isrof quyidagicha topiladi:

$$P = A \cdot U \cdot k \quad [\text{kVt/km}]$$

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

O'zgaruvchan tok kuchlanishidagi liniyalarda alohida faza hajmiy zaryadlarining o'zaro ta'sirini e'tiborga olish lozim, chunki fazalar-dagi qutblanishlar doimo o'zgarib turishidan har bir fazaning hajmiy zaryadi yarim davrda simga tortilsa, yarim davrda esa undan qochadi. Buni e'tiborga olgan holda hajmiy zaryadning maksimal uzoqlashi-shida o'tkazgichlar atrofidagi maydon kuchlanganligi o'zgaras va kritik qiymatga teng.

O'zgaruvchan kuchlanishda tojlanishga bo'layotgan isrof amerika-lik muhandis Pik tavsiya etgan empirik formula orqali topiladi:

$$P = \frac{241}{\delta} (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r_0}{s}} (U_f - U_0)^2 10^{-5} \frac{\text{kW}}{\text{km} \cdot \text{faza}}$$

bu yerda:  $\delta$  - havoning nisbiy namligi;

S - o'tkazgichlar orasidagi o'rtacha geometrik masofa;

$r_0$  - o'tkazgichning radiusi;

f - chastota;

$U_f$  - faza kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati;

$U_0$  - kritik kuchlanishga yaqin bo'lgan hisobiy kuchlanish, u quyi-dagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U_0 = 21,2\delta r_0 \frac{\ln S}{m_1 m_2}$$

Bu ifodadagi  $m_1$  va  $m_2$  o'tkazgichning sillqlik va ob-havo koeffit-sient deyiladi. Koeffitsient  $m_1$  o'tkazgich sirtining holatini xarakter-laydi. Real o'tkazgichlar uchun bu koeffitsient  $0,85 \div 0,9$ . O'tkazgich sirtidagi defektlar bu koeffisientning yanada kamayishiga olib keladi. Koeffitsient  $m_2$  tojlanishga bo'layotgan isrof yomg'ir va tumanda ya-nada oshib ketishini ko'rsatadi. Tojlanishga bo'layotgan isrofn ka-maytirishning eng asosiy usullaridan biri o'tkazgichning diametrini kattalashtirish hisoblanadi. Bu koeffitsientlarning  $m_1 \cdot m_2 = 0,8$  va ha-voning nisbiy zichligini  $\delta=1,0$  ga teng deb olib va yuqori kuch-lanishdagi liniyalar uchun o'rtacha  $\ln \frac{S}{r_0} = 6,5$  hamda tojlanishga isrof

bo'lmayapti deb faraz qilib, ochiq havo uchun kuchlanishni quyidagicha topish mumkin:

$$U_f = \frac{U_x}{\sqrt{3}} = 21,2 \cdot 0,8 \cdot 6,5 r_0 \approx 110 r_0$$

Agar kuchlanish nominal kuchlanishdan 10% ga yuqori deb oladigan bo'lsak va o'tkazgichning minimal diametri  $d_{\min} = 2r_0$  deb qabul qilsak, minimal diametr uchun quyidagi shartni olamiz:

$$d_{\min} = 1,15 \cdot 10^{-2} U_b$$

bu 110; 220; 400 kV liniyalar uchun 1,25; 2,5; 4,6 sm ga teng.

Kuchlanishi 400 va undan yuqori kuchlanishlar uchun tojlanishga isrofni kamaytirish muammo hisoblanadi. Shu sababdan yuqori kuchlanishli liniyalarda isrofni kamaytirish uchun faza parchalashlarni qo'llash hisoblanadi. Bu fikr 1911-yilda V.F. Mitkevich tomonidan taklif etilgan. Ma'lumki, fazalarning simlari o'zaro simmetrik joylashganligidan ulardagi zaryadlar bir xil qiymatga ega bo'lsa, kuchlanish bilan zaryad orasidagi bog'lanish ushbu ifoda bilan topiladi:

$$U_f = q \cdot (\alpha_{11} + \alpha_{12}); \alpha_{11} = 1/2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \ln S / r_0;$$

$$\alpha_{12} \approx 1/2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \ln S / D$$

Parchalangan simlarning sig'imini bilgan holda zaryad hosil qilyotgan maydon o'rtacha kuchlanganligini quyidagi formula orqali topamiz:

$$E_{o'r} = U_f / n \cdot r_0 \cdot \ln S / r_0$$

Hozirgi vaqtda tojlanishga bo'layotgan isrofni aniqlash uchun Mayra tomonidan taklif etilgan formula qo'llaniladi:

$$R = nkfr_0^2 E_e (E_e - E_k) (2,3 \cdot 1350 \frac{E_e}{fr_0} - 1) 10^{-5} \frac{kVt}{km \cdot faza}$$

bu yerda:  $n$  - fazadagi simlar soni;

$f$  - chastota, Hz;

$r_0$  - simning radiusi, sm;

$E_k$  - maydonning kritik kuchlanganligi, kV/sm;

$E_e$  - maydonning ekvivalent kuchlanganligi, kV/sm.

$$E_e = (E_{\max} + E_{o'r}) / 2$$

Formuladagi koeffitsientlar: yaxshi ob-havo uchun  $K=44$ ;  $E=17$  kV/sm, yomon ob-havo uchun  $K = 31,5$ ;  $E_k = 11$  kV/sm qabul qilindi. Mayra formulasi bo'yicha taxminiy hisoblashlar uchun yomon ob-havo 10% ni tashkil etadi, yaxshisi esa 90% deb qabul qilinadi.

Ob-havoning bunday bo'linishi shartli bo'lib, shuning uchun Mayra formulasi eng kam ham emas va eng katta ham bo'lmagan isrofni bermasdan uning yillik o'rtacha taxminiy qiymatini beradi.

Ma'lumki, tojlanishga bo'layotgan isrof laboratoriya yo'li bilan har xil ob-havo va har xil o'tkazgich turlari uchun aniqlanadi. Lekin barcha omillarni e'tiborga olgan holda laboratoriya ishi o'tkazishning deyarli iloji yo'q.

Shu sababdan misol uchun radiusi  $r_0=1$  yagona o'tkazgichda maydonning maksimal kuchlanganligi uchun isrof aniqlanib, har qanday ko'p simli o'tkazgich uchun olingan natijani  $nr_0$  ga ko'paytirish kifoya, bu o'z navbatida Mayra formulasidagi ko'paytuvchining o'zidir.

## **2. Ishni bajarish tartibi**

Ko'rinuvchan tojlanishning paydo bo'lishini kuzatish qorong'i xonada, kuchlanishning tojlanishning izi (mahalliy tojlanish) yoki o'tkazgichning butun yuzasining yallig'lanishi (turg'unlashgan tojlanish) paydo bo'lishdagi qiymatini o'rnatish yo'li bilan subyektiv usul orqali amalga oshiriladi. Bu laboratoriyada kuchlanish manbai rolini ikki chiqishli Simen-Shukkert firmasining sinash transformatori bajaradi, uning chiqishlariga ikkita yaxshi tortilgan parallel sim ulanadi.

Tojlanishning paydo bo'lishi simlarning sirtida yallig'lanish orqali amalga oshiriladi, chunki tojlanishning boshqa belgilari (azonning hosil bo'lishi, shovqin) tojlanishning boshlang'ich bosqichlarida kichik intensivlikda o'zgaradi va tashqi begona sabablardan paydo bo'lishi mumkin.

Yana shuni ta'kidlash lozimki, tojlanishga bo'layotgan isrof yallig'lanish paydo bo'lgunga qadar hosil bo'ladi va bunga tojlanish razryadining qorong'i bosqichi deyiladi.

Barcha o'tkazgichlarning sirti bo'ylab yallig'lanish paydo bo'lganda tojlanishga bo'layotgan energiya isrofi yo'l qo'yib bo'lmaydigan darajada oshib ketadi. Shuning uchun elektr uzatish yo'llarini loyihalashda liniyaning parametrlari shunday tanlanadiki, unda ko'rinuvchan tojlanish yo'q bo'lsin. Shu sababdan tojlanish ayrim nuqtalarda, ya'ni simlarning qisqichga birlashtirilgan joylarida paydo bo'lishiga ruxsat etiladi.

Yetarlicha aniqlikda yallig'lanishning boshlanishini belgilash maqsadida, ya'ni kuzatuvchilarning ko'zi qorong'ilikka o'rganishi (akko-

modatsiya) uchun ular laboratoriya o'tkaziladigan xonaga biroz oldin kirishlari kerak.

Kuchlanish berilgandan keyin, uni yallig'lanishning aniq ko'rinishi paydo bo'lgunga qadar ko'ta rib borish kerak. Keyinchalik esa kuchlanishni asta sekin (1 kV/s) tezlikda oxirgi yallig'langan nuqtaning yo'qolishigacha pasaytirib boriladi. Tojlanish to'la yo'qoladigan kuchlanish minimum uch marta o'lchanishi kerak. Shu uchta o'lchovning o'rtachasi olinadi. Tojlanishning paydo bo'lish nuqtalarini aniqlashda teskari yo'nalishda borish biroz noqulay, chunki kuchlanishni asta-sekin ko'ta rib borilishida qorong'ilikda paydo bo'layotgan yallig'lanayotgan nuqtalarni izlab topishdagi qiymati uning yo'qolishidagi kuchlanishdan yuqori.

Laboratoriya ishidan olingan qiymatlarni adabiyotdagisi bilan solishtirish uchun Pikning (1) va (2) formulalari bilan hisoblangan bog'lanishni ko'rish kerak. Barcha olingan qiymatlar quyida keltirilgan jadvalga kiritiladi.

Laboratoriya ishini bajarishda simlarning parallelligini, buralmaganligini, tirnalmaganligini tekshirish kerak. Simlarning diametrlari uning ikki-uch joyida shtangensirkul yoki mikrometr bilan o'lchanadi va ularning o'rtachasi olinadi. Simlarning namunasi o'qituvchi tomonidan beriladi. Har bir laboratoriya uchun 5-7 nuqta olinadi va quyida keltirilgan 5.5-jadvalga kiritiladi.

$r = \text{sonst}$

5.5-jadval

| Laboratoriya natijalari |       |   |   |    |                   |                       |               | Hisobiy natijalar |                       |
|-------------------------|-------|---|---|----|-------------------|-----------------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| S                       | U1[V] |   |   |    | U2                | E2                    | P             | U'2               | E'2                   |
| sm                      | 1     | 2 | 3 | sm | kV <sub>max</sub> | kV <sub>max</sub> /sm | mm<br>sim.ust | kV <sub>max</sub> | kV <sub>max</sub> /sm |
|                         |       |   |   |    |                   |                       |               |                   |                       |

Xuddi shunday jadval o'tkazgichlar orasidagi masofa o'zgarmas bo'lgandagi hol uchun ham to'ldiriladi.

### **Sinov savollari**

1. Nima uchun keskin bir jinsli bo'lmagan maydonlarda o'tkazgichlar orasidagi oraliqning to'la teshilishidan tojlanish ko'rinishidagi razryad oldinroq keladi?
2. Tojlanish razryadining paydo bo'lishini ta'riflang.
3. Vakuumda tojlanish razryadi sodir bo'lishi mumkinmi?
4. Nima uchun elektr mashinalari, elektr apparatlari va kabellarda tojlanishga ruxsat etilmaydi, havo elektr uzatish yo'llarida esa keskin chegaralanadi?
5. Sizning fikringizcha tojlanishga bo'layotgan isrofga qarshi kurashish va uni chegaralash yo'llaridan qaysi biri effektiv?
6. Bir jinsli emaslik darajasi nimalarga ta'sir ko'rsatadi?
7. Isrofnı aniqlashdagi Pik va Mayra formulalarini tushuntiring.

### **6- laboratoriya ishi.**

#### **OSILUVCHAN IZOLATORLAR SHODASI BO'YLAB KUCHLANISHNING TAQSIMLANISHI**

**Ishdan maqsad:** ma'lumki, amaliyotda elektr sistemasidagi havo elektr uzatish yo'llarida qo'llanilayotgan osiluvchan izolatorlar shodasi bo'ylab kuchlanishning taqsimlanishini aniqlashning ko'p usullari mavjud. Bu laboratoriya ishida kuchlanishning izolatorlar shodasi bo'ylab taqsimlanishini shodaga qo'yilgan to'la kuchlanishning foizlarda aniqlash talab etiladi. Qo'yilgan masala bo'yicha kuchlanishni o'lchash o'zgarmas tirqishli elektrodlar yoki ming'illab ovoz chiqaruvchi shtanga (ustun) yordamida amalga oshiriladi.

#### **1. Nazariy qism**

Elektr uzatish yo'llarining o'tkazgichlari o'zaro va yerga nisbatan havo oralig'i yordamida izolatsiyalanadi. Buning uchun o'tkazgich izolator yordamida tayanchlarga ma'lum masofada osiladi. Elektr uzatish yo'lining izolatsiyasiga ta'sir etadigan ichki va tashqi o'ta kuchlanishlar biror tayanchlar oralig'ida (prolyotda) yoki biror tayanchda izolatsiyasining elektr mustahkamligining buzilishi xavfini tug'diradi va bu o'z navbatida uning avariya holatida o'chirilishiga olib keladi. Izolatsiyaning buzilishi har xil fazalar o'tkazgichlari orasidagi yoki ular bilan zaminlangan o'tkazgich orasidagi havo qatlamining teshilishidan yoki izolatorning qoplanishi natijasida bo'ladi. Chunki

tayanchlarda simlar zaminlangan konstruksiyaga juda yaqin kelishi va ular sirtida razryadlanishning rivojlanishi havo oralig'iga nisbatan yengilligi tufayli ko'proq tayanchlarga nisbatan teshilish paydo bo'ladi.

Atmosfera va ichki o'ta kuchlanishlar elektr sistema elementlarining ishlash rejimini buzmasligi uchun uning izolatsiyasi elektrik mustahkamligi maksimal o'ta kuchlanish amplitudasidan yuqori bo'lishi kerak. Ammo elektr uzatish yo'llarining avariya holatida o'chiriliblarini o'ta mustahkam izolatsiyalaratish hisobiga bartaraf etish, iqtisodiy jihatdan o'zini oqlamaydi. Chunki bu elektr uzatish o'tkazgichlari orasidagi masofaning va tayanchlar o'lchamining kattalashishiga va qo'llanilayotgan izolatorlar shodasidagi izolatorlar sonining oshishiga olib keladi. Shu sababdan ularda uncha yuqori bo'lmagan izolatsiyasathida normal ishlashini ta'minlash uchun mahsus tadbirlar: ya'ni yashindan saqlagichlar va energiya bilan ta'minlashni buzmasdan avariylarni bartaraf etuvchi qurilmalar, avtomatik qayta ulagichlar, yoyso'ndirgichlar qo'llaniladi.

Bu holda elektr uzatish yo'llarining izolatsiyasiga quyidagi talablar qo'yiladi:

1. Havo elektr uzatish yo'lining izolatsiyasiiloji boricha ko'proq ichki o'ta kuchlanishga chidashi kerak. Shu sababdan izolatsiyalarni tanlashda maksimal bo'lishi mumkindan sal kichikroq hisobiy ichki o'ta kuchlanish sathidan kelib chiqiladi.

2. Izolatsiyaning impuls mustahkamligi effektiv va iqtisodiy asoslangan yashindan saqlagichlar yaratilishi uchun yetarli bo'lishi kerak. Bu talab kuchlanish sinfiga bog'liq. Kuchlanishi 35 kV havo elektr uzatish yo'llarida izolatsiyaning impuls mustahkamligi ichki o'ta kuchlanish bo'yicha tanlanadi. Lekin bu yashindan uzilishlarni kamaytirish uchun yetarli hisoblanmaydi. Kuchlanishi 110 kV va undan yuqori kuchlanishdagi liniyalarning impuls mustahkamligi oddiy yashindan muhofaza qilish qurilmalari yordamida himoyalashni amalga oshiriladi.

### **1.1. Osiluvchan izolatorlarning shodasi**

Kuchlanishi 110 kV va undan yuqori kuchlanishdagi liniyalarda hamda ko'pincha 35 kV kuchlanishda ham o'tkazgichlarni tayanchlarga mahkamlash uchun osiluvchan izolatorlar shodasidan foydalani-ladi. Oraliq tayanchlarda izolatorlar shodasining vertikal osilganligi-

dan ularni **ushlab turuvchi**, anker va burchak tayanchlarda esa deyarli gorizontal joylashishi va simlarning tortilish kuchini qabul qilganligidan unga **tortib turuvchi** deyiladi. Izolatorlar shodasining mexanik mustahkamligi, uni tashkil etgan izolatorlarning mexanik mustahkamligiga bog'liq. Shuning uchun bir xil izolatorlar tanlanadi. Juda katta yuklanishlarda, ya'ni katta prolyotlarda, daryolardan o'tishda parallel bir nechta shoda qo'llaniladi. Izolatorlar shodasining elektrik mustahkamligini uni tashkil etgan izolatorlarning elektrik mustahkamligi bilan bog'liq bo'lmaydi, ya'ni razryadlanish yo'li yagona izolator va izolatorlar shodasi uchun farq qiladi. Shodaning razryadlanish yo'li  $L=n \cdot H$  ga teng (6.1a-rasm). Razryadlanish kuchlanishi razryadning qaysi yo'l bilan borishiga bog'liq. O'rtacha razryadlanish gradienti, razryadlanish izolator sirtining to'la yoki ayrim qismlarida rivojlani-shida havodagidan past bo'ladi. Ma'lumki, agar  $L_p/H$  nisbat 1.3 dan katta bo'lsa, u effektlili bo'lmaydi. Bu nisbatni oshirish uchun izolator diametri oshiriladi yoki qurilish balandligi kamaytiriladi. Yomg'irda kuchlanish izolator shodasining pastki qismidagi ho'llanmagan izolatorlarning sirtiga to'g'ri keladi.  $L_p/H$  ning o'sishi, ho'l razryadlanish kuchlanishining oshishiga olib keladi. Razryadlanish yo'lida kuchlanish taqsimlanishini bir tekis qilish uchun himoya armaturasi qo'llaniladi. Chunki shodadagi izolatorlar ularning sig'implariga bog'liq holda har xil kuchlanishlarda bo'lib qolishi mumkin (1b-rasm). Bu yerda  $S$ -likopsimon izolatorning xusu-siy sig'imi,  $S_1$ - izolatorning erga nisbatan sig'imi,  $S_2$ -izolatorning o'tkazgichga nisbatan sig'imi.  $S_1$  va  $S_2$  sig'implarning qiymati izolatorning shodadagi holatiga bog'liq.  $S_1=4 \div 5$  mk mkf;  $S_2= 0,5 \div 1$  mk mkf. Bu sig'implarning mavjudligi kuchlanishning bir tekis taqsimlanmasligiga olib keladi. Chunki izolator o'tkazgichlardan qancha uzoq joylashgan bo'lsa, kuchlanishning tushishi shuncha kam bo'ladi, ya'ni yaqin joylashgan izolator katta kuchlanishda va o'rtada joylashganida esa kuchlanish eng kam bo'ladi. Kuchlanishning bir tekis taqsimlanmaslik darajasi shodaning uzunligi o'sishi bilan kattalashib boradi. Bu esa o'z navbatida simga yaqin joylashgan izolatorlarda ishchi kuchlanishda ham tojlanishning boshlanishiga olib kelishi mumkin. Shodada kuchlanishning bir tekis taqsimlanmasligi, shodaning pastki qismidagi izolatorlarda ishchi kuchlanishda ham tojlanish boshlanib kuchli radioshovqin hosil qilishi va uning metall qismlarida korroziyaning boshlanishiga

olib kelishi mumkin. Izolatorlarda tojlanish undagi kuchlanishning  $20 \div 25$  kV qiymatida paydo bo‘ladi. Kuchlanishning notekis taqsimlanishidan shodadagi elementlar sonidan qat’iy nazar simdan birinchi turgan izolatorlarda kuchlanishning tushishi 20% ga teng. Kuchlanishning taqsimlanishini tekislash uchun himoya armaturasi qo‘llaniladi. Armaturaning simga nisbatan sig‘imini oshirish hisobiga simga yaqin izolatorlarda kuchlanishning tushishini kamaytiradi. Eng effektli usullardan biri faza parchalashdir, chunki bu holda parchalangan simning o‘zi himoyalash armaturasining rolini bajaradi. Himoya armaturasiga qo‘yilgan talablarga shoda bo‘ylab kuchlanishning taqsimlanishini tekislashdan tashqari shodaning qopla-nishdan emirilishining oldini olish ham yuklatilgan. Chunki shodadagi izolatorlarning yuzasi notekis qizishidan uning yemirilishiga olib kelishi mumkin. Buni bartaraf etish uchun shodaning zaminlangan tomonida yoyning simdan uzoqroq masofada yonishini ta’minlash maqsadida metall shoxlar o‘rnatiladi.

Hozirgi vaqtda liniyalarda tezkor o‘chirgichlarning qo‘llanilishidan yoyning yonish vaqti keskin kamayib izolatorlarning yemirilishi ehtimoli ham juda kamayib ketadi.

Izolatorlar shodasidagi izolatorlar soni bilan ho‘l razryadlanish kuchlanishi orasida quyidagicha chiziqli bog‘lanish bor:

$$U_{hr} = n \cdot E_{hr} \cdot H \quad (1)$$

bu yerda:  $E_{hr}$ -o‘rtacha ho‘l razryadlanish kuchlanganligi tegishli turdagi izolatorlar uchun quyidagicha: P- 4,5; P- 7; P- 8,5 uchun 2,15 kV/sm ga, PM-4,5 uchun esa 2,70 kV/sm ga teng. N bitta izolatorning qurilish balandligi.

Shodadagi izolatorlar soni shunday tanlanadiki, uning ho‘l razryadlanish kuchlanishi hisobiy ichki o‘ta kuchlanishdan yuqori bo‘lishi kerak, ya’ni

$$\begin{aligned} U_{hr} &\geq K \cdot U_{io'k} \\ n &\geq K \cdot U_{io'k} / E_{hr} \cdot N \end{aligned} \quad (2)$$

Bu ifodadagi K ichki o‘ta kuchlanish paydo bo‘lishi vaqtida sistemadagi manbalar EYKlarining oshirilgan qiymatga ega bo‘lishini hisobga oluvchi son.

Uzoqda joylashgan yuklamalarning shinasidagi kuchlanishni rostlash uchun 330 kV va undan past kuchlanishlarda uzoq vaqtga kuchlanishning 15% ga oshirilgan qiymati ruxsat etiladi. Bu holda ichki

o'ta kuchlanishning qiymati ham 15%ga ortiq bo'ladi. Bu koeffitsient yordamida razryadlanish kuchlanishining pasayishiga harorat, bosim va havo namligining ta'sirini ham baholash mumkin. Bundan tashqari, izolatorlar sonini tanlashda real sharoitning ho'l razryadlanish kuchlanishi o'lchangan muhitdan farqi hisobga olinadi. Ho'l razryadlanish kuchlanishini o'lchash uchun eng og'ir sharoit tanlangan, ya'ni yomg'ir kuchi - 3mm/daq, yomg'ir suvining qarshiligi 10000 Om/sm va hokazolarni hisobga olganda, laboratoriyada o'lchangan ho'l razryadlanish kuchlanishi 20 % ga real sharoitdagidan ortiq bo'ladi. Bu omillar 6.1-jadvalda keltirilgan:

2- formuladagi koeffitsient  $K = 1,1$

Koeffitsient Kning qiymati hamma koeffitsientlarni ko'paytirish yordamida hisoblanadi. Yuqoridagilarni hisobga olganda izolatorlar soni qabul qilinadi:

$$n \geq 1,1 \cdot U_{io'k} / E_{xr} \cdot N \quad (3)$$

6.1-jadval

| Ta'sir etuvchi omillar                                                            | Tuzatish koeffitsienti |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Faza kuchlanishini nominal kuchlanishdan oshirilishi                              | 1,15                   |
| Atmosfera sharoitining noqulay o'zgarishi                                         | 1,07                   |
| Ekspluatatsiya sharoiti bilan o'lchash sharoitining farqlanishi:                  |                        |
| Yomg'ir kuchining                                                                 | 0,95                   |
| Yomg'ir suvining qarshiligi                                                       | 0,9                    |
| Kuchlanishning ta'sir qilish vaqti                                                | 0,95                   |
| Razryadlanish kuchlanishdan chidash mumkin bo'lgan kuchlanishga o'tishdagi zaxira | 1,10                   |

Bu formula yordamida topilgan izolatorlar soniga doimo yana bir dona qo'shimcha izolator qo'yiladi, chunki izolatorlardan biri shikastlangan bo'lishi mumkin. Ankerli va burchak tayanchlaridagi tortuvchi izolatorlar shodasidagi izolatorlar soni 35-150 kV kuchlanishdagi liniyalarda bittaga, 220 kV va undan yuqori kuchlanishlarda ikkitaga oshiriladi. Ushlab turuvchi shodadagi izolatorlar soni 6.2-jadvalda keltirilgan.

6.2-jadval

| Nominal kuchlanish (kV)                                        |                        |              | 35        | 110        | 150        | 220        | 330          | 500    |
|----------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|-----------|------------|------------|------------|--------------|--------|
| Faza kuchlanishiga nisbatan ichki o'ta kuchlanish karrasi (kV) |                        |              | 77<br>3,8 | 204<br>3,2 | 260<br>3,0 | 381<br>3,0 | 510<br>2,7   | 6872,5 |
| Shodadagi izolatorlar soni                                     | Hisobiy                | P-7<br>P-4,5 | -<br>2,3  | 5,6<br>5,1 | 7,2<br>7,8 | 10<br>11   | 14,1<br>15,3 |        |
|                                                                | PUE tavsiyasi bo'yicha | P-7<br>P-4,5 | -<br>3    | 7<br>7     | 9<br>9     | 12<br>13   | 15<br>16     |        |

Bu jadval yordamida tanlangan izolatorlar shodasi yetarli elektrik mustahkamlikka ega bo'lib, u liniyaning ishonchli ishlashini ta'minlaydi.

Yuqorida ko'rilgan izolatorlar sonini tanlash usulida izolatorlar sirtining kirlanishiga qarab razryadlanish kuchlanishining pasayishi hisobga olinmagan. Izolatorlar sirtining oddiy chang bilan kirlanishi uning quruq razryadlanish kuchlanishining o'zgarishiga deyarli ta'sir etmaydi. Lekin har doim quruq razryadlanish kuchlanishi ho'l razryadlanish kuchlanishidan ancha katta bo'ladi.

Izolatorlar yarim o'tkazuvchan minerallar bilan kirlanganda elektrik mustahkamligining ancha pasayishi kuzatiladi. Bu asosan kimyo va metallurgiya korxonalari joylashgan rayonlardan, dengiz qirg'oqlaridan hamda sho'rlangan zonalardan o'tgan havo elektr uzatish yo'llarida kuzatiladi. Bu hollarda ishonchli izolatsiyani tashkil etish ancha muhim va murakkab masala hisoblanadi. Bu masalani yechish uchun quyidagi tadbirlarni qo'llash lozim:

- izolatorlar shodasida maxsus izolatorlarni qo'llash;
- izolatorlar shodasida normal parametrli izolatorlarni ko'proq qo'llash;
- davriy ravishda izolatorlar sirtini tozalash.

Mahalliy sharoitga mos ravishda aniq tadbirlarni qo'llash tufayli ifloslangan rayonlardan o'tuvchi elektr uzatish yo'llarining tannarxi yuqori bo'ladi.

Elektr uzatish yo'llarida izolatorlar sonini tanlashdan tashqari o'tkazgichlar (simlar) orasidagi va sim bilan zaminlangan konstruktsiya orasidagi oraliq masofaning minimal ruxsat etilgan o'lchamini aniqlash ham muhim hisoblanadi. Agar elektr uzatish yo'li yashin ak-

tivligi past zonadan o'tsa, uning elektrik mustahkamligi ho'l razryadlanish kuchlanishidan kam bo'lmasligi kerak. Bu masofaning tanlangan ichki o'ta kuchlanishga va mahalliy sharoitga bog'liqligi 6.3-jadvalda keltirilgan. Bunda keltirilgan masofa "tekislik-tekislik" ko'rinishidagi elektrodlar orasidagi razryadlanish kuchlanishi bo'yicha tanlangan. Bu jadvaldan ko'rinadiki, PUE bo'yicha tanlangan izolatsiya oralig'i razryadlanish kuchlanishining izolatorlar shodasi ho'l razryadlanish kuchlanishiga tengligidan hisoblanganga nisbatan 10÷15 % ga katta. Izolatsiya oralig'ini bunday kattalashtirishga bo'lgan ehtiyoj, oraliqning elektrik mustahkamligining noqulay atmosfera sharoitida ho'l razryadlanish kuchlanishiga nisbatan ko'proq 10÷15 % ga pasayishi mumkin.

Atmosfera o'ta kuchlanishiga uchraydigan havo elektr uzatish yo'llarida havo oralig'i izolatorlar mustahkamligidan kam bo'lmagan impuls mustahkamlikka ega bo'lishi kerak. Izolatorlar shodasi impuls mustahkamligiga ekvivalent bo'lgan sterjen-tekislik ko'rinishidagi elektrodlar orasidagi minimal izolyatsion oraliqning razryadlanish kuchlanishiga bog'liqligi to'g'risidagi ma'lumot 6.4-jadvalda keltirilgan.

Yuqori va o'ta yuqori kuchlanishli elektr uzatish yo'llarining faza parchalash sonlari, o'tkazgichlar radiusi, izolatsion oraliq, izolatorlar shodasidagi izolatorlar soni, turli o'tkazgichlar massasi shodalar turi to'g'risidagi ma'lumot 6.5-jadvalda keltirilgan.

6.3-jadval

| Nominal kuchlanish (kV)                                             | 35  | 110 | 150 | 220 | 330 |
|---------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Shodadagi P-4,5 izolatorlar soni                                    | 3   | 7   | 9   | 13  | 16  |
| Shodadagi P-4,5 uchun ho'l razryadlanish kuchlanish (kV)            | 110 | 256 | 330 | 475 | 587 |
| Shodadagi izolatorlar ekvivalent mustahkamligi bo'yicha oraliq (sm) | 27  | 72  | 93  | 135 | 175 |
| PUE bo'yicha ruxsat etiladigan minimal oraliq (sm)                  | 30  | 80  | 105 | 170 | 220 |

6.4-jadval

|                                                                  |     |     |     |      |      |
|------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|
| Nominal kuchlanish (kV)                                          | 35  | 110 | 150 | 220  | 330  |
| Shodadagi P-4,5 izolatorlar soni                                 | 3   | 7   | 9   | 13   | 16   |
| Izolatorlar shodasining 50%li razryadlanish kuchlanishi (kV)     | 380 | 660 | 840 | 1140 | 1440 |
| Izolatorlar shodasining impuls mustahkamlik bo'yicha oraliq (sm) | -   | 90  | 130 | 180  | 230  |
| PUE bo'yicha minimal ruxsat etilgan masofa (sm)                  | 45  | 115 | 150 | 210  | 255  |

6.5-jadval

|                                               |         |         |         |         |
|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Nominal kuchlanish (kV)                       | 330     | 500     | 750     | 1150    |
| O'tkazgichlar radiusi (sm)                    | 20      | 23      | 25,5    | 15      |
| Uzunligi 400m bo'lgan o'tkazgich massasi (kg) | 906     | 2222    | 2962    | 3622    |
| Tortiluvchi shoda:                            | PS120-A | PS210-B | PS120-A | PS300   |
| Izolatorlar soni                              | 2x19    | 3x21    | 5x37    | 4x47    |
| Shoda massasi (kg)                            | 311     | 765     | 1539    | 3581    |
| Armatura massasi (kg)                         | 125     | 244     | 445     | 949     |
| Ushlab turuvchi shoda:                        | PS 70 D | PS120-A | PS120-A | PS-400A |
| Izolatorlar soni                              | 1x21    | 41      | 44      | 2x49    |
| shoda massasi                                 | 100     | 223     | 627     | 2171    |
| Armatura massasi                              | 27      | 83      | 226     | 505     |

## 2. Ishni bajarish tartibi

O'lchash uchun mo'ljallangan shtanga oxiri bir vaqtda izolator qalpog'iga va o'zagiga qo'yiladigan boshlanishi esa ikkita yarim sferadan tashkil topgan razryadnik bilan ulangan metallardan yasalgan vilkadan va uning izolatsiyalanib ushlaydigan qismidan iborat.

Izolatorni shtangasiz ham razryadnik yordamida qisiluvchan va sirpanuvchan kontaktlarni qo'llangan holda muhofaza qilish mumkin. Bu holda razryadlagich izolatoridan kuchlanish to'la olingandan keyin o'rnatiladi. Razryadlagichda aniqlangan va elektrodlar orasidagi masofani o'zgarmas qilib o'rnatiladi va izolatorlar shodasiga kuchlanish

beriladi. Bu kuchlanishning qiymati shunday tanlanadiki, shodaning hech bir elementida tojlanish paydo bo‘lmasin. Bunda shtanganing razryadlagichi shodaning o‘rtasidagi kuchlanish minimal bo‘lgan izolatorlarda ham ishonchli ishlashi kerak. Shundan so‘ng razryadlagich ketma-ket barcha izolatorlarga uni shuntlagan holda o‘rnatiladi. Shodaning har bir qatoriga qo‘yilgan kuchlanish noldan to razryadlagichda razryad paydo bo‘lguncha sekin ko‘tariladi. Quyidagi 1, 2, ..., n izolatorlaridagi kuchlanish bir xil U ga mos kelsa, shodadagi kuchlanish esa  $U_1, U_2, \dots, U_p$  to‘g‘ri keladi. Har bir izolatoridagi nisbiy kuchlanish

$$a_1 = \frac{U}{U_1}; \quad a_2 = \frac{U}{U_2}; \dots \dots a_n = \frac{U}{U_n}$$

Bu tengliklarni qo‘shib olamiz:

$$\sum_1^n a_m = U \sum_1^n \frac{1}{U_k} = 1$$

$$U = \frac{I}{\sum_1^n \frac{1}{U_k}}; \quad a_m = \frac{100}{U_m \sum_1^n \frac{1}{U_k}};$$

Agar birorta izolator teshilgan bo‘lsa, razryadlagichda uchqun paydo bo‘lmaydi. Shunday qilib, defektli yoki “nolinchi” izolatorlarni aniqlash mumkin.

1. Laboratoriya ishi IT2x350 kV kaskadda o‘tkaziladi.
2. O‘qituvchi tomonidan texnika xavfsizligidan qo‘shimcha instruksiyalar beriladi.
3. Kaskadni qo‘shish va o‘chirish yuqori kuchlanish laboratoriyasining xodimlari tomonidan amalga oshiriladi. Talabalar faqat sinov transformatori kaskadining sxemasi bilan tanishadilar.
4. Olingan natijalar quyidagi 6.6- jadvalga yoziladi.
5. Kuchlanishning shodadagi izolatorlarda taqsimlanish grafigi ko‘riladi.

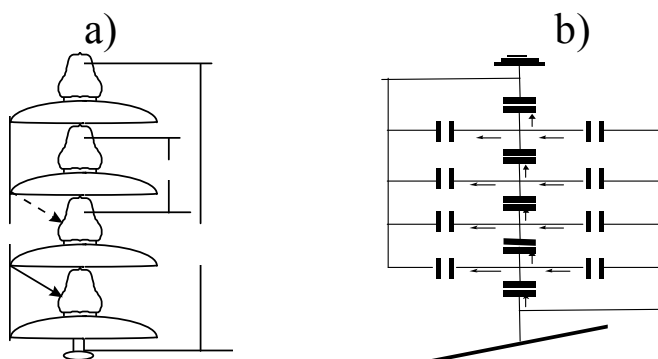
6.6-jadval

| T/r | Um | 1/Um | $\sum_1^n 1/U_k$ | am | Ilova |
|-----|----|------|------------------|----|-------|
|     |    |      |                  |    |       |
|     |    |      |                  |    |       |

### Sinov savollari

1. Nima uchun izolatorlar shodasida kuchlanishning taqsimlanishi notekis?

2. Shodadagi izolatorlar soni qaysi kuchlanish bo'yicha tanlanadi?
3. O'zgarmas tok kuchlanishida kuchlanishning taqsimlanishi qanday bo'ladi?
4. Havoning nisbiy namligi kuchlanish taqsimlanishiga ta'sir ko'rsatadimi?
5. Kuchlanishning taqsimlanishini tekislash usullarini tushuntiring.



6.1-rasm. Izolatorlar shodasi bo'ylab razryadlanish yo'li va almashtirish sxemasi

### 7-laboratoriya ishi.

## SHARLI RAZRYADLAGICHNING ELEKTR MAYDONINI EHMDA HISOBLASH VA RAZRYADLANISH KUCHLANISHINI ANIQLASH

**Ishdan maqsad:** xalqaro amaliyotda tan olingan uchqun oraliqlarining razryadlanish kuchlanishini aniqlashda keng qo'llanilayotgan o'lchash asbobi hisoblangan sharli razryadlagichlarning eskizlari bilan tanishish, hamda ularning elektr maydonini hisoblash mashinasi yordamida hisoblab, uni tahlil qilishdan iboratdir.

### 1. Nazariy qism

Ikki shar orasidagi uchqun oralig'i kuchsiz bir jinsli bo'lmagan elektr maydonning yaqqol misoli bo'ladi. Shuni takidlash lozimki, bir jinsli emaslik darajasi sharlar orasidagi masofaning ( $S$ ) sharlar diametriga ( $D$ ) nisbati ko'payishi bilan o'sib boradi. Sharlar oralig'i jahon amaliyotida o'zgarmas, o'zgaruvchan va impuls kuchlanishlarining amplitudaviy qiymatini o'lchaydigan asbob ko'rinishida qo'llaniladi va shu sababdan unga ko'pgina mamlakatlarda har xil sharli oraliq-

larning razryadlanish kuchlanishini eksperimental aniqlashda katta ahamiyat berilmoqda.

Sharli razryadlagichni o'lchash uchqun oralig'i sifatida tanlanishi uning quyidagi xususiyatlari bilan aniqlanadi:

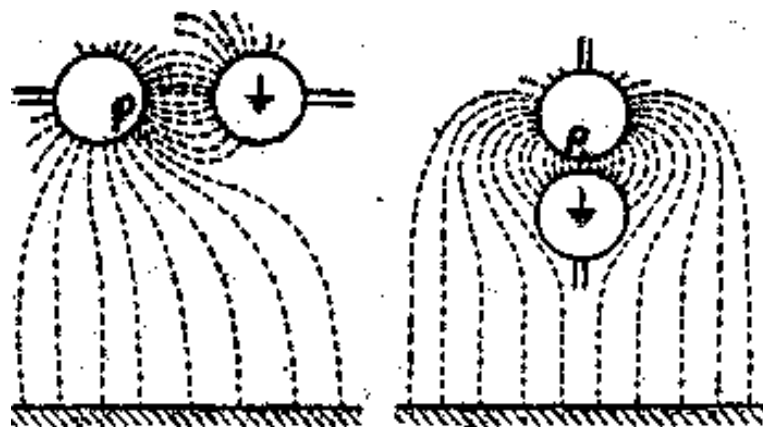
a) sharli oraliqning volt-sekund xarakteristikasining ko'rinishi katta vaqt oraliqlarida gorizontaal to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi va shu sababdan sharlar oralig'ining razryadlanish kuchlanishi unga qo'yilgan kuchlanishning ta'sir etish vaqti va uning o'zgarish qonuniyatiga bog'liq emas;

b) kuchsiz bir jinsli bo'lmagan maydonli oraliqlardan sharli oraliqlargina uni bajarilishi oson va o'lchami kichik bo'lgan oraliqlardan hisoblanadi. Misol uchun ikkita "tekislik-tekislik" ko'rinishidagi oraliq qo'llanilganda xuddi shunday maydon hosil qilish uchun ularning chetlarini egri qilib yasalishi va elektrodlar orasidagi masofaning tengligida tekislik ko'rinishdagi elektrodning o'lchami sharning diametridan bir necha marta katta bo'lishi kerak.

Olingan eksperimental natijalarni tahlil qilish natijasida  $r$  radiusli ikki shar oralig'ining razryadlanish kuchlanishini aniqlash uchun razryadlar o'xshashligi qonuniyatini to'la qanoatlantiradigan quyidagi empirik formula tavsiya etiladi:

$$U_o = 27.28 \frac{(1 + \frac{0.54}{\sqrt{\delta r}}) \frac{S}{r}}{0.25 [\frac{S}{r} + 1 + \sqrt{(\frac{S}{r} + 1)^2 + 8}] } \quad (1)$$

Bu formula elektr maydon kuchlanganliklari bir xil bo'lgan va yerning ta'sirini e'tiborga olmasa bo'ladigan holatda joylashgan ikkita sharlar oralig'i uchun olingan. Lekin real sharli oraliqlarning razryadlanish kuchlanishini aniqlashda yerning ta'sirini e'tiborga olish kerak, chunki kuchlanish ikkala yuqori kuchlanish chiqishiga qo'yilgan va ulardan biri zaminlangan. Shuning uchun o'lchash sharlaridan biri zaminlangan bo'lishi kerak. Sharlar orasidagi maydonning ko'rinishi 7.1-rasmda keltirilgan.



7.1-rasm. Bittasi zaminlangan gorizontaal va vertikal o'rnatilgan sharlar oralig'idagi elektr maydonning tasviri

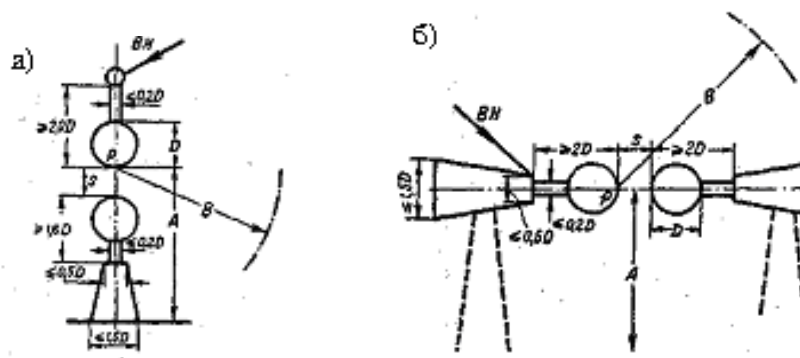
7.1-rasmdan ko'rinadiki, elektr maydonda sharlar zaryadi, ya'ni maydon kuchlanganligi zaminlanmagan sharda zaminlangan shardagiga nisbatan kattaroq bo'ladi va razryadlanish har doim zaminlanmagan sharining sirtidagi (sharlar vertikal joylashganda) oraliqning o'qida yotuvchi R nuqtadan yoki (sharlar gorizontaal joylashganda) unga bevosita yaqin bo'lgan nuqtadan boshlanadi.

Diametri  $D=50$  sm bo'lgan sharlar oralig'ining razryadlanish kuchlanishlarining qiymatlari solishtirilgan grafigi 7.2-rasmda keltirilgan. Grafikdan ko'rinadiki, elektrodlar orasidagi masofa kichiklashgan sari hisobiy natijaning laboratoriyadan olingani bilan juda yaqin bo'lishiga sabab elektrodlar orasidagi masofa qancha kichik bo'lsa, yerning ta'siri uncha sezilarli bo'lmaydi. Lekin sharlar orasidagi masofa 20 sm dan katta bo'lganda laboratoriya hisobiy natijalar orasida farq asta-sekin o'sa boshlaydi va bu misol uchun sharlar orasidagi masofa  $S=40$  sm da 10% dan ham oshib ketishi mumkin.

Bu holat sharli razryadlagich qurilmalariga hamma o'lchash oraliqlarida yerning ta'siri bir xil bo'lishi uchun ma'lum norma va normativlarni kiritishni taqozo etadi. Xalqaro qoidalarga ko'ra, sharli razryadlagich qurilmasi 7.2-rasmda keltirilgan eskiz chizmalaridagi shartni qanoatlantirishi kerak. Sharlarning vertikal joylashtirilishi (7.2.a-rasm) katta kuchlanishlarni o'lchashda keng qo'llaniladi. Nisbatan past kuchlanishlarni o'lchashda sharlarni gorizontaal joylashtirish qo'llaniladi (7.2.b-rasm).

Diametrlari 50 sm bo'lgan ikkita sharlar oralig'ining normal atmosfera sharoitidagi sanoat chastotasidagi razryadlanish kuchlanishi

7.3-rasmda keltirilgan. Bu yerda 1-laboratoriya egri chizig‘i; 2- empiric formula yordamida hisoblangani (2) joylashishi keng qo‘llaniladi. Bunda zaminlangan shar siljuvchan bo‘ladi. Sharli oraliq yordamida o‘lchashning etarli aniqligini ta‘minlash uchun 7.2-rasmda keltirilgan o‘lchamlardan tashqari A va B masofalarning qabul qiladigan qiymatlariga rioya qilinishi kerak.



7.2-rasm. Standart sharli o‘lchov oraliq‘ining chizmasi:

BN - o‘lchanayotgan kuchlanish manbaidan ketgan o‘tkazgich.

R—zaminlanmagan shar sirtidagi maksimal kuchlanganlik bo‘lgan nuqta

Bu rasmdagi A o‘lchami zaminlanmagan sharning o‘qida joylashgan R nuqtadan yergacha bo‘lgan masofa. B o‘lchami esa ichida begona predmetlarning joylashishi taqiqlangan sharsimon sferaning radiusi. Bu o‘lchamlarning tavsiya etiladigan qiymatlari 7.1-jadvalda keltirilgan.

O‘lchash sharlaridan yergacha va boshqa begona predmetlarga nisbatan masofa.

Bu jadvalda keltirilgan talablar bajarilganda sharli oraliq yordamida sanoat chastotasidagi impuls kuchlanishni o‘lchashda olingan natijalarning aniqligi taxminan 3% atrofida bo‘lishi ta‘minlanadi. O‘zgarmas tok kuchlanishidagi o‘lchashda aniqlik salgina pastroq bo‘lishi mumkin.

Standart sharli oraliqli qurilmalarning razryadlanish kuchlanishini o‘lchash ko‘pgina mamlakatlarning laboratoriyalarida bajarilgan. Alo-hida bajarilgan o‘lchashlarning natijalari Xalqaro elektrotexnik komissiya tomonidan umumlashtirilib, razryadlanish kuchlanishining qiymatlari tavsiya etilgan.

7.1-jadval

| Sharlar diametri D, sm | A o'lchamining minimal qiymatlari | A o'lchamning eng katta qiymatlari | B o'lchamning eng kichik qiymatlari |
|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 6,25                   | 7D                                | 9D                                 | 14D                                 |
| 1-15                   | 6D                                | 8D                                 | 12D                                 |
| 25                     | 5D                                | 7D                                 | 10D                                 |
| 50                     | 4D                                | 6D                                 | 8D                                  |
| 75                     | 4D                                | 6D                                 | 8D                                  |
| 100                    | 3,5D                              | 5D                                 | 7D                                  |
| 150                    | 3D                                | 4D                                 | 6D                                  |
| 200                    | 3D                                | 4D                                 | 6D                                  |

Lekin impulsning musbat qutblanishidagi natija bilan qolgan kuchlanishlardagi o'lchashlar orasida biroz farq kuzatiladi. Bu farqni tushuntirish uchun quyidagi fikrga e'tibor beramiz, o'zgaras tok kuchlanishida sharli razryadlagichning razryadlanish kuchlanishi doimiy emas, shuning uchun o'zgaras kuchlanishda o'lchash unchalik aniq bo'lmaydi. Bunga sabab elektr maydoniga tushib qolgan zarracha elektrodlarning biriga tortiladi va uning yuzasiga o'tirib qoladi. Kuchlanish impulsdarida xuddi shunday sanoat chastotalardagi o'zgaruvchan tok kuchlanishlarida elektr maydon ta'siriga tushgan zarracha elektrod yuzasiga o'tirib qolishga ulgira olmaydi va bunga kuchlanishning qublanishi ham ta'sir ko'rsatadi. O'lchashlar shuni ko'rsatadiki, zaminlanmagan shar musbat qutbli va sharlar orasidagi masofa katta bo'lgandagina xatolik sezilarli bo'ladi.

Impuls kuchlanishlarni garantlangan aniqlikda (3%) o'lchashning razryadlanish vaqti 2 mksek dan kichik bo'lganda qo'llash mumkin. Chunki shunga mos ravishda sharli razryadlagichning razryadlanish vaqtining kichik qiymatlarida impuls koeffitsient elektrodlar orasidagi masofaga bog'liq ravishda o'zgacha o'zgaradi. Sharlar orasidagi masofa uncha katta bo'lmaganda elektrodlar orasidagi maydon kuchsiz bir jinsli emas va elektrodlar orasidagi masofa kamayganda impuls koeffitsient o'sadi. Chunki sharlar elektrodlar orasidagi bo'shliqni tashqi ionlashtirishdan to'sadi va buning natijasida statistik kechikish

vaqti ko‘payadi. Elektrodlar orasidagi masofa kattalashganda elektr maydonning bir jinsli emaslik darajasi yanada o‘sadi va impulsning shakllanish vaqti sezilarli rol o‘ynay boshlaydi. Shu sababdan sharlar orasidagi masofaning ma’lum bir qiymatida impuls koeffitsient minimum bo‘lishi kerak. Ko‘pincha bu minimum elektrodlar orasidagi masofa bilan sharning diametri orasidagi munosabat  $\frac{S}{D} > 0,5$  ga teng bo‘lganda erishiladi. Manfiy qutbli impulsda esa bu minimum sharlar diametri 25 sm va razryadlanish vaqti 0,1 sekund bo‘lganda erishiladi.

Kichik razryadlanish vaqtlarida bu xatolikni kamaytiruvchi vosita rolini simob-kvars lampalari yordamida yoki boshqa qisqa to‘lqindagi nurlanish manbalari yordamida sun’iy ionlashtirish bajaradi.

Kuchsiz bir jinsli bo‘lmagan yassi meridian elektr maydoniga misol ikki sharning elektr maydoni bo‘ladi. Bu maydonni hisoblash uchun keng tarqalgan analitik usullardan biri oynada akslantirish usuli hisoblanadi. Bu holda qabul qilinadigan shartlardan biri oraliqda hajmiy zaryad yo‘q va sharlar tashqi maydonlar ta’siridan izolatsiyaqilingan.

Shuni ta’kidlash lozimki, hamma kuchsiz bir jinsli bo‘lmagan maydonlar ham analitik hisoblashga moyil emas. Shu sababdan ko‘pgina maydonlarni faqat laboratoriya ishi yo‘li bilan tekshirish mumkin.

Zarbaviy ionlashish jarayoni uning effektiv qiymati  $\alpha_{ef}$  bilan xarakterlanadi. Bu koeffitsient elektronlarning elektromanfiy gazlar tomonidan ushlanishini bildiradi va quyidagi empirik formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$\alpha_{ef} = \frac{0.2}{\delta} (E - 24,5\delta)^2 \quad (2)$$

bu yerda: E-elektr maydon kuchlanganligi,  $\delta$ -havoning nisbiy zichligi.

Agar zarbaviy ionlanish koeffitsient  $\alpha_{ef} > 0$  bo‘lsa, zarbaviy ionlashish jarayoni bo‘lishi mumkin. Elektr razryadi faqat elektr maydonning energiyasi hisobiga amalga oshirilsa, mustaqil razryadlanish deyiladi. Havo uchun razryadlanishning mustaqilligi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\int_0^S f(U_0, X, \delta) dx = 8,2 \quad (3)$$

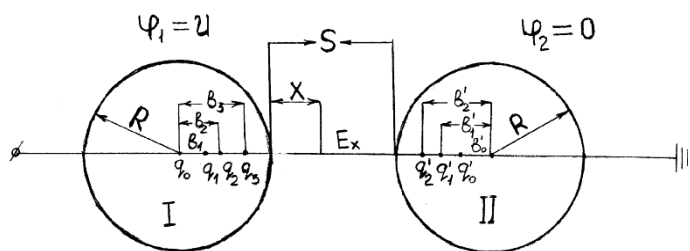
bu yerda: S-elektrodlar oralig‘ining uzunligi, X-maksimal kuchlanganlikli elektroddan tekshirilayotgan nuqtagacha bo‘lgan masofa. Ik-

kinchi (2) tenglama sonli usul bilan echiladi. Funksiya  $f(U_0, X, \delta)$  argumentning har xil qiymatlari uchun hisoblanadi, keyinchalik esa (2) tenglamaning sonli qiymati hisoblanadi. Kuchlanishning (U) integrali 8,2 ga teng bo'lgan-dagi qiymati uning boshlang'ich qiymati (U) ga teng deb olinadi.

Agar maydonning markaziy chizig'i bo'yicha (sharlar markazini birlashtiruvchi chiziq) elektr maydon kuchlanganligi aniq va ma'lum bo'lsa, berilgan  $f(U_0, X, \delta)$  funksiyaning qiymatini hisoblash mumkin. Uyg'unlashgan o'tkazuvchan sharsimon sfera sirtning (sharli razryadlagichlarda) ustida zaryadlar teng taqsimlanadi. Shunday sharsimon sferani maydonning shaklini buzmasdan uning markaziga joylashtirilganda uning zaryadiga teng bo'lgan nuqtaviy zaryad bilan almash-tirish mumkin.

Bu sharsimon sirt hosil qilgan maydonda boshqa jismni joylashtir-sak, ya'ni bizning misolimizda zaminlangan II sharda elektrostatik in-duksiya natijasida teskari ishorali zaryad paydo bo'ladi. Bu zaryad I shar zaryadi bilan aloqalashib, ikkala sharlarda ham sirtiyl zaryadning qaytadan taqsimlanishiga olib keladi va ularning orasidagi bir-biriga yaqin nuqtalarida zaryadni kuchaytirib uzoqlashgan nuqtalarida ka-maytiradi. Bu elektr maydon spektrining o'zgarishiga olib keladi.

Agar biz sferalarning zaryadini nuqtaviy zaryad bilan almash-tirishni xohlasak, ularni sharsimon sferaning markazida joylashtirmas-ligimiz kerak. Ular bir-biri taraf siljiydi. Fiktiv zaryadni qayerda va qanday sfera ichida joylashtirganimizda ikki sharsimon sferaning ha-qiqiy elektr maydonini olish masalasi "oynadan akslanish" usuli bilan yechiladi. Bu usulning mag'zini quyidagi masalada izohlaymiz. Bizga bir-biriga nisbatan S masofada joylashgan R radiusli ikkita sharsimon sfera berilgan. Berilgan sharlardan biri  $\varphi_1 = U$  va ikkinchisi zaminlan-gan  $\varphi_2 = 0$  bo'lsin (7.3 rasm.).



7.3-rasm. Ikkita R radiusli sharsimon sferaning razryadlanish oralig'iga bog'liq holda zaryadlarini hisoblash chizmasi

Faraz qilamizki, 1-sferadagi potensial  $\varphi_1$ ni sferaning markazida joylashgan nuqtaviy  $q_0 = 4n\varepsilon_0\varepsilon RU$  tomonidan hosil qilinadi, deb qaraymiz. Bu holda I sfera uchun quyidagi chegaraviy shart  $\varphi_1 = U$  qanoatlantiriladi, lekin bu chegaraviy shart II sfera uchun bajarilmaydi. Bu shartning ( $\varphi_2 = 0$ ) bajarilishligi uchun nuqtaviy zaryad  $q'_0$ ni II sfera ichida joylashtiramiz. Bu parametrlarning aniqlanishini ko'rsatamiz.

$$q'_0 = q \frac{R}{S+2R} \quad b'_0 = \frac{R^2}{S+2R}$$

Zaryad  $q$  va II sferada akslangan (qaytgan) va sferaning markaziga nisbatan  $b'_0$  masofada joylashgan zaryad  $q'_0$ , II sfera-ning chegaraviy  $\varphi_2 = 0$  shartini qanoatlantiruvchi maydon hosil qiladi. I sferada buzilgan chegaraviy shartni tiklash uchun uning ichiga  $q'_0$  zaryadni joylashtiramiz va natijada I sfera markazidan  $b_1 = R^2/(S+2R-b'_0)$  masofada turgan  $q_1 = \frac{-q'_0 R}{(S+2R-b'_0)}$  zaryadni olamiz. Bu jarayonni davom ettirib, biz qiymati kamayib nolga intilib boruvchi akslangan zaryadlar sistemasini olamiz.  $n$  zaryadning qiymati va uning fazoviy holati quyidagicha yoziladi va topiladi:

$$q_n = q_{n-1} \frac{R}{S+2R-b_{n-1}} \quad b_n = \frac{R^2}{S+2R-b_{n-1}}$$

Uning oynadagi aksi uchun

$$q'_n = q_{n-1} \frac{R}{S+2R-b_{n-1}} \quad b'_n = \frac{R}{S+2R-b_{1i}}$$

$$q_0 = 4n\varepsilon_0\varepsilon RU; \quad q'_0 = q_0 \frac{R}{S+2R}$$

$$b_0 = 0 \quad b'_0 = \frac{R^2}{(S+2R)}$$

$$q_1 = q'_0 \frac{R}{S+2R-b'_0} \quad q'_1 = \frac{R}{S+2R-b_1}$$

$$b_1 = \frac{R^2}{S+2R-b'_0} \quad b'_1 = \frac{R}{S+2R-b_1}$$

$$q_n = q'_{n-1} \frac{R}{S+2R-b'_{n-1}} \quad q'_n = \frac{R}{S+2R-b_n}$$

$$b_n = \frac{R^2}{S+2R-b'_{n-1}} \quad b'_n = \frac{R}{S+2R-b_n}$$

Ketma-ket kelayotgan va akslangan (qaytgan) zaryadlar holati va qiymatini bilgan holda har qanday nuqtaning maydon kuchlanganligi-

ni hisoblaymiz. Buning uchun har bir zaryad hosil qilgan kuchlanganlik vektorlarini geometrik qo'shsak, markaziy kuch chiziq-laridagisini esa algebraik qo'shamiz. Shuning uchun izlanayotgan  $E_x$  kuchlanganlikni ikki yondashuvchi qatorlarning yig'indisi ko'rini-shida aniqlaymiz:

$$E_x = \frac{U}{R} \left[ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\frac{q_n}{q_0}}{1 + \frac{S}{R} - \frac{b_n}{R} - \frac{x}{R}} \right] \quad (4)$$

bu yerda: X–sferadan maydon tekshirilayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa ( ya'ni nuqtalar koordinatasi),  $E_x$ –shu nuqtadagi maydon kuchlanganligi.

Keltirilgan (4) ifodadan ko'rinadiki, eng katta maydon kuchlangan-ligi sferalar sirtida paydo bo'ladi va eng katta maydon kuchlanganligi ulardan kuchlanishda turgan sharda hosil bo'ladi.

## 2. Ishni bajarish tartibi

Talab etilayotgan hisoblash ishlari hisoblash mashinalarida (IBM) Beysik programmalash tilida bajariladi. Programma (dastur) ikki qismdan iborat. Dasturning birinchi qismida boshlang'ich ma'lumotlar kiritilgandan keyin biz akslangan (qayt-gan) zaryadlarni olamiz. Keyinchalik sharlar orasidagi masofa 10 ta teng intervallarga bo'linadi va bu bo'linish nuqtalaridagi elektr maydon kuchlanganligi E-ni to-pamiz. Yuqorida keltirilgan (2) ifoda orqali kuchlanganlikni bilgan holda zarbaviy ionlashish koefitsientning effektiv qiymatini  $\alpha_{ef}$  ni aniqlaymiz. Dasturning ikkinchi qismida integral (3) hisoblaniladi. Hisoblash ishlarini chegaralash maqsadida  $U_1$  va  $U_2$  kuchlanishlarning chegaraviy qiymatlari dasturga kiritilishi kerak. Integralning qiymati har bir kV kuchlanish uchun beriladi. Kuchlanishning qiymati ra-zryadlanish kuchlanishi  $U_0$  ga yetganda dastur integralning oxirgi qiymatini beradi.

Dastur bo'yicha hisoblash ishlari quyidagi tartibda bajariladi:

1. O'qituvchi tomonidan berilgan kuchlanish (U), shar radiusi R va havoning nisbiy zichligi uchun maydon kuchlanganliklarini hisoblang. Olingan natijalar bo'yicha va birinchi laboratoriya ishida olingan labo-ratoriya natijalari bo'yicha  $E = f(S)$  funksiyaning grafigi qurilsin.

2. Dastur yordamida zarbaviy ionlashish koeffitsientning effektiv  $\alpha_{ef}$  qiymatining markaziy kuch chiziqlari bo‘ylab o‘zgarishi hisoblanib, uning  $\alpha_{ef}=f(S)$  va  $\alpha_{ef}=f(E)$  grafiklari qurilsin.

3. Sharlar orasidagi har xil masofalar uchun va birinchi laboratoriya ishidan olingan nisbiy zichlikning ( $\delta$ ) qiymati uchun razryadlanish kuchlanishining qiymatlari hisoblansin va aniqlansin. Kuchlanish boshlang‘ich qiymatining sharlar orasidagi masofaga bog‘liqlik

$U_0 = f(S)$  grafigi qurilsin va shu grafik ustiga birinchi laboratoriya ishidan olingan xuddi shu bog‘lanish keltirilsin.

4. Havoning nisbiy zichligi uchun tuzatish koeffitsient hisoblansin va birinchi laboratoriya ishidagi bilan solishtirilsin.

### **Sinov savollari**

1. Nima uchun sharli oraliqning razryadlanish kuchlanishini aniqlash keng tarqalgan usullardan hisoblanadi?

2. Qanday elektr maydonlari analitik tekshirish va hisoblashga qulayroq hisoblanadi?

3. Qanday fizikaviy tasavvur “Oynadan akslanish” usulining asosi qilib olingan?

4. Ishni bajarish tartibini tushuntiring.

5. Bajarilgan ishni analitik usul deb bo‘ladimi?

6. Sharlar emas “tekislik-tekislik” ko‘rinishdagi elektrodnlarni ham qo‘llab bo‘ladimi?

## Adabiyotlar

1. А. Шваб. Измерения на высоком напряжении –М.: Энергия, 1973.
2. Техника высоких напряжений. Под. ред. М. В. Костенко. –М.: Высшая школа, 1973.
3. Электротехнический справочник. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии. под. общ. ред. профессоров МЭИ. – М.: МЭИ, 2004.
4. S.D. Xaydarov. “O‘ta kuchlanish va izolatsiya” fanidan ma’ruza matnlari. –T.: ToshDTU, 2001.
5. [www.informenergo.ru](http://www.informenergo.ru)
6. [www.sballov.ru](http://www.sballov.ru)
7. [www.bilim.uz](http://www.bilim.uz)

## **Mundarija**

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Soʻz boshi.....                                                                                                                   | 3   |
| 1-laboratoriya ishi. Sinov va oʻlchov uskunalari. Sinov transformatorini darajalash.....                                          | 5   |
| 2-laboratoriya ishi. Atmosfera havosini elektr mustahkamligining elektrodlar shakliga bogʻliqligini oʻrganish.....                | 18  |
| 3-laboratoriya ishi. Bir jinsli va bir jinsli boʻlmagan maydonlarda dielektriklar sirtidagi gazlarda razryadlanish jarayoni.....  | 300 |
| 4-laboratoriya ishi. Bir jinsli boʻlmagan maydonlarda elektr razryadlari. Qutblanishning effekti. Toʻsiq (ekran)larning roli..... | 41  |
| 5-laboratoriya ishi. Havo elektr uzatish yoʻlining oʻtkazgichlarida koʻrinuvchan tojlanishni tekshirish.....                      | 51  |
| 6-laboratoriya ishi. Osiluvchan izolatorlar shodasi boʻylab kuchlanishning taqsimlanishi.....                                     | 63  |
| 7-laboratoriya ishi. Sharli razryadlagichning elektr maydonini ehmda hisoblash va razryadlanish kuchlanishini aniqlash.....       | 72  |
| Adabiyotlar.....                                                                                                                  | 82  |

Muharrir: K.Sidiqova

Musahhih: SH.Dexkanova