

TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRLIGI

TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

A.Ç. BAÝRIÝEW, B. ÝAZMUHAMMEDOW.

“ELEKTROTEHNIKI MATERIALLAR”

AŞGABAT 2010

Giriş

Elektrotehnikanyň, energetikanyň, radioelektronikanyň we abzal gurluşygynyň dürli pudaklaryndaky ylmy-tehniki progress täze, has kämil elektrotehniki materiýalaryň işlenip düzülmegi we ulanylmagy bilen baglanyşyklydyr.

Ylmy, tehniki we ykdysady taýdan esaslandyrylan ýokary hilli elektrotehniki materiýalaryň ulanylmagy ylaýta-da hem işlenip düzülmegi, ol materiýalaryň esasy häsiýetleriniň fiziki manysyna doly düşünmekligi talap edýär sebäbi bu häsiýetler şol materiallaryň elektrik meýdany bilen özara täsiri bolan dürli şertlerde işläp bilmek ukybyna baha bermeklige mümkinçilik berýär.

BÖLÜM I: DIELEKTRIKLER.

§1. Maddalaryň gurluşy we dielektrikleriniň polýarlanmagy.

a) Maddalardaky himiki baglanyşyklaryň esasy görnüşleri.

Dürli görnüşli himiki baglanyşygy bolan elektrik izolirleýji materýallar biri - birinden özleriniň elektrik, mehaniki we optiki häsiýetleri bilen tapawutlanyp biler.

Eger elektronlaryň bir, iki ýa-da üç jübüti bir bir wagtyda iki atoma degişli bolsa, onda atomlaryň arasynda atom (kowalent) baglanyşyk ýüze çykýar atom baglanyşygyny emele getirmeklige gatnaşýan elektronlara jübütleşen ýada umumylaşdyrılan elektronlar diýilýär. Bu baglanyşyk jübütleşen elektronlaryň has dykyz ýerleşen ugrunda emele gelýär atom baglanyşyklary $(C_2H_4)_n$ polietilen, $(C_2F_4)_n$ politeýetraftorýetilen we ş.m. polimerden bolan elektrik izolirleýji materýallaryň ençemesiniň içgi molekulýar baglanyşygy üçin häsiýetlidir. Bu birleşmeleriň molekulýarlary özara molekulýar güýçler arkaly baglanyşyklydyr atom baglanyşygy H_2 , O_2 , N_2 ýaly gazlaryň we gelip çykyşy organiki däl käbir gaty jisimleriň molekulalary üçin-de häsiýetlidir.

Eger atomyň arasyndaky baglanyşyk otrisatel we položetel zarýatlanan ionlaryň arasyndaky elektrik meýdanynyň täsiriniň netijesinde amala aşyrylýan bolsa, onda himiki birleşmelerde ion baglanyşyklary ýüze çykýar. Şeýle baglanyşklar metall bilen metalloidlaryň birleşmeleri üçin häsiýetlidir. Şunuň ýaly birleşmeler kristallaşanlarynda ionly kristallar emele gelýär. Ionly birleşmeler dürli atly zarýatlanan ionlary bolan, meselem Na^+-Cl^- , Li^+-F^- ýaly organiki däl dielektrikler üçin has häsiýetlidir.

Çylşyrymly tebigaty bolan molekulýar baglanyşklar /Wan-der-Walsyň baglanyşygy/, baglanyşyklaryň has umumy görnüşidir. Olara polietileniň, politetraftoretleniň we ş.m. molekulalarynyň arasynda gözegçilik etmek bolýar. /mysal hökmünde getirilen polimerleriň molekulalarynyň içinde, atomlar özara kowalent baglanyşyk bilen baglanyşyklydyr/. Molekulýar baglanyşykly maddalaryň eremek temperaturasy pesdir.

b) Gaty jisimleriň nähilleri kristal, ýarymkristal, amorf jisimlere degişlidir?

Adaty şertlerde – normal basyşda we temperaturada – gaty jisimlere dürli gurluşly materýallar degişlidir. Adaty kristal gurluşy bolan gaty jisimleri düzýän atomlar, ionlar hem-de molekulalar giňişlikde ýerleşişlerini perýodiki gaýtalap, tertipli ýerleşendir. Şoňa görä-de, monokristallik jisimlere bölejikleri biri-birinden uzakda ýerleşen bitewi bir uly kristal hökmünde garamak bolar. Monokristal gaty jisimlere daş duzunyň, almazyň, kremniniň, kwarsyň, slüdanyň, tebigy kristallary mysal bolup biler. Gaty jisimleriň bir-näçesiniň monokristalyny sintez etmek ýoly bilen degişli başlangyç önümlerden alnyp bilner.

Biri-biri bilen sepleşen we dürli ugurlara bitertip oriýentirlenen köp sanly kristal dänelerden (kristalitlerden) düzülen gaty jisimler ýarym kristal jisimlere

degişlidir. Gyzgynluguna sozulan polatlar we keramiki materiýallar ýarym kristallardyr. Tehnologiki prosesiniň kesgitli satdiýalarynda ýarym kristal materiýallara elektrik meýdany ýa-da mehaniki basyş bilen daşyndan täsir edilende, kristallaryň käbir bölekleri daşky täsir ediji faktor bilen kesgitlenilýän esasy ugra oriýentirlenilýär. Kem-käsleýin oriýentirlenen strukturaly gaty jisimlere teksturlenen gaty jisimler diýilýär.

Eger gaty jisimlerde bölejikleriň tertipli ýerleşişine diňe şol bölejigiň golaýynda (ýakyndaky tertiplilik) gözegçilik edilýän bolsa, anda amorf jisimi hakynda gürrüň edilýär. Amorf jisimleriň kristallik jisimleriňki ýaly takyk eremek temperaturasy ýokdyr, şeýle hem olaryň fiziki häsiýetleriniň köpüsi olar gaty haldan suwuk hala geçende kristallik jisimleriňkiden tapawutlulykda endigan ýagny birsydyrgyn üýtgeýändir.

Polimetr materiýalary kristallik ýa-da amorf strukturaly almak mümkindir. Polimetr materiýalaryň köpsüniň düzüminde amorf şeýle hem kristal fazalar bardyr. Şunuň ýaly polietilenler we politetraftoretlen mysal bolup biler.

ç) Elektrotehniki materiýalaryň haýsylary dielektriklere degişli we olaryň ϵ we tgδ esasy dielektrik häsiýetleriniň san bahasy nähili.

GOST I9880-74 laýyklykda dielektrik “elektrik meýdanynda polýarlanmak başarnygy esasy elektrik häsiýeti bolan madda” ýa-da başga redaksiýada “dielektrik häsiýetlerini peýdalanmak üçin niýetlenen materiýal” (GOST – 21515 – 76) hökmünde kesgitlenýär.

“Dielektrik materiýal” düşüňjesi “elektrik izolirleýji” materiýal düşüňjesinden giňdir, sebäbi ol “elektrik izoliýasiýasy üçin niýetlenen dielektrik materiýal” hökmünde kesgitlenilýär.

Elektrotehniki materiýalary ρ udel elektrik garşylygynyň bahasy boýunça klassifisirlänlerinde howanyň normal temperaturasynda we çyglylygynda ρ san bahasy agaç, mermer, asbestosement we ş.m. üçin $10^6 - 10^8$ Om. m- den, polietilen, polistiro, politeraftoretlen we ş.m. materiýallar üçin $10^{14} - 10^{17}$ Om.m çenli çäklerde ýatan bolsa, onda olary dielektriklere degişli edýärler.

Dielektrikleriň er dielektrik syzyjylygy epesli tapawutlydyr (üýtgeşikdir). Gazlaryň er bahasy I (bire) ýakyndyr (howa üçin basyşyň we temperaturanyň normal şertlerde $\epsilon_r = 1,00058$) we takmynan hasaplamalardan I (bire) deň diýilip kabul edilýär.

Poliýar däl suwuklyklaryň (benzol, tolyol we başgalar) ϵ_r bahasy adatça 2,5 uly däl, tehniki dielektrikler hökmünde peýdalanylýan polýar suwukluklaryň (spwpl, sotwol we başgalar) ϵ_r bahasy 3,5 – 6 çäklerde ütgýär. Poliýar däl gaty dielektrikleriň ϵ_r bahasynyň ulylygy kiçidir. Meselem, gaty uglewodorotlar üçin ϵ_r ulylygy 1,9 – 2,8 aralykda ýatandyr. Polimerlere degişli polýar gaty dielektrikleriň ϵ_r bahasy otag temperaturasyndan 3 – den 6 aralykdaky çäklerde ütgýär. Meselem, poliwinhloridiň we polietilenteraftalatynyň ϵ_r bahasy 3 –den epesli ulydyr.

Organiki däl aýnalar üçin ϵ_r ulylygy 4 – den 20 aralykdaky çäklerde ütgýär, käbir segnetoelektrik materiýallar (titant bari, segnet duzy we başgalar) üçin belli bir şertlerde ϵ_r bahasy mün töweregi, hat-da on münlerçe bolup biler.

Elektrik izolirleýji hökmünde peýdalanylýan tehniki dielektrikleriň dielektrik ýitgisiniň tgδ tangens burçunyň bahasy 10^{-2} – den 10^{-4} çäklerde ýatandyr. Polýar elektrik izolirleýji materýallaryň tgδ bahasy 10^{-1} – 10^{-3} çäklerde üýtgeýär, polýar dälleriňki bolsa kiçi bahalara eýedir.

d) Otnositel dielektrik syzyjylygy diýip näme aýdylýar we ol dielektrikleriň polýarlanmagy bilen nähilli baglanşykly?

Obkalkalaryň meýdanyny bir mezeş parallel plastinalardan ýasalan we elektrotlaryň arasyndaky d aralyk deň bolan iki sany kondensatoryň biriniň plastinalarynyň arasy dielektrik bilen doldurylan, ikinjisiniňki bolsa wakum bolanda olara U naprýaženiýa berip olaryň elektrik zarýadyny deňeşdireliň. Iki ýagdaýda hem meýdanyň $E=U/d$ güýjenmesi birmeňzeş bolar. Emma elektrodlarda toplanýan elektrik zarýady dielektrikli kondensatorda ýokary bolar. Muny dielektrige goýlan elektrik meýdanynyň täsiri bilen bolup geýän polýarlanmanyň ýagny baglanşykly zarýatlaryň çäkli süýşmesi ýa – da dipol malekulalarynyň orientasiýasy bilen düşündirmek bolar. Netijede obkalkalarda belgisi dielektrigiň üstündäki polýarlanma zarýatlarynyň belgisine ters bolan Q_g zarýadlar ýüze çykýar. Şeýlelikde, dielektrik bilen doldurlan kondensatoryň obkladkalryndaky wakumdaky toplanýan Q_0 zarýad- dan başgada dielektrigiň polýarlanmagynyň hasabyna goşmaça Q_g zarýad emele gelýär. Bu ýagdaýda umumy ýa-da doly zarýad aşakdaky ýaly tapylýar

$$Q=Q_0+Q_g= \varepsilon_r Q_0 \quad (1)$$

bu ýerde ε_r otnositel elektrik syzyjylygy.

Iki sany geçirijide seredilen. Eger olaryň biri (+Q), beýlekisi bolsa (-Q) elektrik zarýadyny äkidýän bolsa, onda bu geçirijileriň arasynda potensiallaryň tapawudyny aşakdaky aňlatmadan tapmak bolar.

$$U= Q/C;$$

Bu ýerde C- iki geçirijiniň arasyndaky sygymy.

Ýokarda getirilen aňlatmalardan ε_r dielektrik syzyjylygy gelip çykýar.

$$C= Q/U=\varepsilon_r Q_0/U= \varepsilon_r C_0;$$

$$\varepsilon_r = C/ C_0$$

Aňlatmadan görnüşi ýaly ε_r dielektrik syzyjylygy geçirijileriň arasynda dielektrik bolandaky C sygymyň olaryň arasynda wakum bolandaky C_0 sygyma bolan gatnaşygydyrşeýlelik-de E_r ölçemegi sygymy ölçemek bilen çalşyrmak bolar.

Ýokarda getirilen aňlatmalaryň islendik maddanyň ε_r otnositel dielektrik syzyjylygynyň bahasynyň birden uludygy we diňe wakum üçin bire deňdigi gelip çykýar.

$$\varepsilon_r = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_0 + Q_g}{Q_0} = 1 + \frac{Q_g}{Q_0} \quad (2)$$

Dielektrigin elektrik dipollary olara mahsus bolan kesgitli dipol momentine eýedir. Dielektrigin göwrüm birligindäki elementler dipol momentleriň jemine olaryň (P) polýarlanmak başarnygy diýilýär.

Dielektrigin polýarlanmagyna başarnygy onuň polýarlanylýjygy, dielektrik kabul edijiligi we ε_r bilen häsiýetlendirmek bolar. α - bölejigiň polýarlanylýjygy (bölejigiň dielektrik meýdany tarapyndan döredilen elektrik momenti polýarlanmak) başarnygy bilen aşakdaky gatnaşyk arkaly baglanyşyklydyr.

$$P = n \cdot \alpha \cdot E, \quad (3)$$

Bu ýerde n-dielektrigin göwrüm birliginde elektrik meýdany bilen döredilen dipollaryň sany (konsentrasiýasy) E-hemişelik elektrik meýdanynyň güýjenmesi. ε_r – we dielektrik kabul edijilik (duýgurlyk) P polýarlanmak başarnygy bilen aşakdaky ýaly baglanyşdyrylýar.

$$P = \varepsilon_0 (\varepsilon_r - 1) E = \varepsilon_0 \cdot \chi \cdot E \quad (4)$$

bu ýerde ε_0 elektrik hemişeligi ($\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$);

H-dielektrik kabul edijilik / duýgurlyk /.

Ýokarda getirilen aňlatmalardan

$$\varepsilon_r = \chi + 1 = 1 + \frac{n\alpha}{\varepsilon_0} \quad (5)$$

gelip çykýar.

ε_r – niň ε_0 köpeltmek hasylynda $\varepsilon_a = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$ absolýut dielektrik syzyjylygy diýilýär, F/m.

e) Dielektrigin polýarlanmagyny esasy mehanizimleri

Dielektriklere daşky dielektrik meýdany goýalnada olarda polýarlanmagyň ýüze çykyp köp sanly dürli mehanizimlerini iki topara bölmek bolar:

1) polýarlanmaklygyň maýyşgak görnüşleri (elektron we ion)

2) polýarlanmaklygyň maýyşgak däl görnüşleri (has häsiýetlisi dipol polýarlanmadyr).

Elektron polýarlanma elektrik meýdanyň täsiri astynda atomyň ýadrosyna görä elektronlaryň orbitasynyň üýtgemegidir. Elektron polýarlanma dielektrikleriniň hemmesinde olarda polýarlanmaklygyň beýleki görnüşleriniň bardygyna garamazdan gözegçilik etmek bolar.

Ion polýarlanma elektron polýarlanmadan tapawudy diňe ion gurluşly gaty jisimler üçin häsiýetlidir we maýyşgak baglanyşkly ionlaryň biri birine görä ornuny üýtgemegi bilen şertlendirilendir.

Polýarlanmagyň bu görnüşlerinde daşky elektriki meýdany aýrylandan soň maýyşgak güýçler bilen baglanyşkly bolan elektronlaryň we ionlaryň hiç bir ýitgisiz başlangyç ýagdaýlaryna praktiki taýadn derrew gaýdyp barýandyklary umumy alamatdyr.

Eger dielektrikleriň molekulalaryndaky položitel we otirsatel zaryadlaryň massa merkezi gabat gelmes, onda şeýle molekulalar elektrik meýdanyňny ýok wagtynda elektrik dipol momentine eýedir. Şeýle dipollara hemişeli dipollar hemişelik görnüşli dipollaryň molekulalaryna polýar molekulalar diýilýär. Elektrik meýdany ýok wagtynda dipol momenti bolmadyk molekulalar polýar dällere degişlidir. Hemişelik dipollary orientirmek bilen baglanyşkly polýarlanma mehanizmi maýyşgak däl häsiýete eýedir, ýagny daşky elektriki meýdany aýrylanda dipollar başlangyç ýagdaýyn edil şol pursatda däl-de käbir wagtdan soňra bitertip ýylylyk hereketiniň netijesinde gaýdyp gelýär. Polýarlanmagyň şunuň ýaly mehanizimleri polýarlanmak mehaniziminiň " haýal ýa-da releksion görnüşde degişlidir. Olara elektrik energiýasy ýitmekli häsiýetlidir. Polýarlanmagyň relaksion mehanizimine dipol polýarlanma ion-releksion , migrasion we beýlekiler degişlidir (şu bölümiň Z punkytyna serediň).

f) Polýar däl dielektriklerde- gazlarda, suwukluklatrda we kristallik hem-de amorf ýagdaýyndaky gaty maddalarda esasan diňe elektron polýarlanma bolýar. Olara etilen, poloul, polistirol, kükürt, polietilen we beýlekiler degişlidir.

Polýar (dipol) dielektriklerde organiki suwukluklarda, şepbeşik we gaty maddalarda bir wagtyda elektron hem-de dipol hem-de dipol polýarlanmadyr. Hlorlanan uglewodorodlar, fenolformaldegidler we epoksid smolalary we beýlekiler polýar dielektriklerdir.

Ion tipli başlangyşy bolan ionly birleşmelerde-organiki däl dielektriklerde materiallary iki sany kiçi topara bolmek bolýar.

- 1) Elektron we ion polýarlaşmaly dielektrikler;
- 2) Elektron we ion polýarlaşmasynňy üstbne releksion häsiýetli polýarlanma goşulýan dielektrikler (şu bölümiň Z punkytyna serediň).

Birinji ionlary mäkäm gurşalyp alynan kristallik maddalar, kwars, slýuda, korund we beýlekiler degişlidir. Ikinji bolsa bölejikleri mäkäm gurşalyp alynmadyk kristallik dielektrikler ýagny olara organiki däl aýna esasy slýuda bolup aýna baglanyşgy bolan materialla, keramikanyň köp görnüşleri we beýlekiler degişlidir.

g) Polýarlanmagyň maýyşgak görnüşleri näme üçin ýitgisiz bolup geçýär we polýar däl hem-de ionly dielektrikler üçin E_r tempuratura baglylygy nähili?

Elektron we ion polýarlaşmalar polýarlanmaklygyň maýyşgak görnüşlerine degişlidir. Elektron polýarlanma 10^{-15} s töweregi wagtyň dowamynda ion polýarlanma bolsa 10^{-12} - 10^{-13} s-da durnuklaşýar. Elektrik meýdanyň täsiri astynda

maddanyň polýarlanylýan göwrümde meýdan aýrylandan soň ýitip gidýän elektrikmomentir ýüze çykmagynda getirýän atomlar ýa-da ionlaryň elektron gabygy deformirlenýär. Şonda elektron polýarlanma elektrik zaryadyna gaýtarylyp berilýär. Şeýlelikde elektron polýarlanma dielektrigiň gyzmaklygyna sebäp bolýan ýitgisiz bolup geçýär. Ion polýarlanmada praktiki taýdan ýitgisiz bolup geçýär, ýagny ionlar özleriniň agyrlýk merkezine görämaýyşgak süýärler, ýagny položitel ionlaryň meýdanyň ugruna, bolsa meýdanyň tersine.

Polýar däl molekulalardan düzlen we diňe elektron polýarlanma eýe bolan polýar däl gaty dielektrigiň E_r otnositel dielektrik syzyjylygy temperaturanyň artmagy bilen göwrüm birligindäki molekulalary serediň. Sanyň azalmagy sebäpli birneme kemelýär, şeýle hemu sebäbe görä gaty haldan gaty haldan suwuk ýa-da suwuk haldan gaz görnindäki ýagdaýa geçende peselýär.

Bölejikleri mäkäm gurşalyp alyna ionly kristallik dielektriklerde elektron polýarlanmadan başga-da ion polýarlanmada bardyr, olaryň E_r bahasy a ionlaryň polýarlanmagynyň artmagy sebäpli temperaturanyň ösmegi bilen haýal artýar ϵ_r bahasy ýokary bolan titianyň ikili oksidi görnüşli käbir dielektriklerde temperaturanyň artmagy bien ϵ_r kemelýändigine kadadan çykma hökmünde gözegçilik edilýär. Munuň beýle bolmaklygynyň şeýle dielektriklerde ionly süýşmede goşmaça içki meýdan bilen güýçlendirilen elektron polýarlanmasynyň köpdügi bilen baglanyşdyrylýar.

3) Relaksion görnüşli dipol, ion releksion migrasion polýarlanmak.

Dipol polýarlanma polýarlanmagyň "haýal „ relaksion görnüşiniň hataryna degişlidir, ol elektron we ion polýarlanmadan polýarlanmaklyga meýdanyň täsiri astynda az-kem orientirlenen bitertip ýylylyk hereketinde bolan dipol molekulalarynyň sebäp bolýanlygy bilen tapawutlanýar. Çünki dipollaryň öwrülmeği ýa-da süýşmeği käbir garşylygy ýeňip geçmekligi talap edýär. Dipol polýarlanma energiýany aýyrtmak we ýylylyk bölüp çykarmak bilen baglanşyklydyr. Dipol polýarlanma polýar gazlarda, suwuk we gaty polýar organiki maddalarda gözegçilik edilýär.

Ion relaksion polýarlanma, goýlan elektrik meýdanyň täsiri astynda maddanyň gowşak baglanşykly ionlary bitertip ýylylyk geçirmeleriň arasynda meýdanyň ugryna artykmaç geçirmeleri alýar we maýyşgak ion polýarlama wagtyndaky ionlaryň süýşmesiniň ululygyndan has uly aralyga ornuny üýtgetmeden ybartdyr. daşky meýdan aýrylandan soňra ionlar ýuwaş-ýuwaşdan deňagramlyk merkezlerine dolanyp gelýärler; şonda energiýanyň ýylylyk görnüşinde öwrülişiksiz aýradygyna gözegçilik edilýär.

Polýarlanmagyň bu görnüşine organiki däl aýnalar da we ionlary mäkäm gurşalyp alynmadyk käbir kristallik maddalarda gözegçilik edilýär.

Migrasion polýarlanma geçiriji we ýarym geçiriji birleşmeleri, dürli geçirijilikli gatlaklary bar bolan w.ş.m. tehniki dielektriklerde ýüze çykýar. Şeýle materiallara kysymdaş däl dielektriklere degişlidir. Kysymdaş däl dielektrik elektrik meýdanyna eltilende erkin zaryadlar süýşýärler we birleşmeleriň

araçäginde elektrotlar birleşdirilen gatlaklarda we.ş.m. meýdany daş görnüşden özüni polýarlanmaklygyň goşmaça mehanizimihökmünde ýüze çykarýan giňişlik zarýadlarynyň emele getirip konsentrlenýärler.

j) Polýarlanmaklygyň wagta baglylygy matematiki nähili aňladylýar. Relaksion wagty diýip nämä aýdylýar?

Adatça polýarlanmagyň wagtyna releksion polýarlanmagyň polýarlanmagynyň kemelmek koefisiýentiniň hemişelik wagty boýunça baha berilýär. Ol elektrik meýdany aýrylandan soň polýarlanmaklygyň 1 esse ýagny 2.7 esse natural logarifiminiň esasy kemelýän wagtyna deňdir, τ relaksiýa wagty diýilýär.

Elektrik meýdany goýlandan soň releksiona polýarlanmaklyk akdaky formula laýyklykda P_0 durnuklaşan bahasyna çenli wagta görä artýar.

$$P(t)=P_0(1-e^{-t/\tau}) \quad (1.5)$$

Bu ýerde $p(t)$ pursatdaky polýarlanmaklyk daşky meýdan aýrylandan soň aşakdaky kanun boýunça kemelýär.

$$P(t)= P_0 e^{-t/\tau} \quad (1.6)$$

Gaty we suwuk polýardielektriklere mysallar getiriň. Olar üçin E_r dielektrik syzyjylygynyň temperatura baglylygyny düşündiriň.

Gaty polýar dielektrilere poliwinihlorid, ftoroplast –3 (politriftortorhlor etilen) polikondensation smolalar ýaly polimerler, şelýuzanyň matalaryň wwe beýlekileriň esasynda dielektrikler degişlidir. Suwuk polýar dielektriklere sintetik suwukluk bolan sowtol lakyn esasy hökmünde polikondensation smolalar peýdalanylan gatamadyk elektrik izolirleýji laklaryň bir topary degişlidir. Gaty polýar dielektrikleriň E_r temperatura baglylygy umumy ýagdaýda öz häsiýeti boýunça suwuk polýar dielektrik üçin görkezilen kanunalaýyklyga meňzeşdirwe dipol polýarlanma bilen kesgitlenýär.

Bu baglanşyga sintetik elektrik izolirleýji suwuklyk bolan sowalyň mysalynda seredeliň. Temperatura -20dan 10 °C çenli ýokarlananda ϵ_r hemişelik diýen ýaly bolup galýar, şunuň ýaly otirsatel temperaturalarda sowolyň şepbeşiliginiň ýokarydygy we onuň molekulalarynyň ýylylyk hereketiniň kiçidigi sebäpli olary elektrik meýdanynda orientirmek kyndyr. temperaturanyň mundan beýlak ýokarlanmagy molekulalaryň orietirlenmegi şepbeşikligini ep-esli kemelýändigini sebäpli ýeňilleşdirýär, bu bolsa dipol polýarlanmagyň intensiwliginiň artmagyna we töweregi temperaturada maksimal bahasyna $5.5 \epsilon_r$ çürt kesik ýokarlanmagyna getirýär. ýagny kemelmekli polýar molekulalaryň dipollaryň tertpli ýerleşmegine päsgelçilik berýän molekulalaryň ýylylyk hereketiniň artmagyna sebäpli takmynan temperatura ters proporsionaldyr.

ϵ_r maksimumyna gözegçilik edýän temperaturanyň bahasy elektrik meýdanynyň ýygylýgyn abaglydyr. Ýylylyk artanda ϵ_r temperatura maksimum has ýokary temperatur a oblastyna süýşýär, üstesine-de maksimum ululygy kemelýär.

Gaty polýar organiki maddalarda dipol polýarlanma adatça molekulalaryň özleriniň öwrülmesi bilen şertlendirilen boln molekula görä gatnaşygy öwrülmesi

ýa-da süýşmesi bilen şertlenendir. Şeýle dielektriklere polýarlygy hloryň polýar radykallygynyň barlygy mysal bolup biler. Şelýuzanyň esasynda elektrik izolirleýji materiallaryň köpüsiniň polýarlygy OH gidroksil toparyň we kislorodyň barlygy bilen düşündirilýär.

Polýar dielektrikleriň dielektrik syzyjylygy pes oblastynda ýygynlygyny artmagy bilen hemeşelik bolup galýar. Eger releksiýa wagty elektrik meýdanynyň ýarym periodynyň ýarym periodynyň proporsional wagty bilen deňeşdirsek oňa düşünmek aňsat bolar. Relaksiýa wagtyada dipol meýdanyň ugruna tä şu wagty ýarym periodyň wagtyndan kiçikä öwrülýär. Eger relaksiýa wagty ýarym perihodyň wagtyndan kiçikä doly polýarlaşmaklyga etişýär we ýygynlygynyň ýokarlanmagy bilen dielektrik syzyjylygy üýtgemeýär. Ýygynlyk mundan beýläk hem ýokarlanmalaryda haçanda releksiýa wagty ýarym perihodyň wagtyndan uly bolan kiçelmeklige başlaýar. Dielektrik syzyjylygynyň kiçelýän oblastyna dispersiýasyny diýilýär. Haçanda ýygynlyk ýygynlyk bir ýokarlannada periodyň wagty.

Wagty relaksiýanyň wagtyndan köp bolar, dipollar bolsa ýygynlygyny mundan beýläk ýokarlanmagyny duýmaklygy bes ederler we ululygy ýene – de hemeşelik bolup galar. Diýmek ýokary ýygynlyklarda dipol polýarlaşma ýokdur we bahasy diňe elektron polýarlanma bilen kesgitlenýär.

Polýar däl dielektrikleriň ε_r radio ýygynlyklarynyň ähli diapazonlarynda ýygynlyga bagly däl.

m) Dielektrik syzyjylygynyň temperatura kofisiýenti diýip näme aýdylýar we ony nähilli hasaplamaly?

Dielektrik syzyjylygynyň temperatura kofisiýenti $TK\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT}$ hasaplap bolar, eger temperatura baglylygynyň grafiginde (1-nji surat) berlen temperaturada nokadyň üstünden temperaturanyň- meselem “A” nokadyň üstünden temperaturanyň baglylygyna galtaşma çyzyk geçirmeli we şol galtaşma çyzygynda /galtaşma çyzygyna gipetunuza hökmünde garamaly/ erkin ölçegli göni burçly üçburçlyk gurmaly. Şonda $TK\varepsilon$, K^{-1} , “A” nokatdaky bahasyny aşakdaky formula boýunça takmynan hasaplamak bolar.

$$TK\varepsilon_A = \frac{I}{\varepsilon_A} \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta T}$$

Sebäbi polýar däl dielektrikleriň dielektrik syzyjylygy berlen naprýaženiýanyň ýygynlygy tä $10^{-12} - 10^{-13}$ çenli artany bilen üýtgemeýär. Bu bolsa elektron polýarlanma prosesiniň $10^{-13} - 10^{-12}$ sek wagtydan has az wagtyda bolup geçýändigine şaýatlyk edýär.

(özbaşdak düşündirip beriň)

Dielektrik syzyjylygynyň elektrik meýdanynyň güýjenmesine baglylygynyň häsiýeti boýunça dielektrikleri çyzykly we çyzykly däl bölmeklik kabul edilen. Eger materiýalyň meýdanynyň güýjenmesine bagly bolmasa, polýarlanyjygy naprýaženiýa artanda çyzykly ösýän bolsa, onda şeýle dielektriklere çyzykly

dielektrikler /passiw dielektrikler/ diýilýär. Çyzykly dielektriklere adaty elektrik izolirleýji materiýallar degişlidir. Çyzykly däl /aktiw dielektrikler/ dielektriklerini dielektrik syzyjylygyna naprýaženiýa baglylyk häsiýetlidir. Çyzykly däl dielektriklere segnetoelektrikler we kysymdaş däl dielektrikler /şu bölümiň “z” punktynda serediň/ degişlidir.

o) Öýjügi ýa – da gaz garnuwy bolan gaty dielektrikli elektrik kondensatoryň sygymy naprýaženiýa baglylykda nähili ütgýär?

Eger kondensatoryň dielektriginiň strukturasynda öýjük, boşan görnüşinde kemsizlik ýa-da garnuw bar bolsa, onda käbir naprýaženiýadan başlap kondensatoryň sygymy artar. Emma bu sygymyň naprýaženiýa baglylykda çyzykly däldigini, nusganyň dielektrik syzyjylyşyň çyzykly däldigi bilen şertlendirilendigini aňlatmaýar. Sygymyň aralyklygy öýjükleriniň we gaz garnuwlarynyň ionlaşmak prosesi bilen baglanyşyklydyr. Naprýaženiýanyň ýokarlanmagy bilen sygym emäý bilen artar, sebäbi öýjükleriniň we garnuwlaryň ölçegleri tapawutlydyrlar, bu bolsa olarda meýdanyň güýjenmesiniň birmeňzeş däldigini şertlendirýär.

Howa garnuwly nusganyň ýönekeýleşdirilen modelini, dielektriginde gaty dielektrik bilen yzygyder birleşdirilen howa gatlagy bolan kondensator görnüşinde görkezmek bolar. Iki sany yzygyder birleşdirilen howa gatlakly kondensatordan ybarat bolan sistemanyň sygymy degişlilikde aşakdaky formuladan kesgitlenýär.

$$C = C_g C_x / (C_x + C_g) = C_g / (1 + C_g / C_x), \text{ bu ýerde}$$

C_g -gaty dielektrigin sygymy

C_x -howa ýygynyň sygymy

Howa ýygynyňdaky gaz dolylygyna ionlaşsa $C_x = \infty$ / sistemanyň sygymynyň gaty dielektrik bilen kesgitlenilýän sygyma ymtyljakdygy aýdyňdyr.

1.2. Öz-özünüň barlap görmek üçin ýumuşlar (gönükmeler).

1. Dielektrikde nähili fiziki prosesler otnositel dielektrik syzyjylygy ϵ_r häsiýetlenýär:

- 1) Elektrik geçirijilik;
- 2) Bölejikleriň polýarlanmagy;
- 3) Jisimiň göwrüm birliğinde polýarlanmagy;
- 4) Dielektrik ýitgiler;
- 5) Elektrik dipollaryň öwürme wagty;

2. Eger elektrik kondensatorda elektrodalaryň aralygy (arasyndaky uzaklyk) 4 esse ulaldylsa, dielektrik ulanylsa, ululygyny ϵ_r ululygyny başlangyç ululygyndan 2 esse ulaldylsa we elektrodalaryň meýdany 2 esse ulaltsak, onda kondensatoryň göwrümi nähili ütgýär;

- 1) iki esse ulalar (artar);
- 2) dört esse ulalar (artar);
- 3) dört esse kemeler (kiçeler);
- 4) üýtgeşsiz galar;

5) iki esse kemeler (kiçeler).

3. Eger şertli dielektrigiň 5 görnüşinde (tipinde) polýarlanmagyň görnüşini bilen bolsa, onda ol görnüşleriň haýsy birinde ϵ_r temperaturanyň artmagy bilen göni çyzyklaýyn kemeler:

- 1) Elektron polýarlanma plýus (goşmak) dipol;
- 2) Elektron plýus (goşmak) migrasion;
- 3) Elektron;
- 4) Elektron plýus (goşmak) ion plýus (goşmak) (birden);
- 5) Elektron plýus (goşmak) ion-relaksion;

1.3 Mysallar

1. ϵ_r baglanşyk ýygylýga baglylykda polistirolyň, poliwinhlordyň, getinokis üçin nähili bolar?

Jogap. Soraga jogap bermek üçin, ol ýa-da beýleki dielektrigiň E_2 ýygylýga baglylygynyň nähili boljakdygyny dielektrigiň polýarly ýa-da polýarly däldigini haýsy hem bolsa nyşana görä kesgitlemeli.

Eger polistirolyň we poliwinhlordyň poliwinlerlenmek arkaly alynýandygy belli bolsa, oňa bu dielektrigiň polýar, ýa-da polýardäl bolup biljekdigini aňladýar.

Eger polistirolda ϵ_r 3-den kiçidigi belli bolsa ýa-da tanges δ bahasy 10^{-4} töweregi bolsa, onda bu dielektrik polýar däl diýip netije çykarmak bolar. poliwinhlordyň ady bize onuň molekulalarynyň düzüminde hloryň barlygyny ýatladýar, ol bolsa bu polimeriň polýar häsiýetini şertlendirýär. Eger poliwinhlordyň $\tan \delta$ bahasy 10^{-2} töweregi, E_2 –de 3 uly bolsa, onda bu hem onuň polýarlygyny görkezýär. Getinaks gat-gat plastikdir. Okuň esasy edilip bolýar dielektrik bolan ýarym kondensasion sumola siňdirilse kagyz ulanylýar. Şeýlelikde, polýar däl dielektrik-polistirolyň dielektrik syzyjylygy ýygylýga bagly däldir, polýar dielektrikler bolan poliwinhlordyň we getinaksda ol 1-nji bölümiň 1.1 bölümünde habar berilişi ýaly üýtgeýändir.

2. Polistirolyň we titanyň ikili oksidyndan edilen kiramiki dielektrikli elektrik kondensatorlaryň dielektrik syzyjylygynyň temperatura baglylygynyň gidişi nähili bolar?

Jogap. Ol ýa-da beýleki dielektrigiň E_r temperatura baglylygynyň mysaly gidişi barada aýtmak üçin, dielektrigiň materiallaryň haýsysyna degişlidigini öňden kesgitlemek gerek. Dielektrik organikimi ýa-da organiki däl, bir ýa-da birnäçe komponentlimi, polýarmy, polýar dälmi ýa-da ion tipli (kysymly) himiki baglanşyklımy, gyzyklymy ýa-da gyzyksyzdygyny bilmeli. Sanalyp geçilen dielektrikleriň polistirolyň we ftoroplast-4 polýar däl dielektriklerdir, olaryň ϵ_r temperaturanyň artmagy bilen az-kemelýändir (1.1.ž bölümüne seret). Titanyň işli oksidi kiramiki dielektrik bolan titanyň ikili oksidi ion kysymly baglanşyklydyr. Ion polýarlanmaly dielektrikleriň temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ösýär (artýar). Ýöne titanyň ikili oksidinde beýleki ion baglanşykly dielektriklerden tapawutlylyklarda E_2 temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kemelýär (1.1.ž bölümüne seret).

3. Elektrodларыnyň diametri 3 cm, galyňlygy 2mm bolan disk görnüş keramiki kondensatoryň sygymy otag temperaturasynda ölçenilende 4500 pF deň bolupdyr. Bu kondensatoryň dielektrigiň elektrik häsiýetleri barada nähili netije çykarmak bolar?

Jogap. Tekiz kondensatoryň sygymy üçin $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$, (F). $\epsilon_r = \frac{C d}{\epsilon_0 S}$ formulany formulany ulanyp barlanylýan nusganyň nusganyň dielektriginiň ϵ_r baha bereliň. Formulada nusganyň d(m) galyňlygy, nusganyň elektrodларыnyň S(m²) meýdany, C(F) sygymy we $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m san bahasyny goýyp ýazalyň

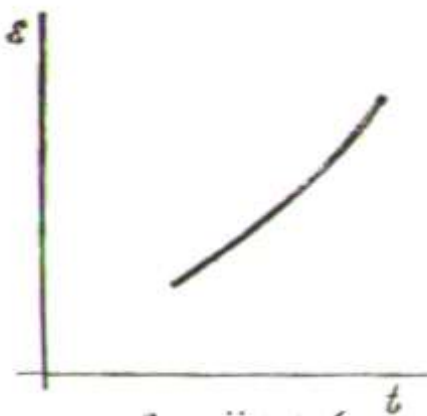
$$\epsilon_r = \frac{450 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot (1,5 \cdot 10^{-2})^2} \cdot$$

Takyk hasaplamalar geçirmezden ϵ_r bahasynyň 1400 töweregi boljakdygyny görýäris, ýagny biz segnetoelektrik material bilen iş salyşýarys (maslahat berilen edebiýatlara seredeliň).

4. Optiki taýdan dury gaty nusganyň ölçenilen alynan sygmy boýunça geçirilen hasaplamalar ϵ_r bahasynyň 16 we $\text{tg} \delta = 0,0085$ deňdigini berdi. Şeýle dielektrigiň düzümi we çatlanylýan häsiýetleri barada näme aýtmak mümkin?

Jogap. Optiki taýdan durluk we ϵ hemde $\text{tg} \delta$ bahasynyň ululygy, nusganyň aýnadygyny hem-de onuň düzümine agyr ýa-da köpwolentli metallaryň oksiniň girýändigini görkezýär, sebäbi adaty organiki däl ionyň ϵ_r san bahasy kiçidir.

Meselem, kremniniň ikili oksiniň ýa-da boryň oksiniň esasyndaky aýnanyň dielektrik syzyjylygy dördten we $\text{tg} \delta$ bahasy kiçidir. U nusganyň ϵ_r san bahasynyň epesli ululygy relaksion has takygy ion-relaksion häsiýetli polýarlanma bilen şertlendirilendigini güman etmek bolar. Bu ýagdaýda ϵ_r temperatura baglylygy, ikinji suratdaky ýaly temperaturanyň ösmegi bilen ϵ_r ýokarlanmagyna garaşmaly.



2-nji surat

§2. Dielektrigiň Elektrikgeçirijiligi.

a) Dielektrigiň üstünden aky geçýän tok, dielektrige hemişelik naprýaženiýanyň goýlan wagtyndan nähili üýtgär?

Dielektrik hemişelik naprýaženiýa birikdirilenden soň dielektrigiň elektrik geçirijiliginde häsiýetli aýratynlyk, ýagny wagtyň geçmegi bilen togyň kemden peselmegi ýüze çykar. Wagtyň başlangyç pursatyndan zynjyrdan çalt peselýän süýşme togy akýar, ol RC-shemanyň hemişelik wagtyna deň bolan wagta akmasyny togtadýar. Adatça bu wagt kiçidir. Togyň üýtgemesine mundan soň hem köplenç minutyň hat-da sagadyň dowamyna gözegçilik edilýär. Togyň haýal üýtgemegi dielektrigiň göwrümindäki erkin zaryadlaryň gaýtadan paýlanylmagy (bölünmegi) bilen baglanşyklydyr. Togyň bu düzüjisine I_{abs} absorbsiýa (siňdirme) togy diýilýär.

Apsorbiýa togynyň döremegi umumy ýagdaýda dielektrigiň göwrümi tarapyndan zaryadlary äkidijileri siňdirilmegi bilen baglanyşdyrylýar. Zaryadlary äkidijileri tutujy we saklaýjy

Eger dielektrigiň düzüminde zorlary äkidijileri tutujy we saklaýjy defktler (şikeler), (tutujy duzuklar) bar bolsa, onda wagtyň geçmegi bilen hemme duzaklar dolanda I_{abs} bes eder we bir elektrodyň beýleki elektroda zaryadlary äkidijileriň geçmegi bilen şertlendirilen, wagtyň geçmegi bilen üýtgemeyän I_{zow} zowam tok dielektrigiň üstünden akar. I_{zow} tok göwrüm we üst zowam toklaryň jemine deňdir. Nusganyň udel göwrüm garşylygy ölçenilende nusgadaky apsorbsiýa togyny aýyrmak üçin nusga käbir wagtyň dowamynda naprýaženiýa astynda saklanylýar.

b) Tekiz gaty dielektrik nusganyň udel elektrik garşylygyny hasaplamak üçin formulany.

Elektrik izolýasiýanyň ýönekeý kanfigurasiýaly tekiz kondensator görnüşli bölegi üçin udel göwrüm garşylygyny, $Om \cdot m$, $\rho_v = RS/l$ formula boýunça hasaplap bolar, bu ýerden S-elektrodyň meýdany; l-Elektrodlaryň arasyndaky aralyk (uzaklyk) (dielektrigiň galyňlygy); R-dielektrigiň garşylygy. UC sistemada ρ_v $Om \cdot m$ ölçenilýär. Dielektrigiň üst garşylygyny tekiz üstde $R_s = a \cdot \rho_s / b$ empiriki formula boýunça hasaplamak mümkin, bu ýerde a-elektrodlaryň ini, b- elektrodyň arasyndaky aralyk (uzaklyk). Diýmek, üst udel elektrik garşylygy $\rho_s = b R_s / a$ formula boýunça tapmak bolar. bu ýerde ρ_s Om -da ölçenilýändigini görüňär.

w) Udel göwrüm geçirijiligiň umumy aňlatmasyny (getirip çykaryň).

Eger zaryadlary äkidijileriň tebigaty göz önünde tutulsa, onda udel geçirijilik üçin umumy aňlatmany, togyň dykzlygy üçin bolan iki aňlatmany:

$J = n \cdot q \cdot v$ we $J = \gamma E$ (omuň kanuny) peýdalanyp almak bolar, bu ýerde n- göwrüm birliginde zaryady äkidijileriň soňy (zaryady äkidijileriň konsentrasiýasy) q-zaryadyň ululygy; v-zaryad äkidijileriň tizligi;

E-meýdanyň naprýaženiýasy; γ -udel geçirijilik. Formulalaryň sag tarapyny deňleşdirip, $\gamma = n \cdot q \cdot v / E = n \cdot q \cdot \mu$ alarys, bu ýerde μ -zaryadlary äkidijileriň hereket edijiligi. Formula girişi ululyklaryň UC sistemada: $\gamma - Om^{-1} \cdot m^{-1} = Om/m$; $n - m^3$; $\mu - m^2/B \cdot c$ ölçeg birligi bardyr.

g) Gaz görnüşli, suwuk we gaty dielektriklerde zaryadlary äkidijileriň tebigaty nähili?

Gowşak elektrik meýdany oblastda, ýagny urgy ionlaşmasyna gözegçilik edilmeýärkä, aktiw we beýleki elem şöhledenmeleri.

Erkin radioaktiw şöhlenmesiniň we beýlekileriň täsiri astynda gazyň molekulalarynyň, tebigy ionlaşmasy wagtynda ýüze çykýan ionlardyr. Gazlardaky şeýle zarýadsyzlanma özbaşdak däl zarýadsyzlanma diýilýär. Elektrik meýdanyň ýokary oblastlaryna, urguly ionlaşma aralaşanda gazlar erkin elektronlaryň ýüze çygmagynyň hasabyna ýokary geçirijilige eýe bolýarlar.

W elektrik izolirleýji suwuklyklarda zarýadlary äkidijiler, garyndaryň dissosiasiýasynyň (garyndyly elektrik geçirijilik) ýa-da suwulyklaryň öz molekulalaryny dissosiasiýasynyň hosabyna ýüze çykýan ionlardyr. Soňky ýagdaý polýar suwuklyklar üçin häsiýetlidir. Güýçli elektrik meýdanynda garyndylardan oňat arassalanylan suwuklyklarda zarýadlary äkidijiler elektrodlardan sowuk emmisiýa ýoly bilen ýa-da başga prosessler arkaly katoddan goparylýan elektronlar bolup biler. Kolloid erginleri bolan suwuklyklarda, meselem gatap ýetişmedik elektrik izolirleýji laklardan zarýadlary äkidijiler bolup üstünde elektrik zarýadlary adsorbirlenen suwuk (emulsiýalarda) ýa-da gaty (suspenziýalarda) bölejikler hyzmat edýär. Şeýle bölejiklere molionlar, bu ýagdaýdaky elektrik geçirijilige bolsa modion ýa-da elektroforetik geçirijilik diýilýär.

Elektrodlaryň hasabyna amala aşyrylyp biliner.

Gaty jisimiň üstünden togyň akyp geçişini häsiýetine we zarýady äkidijileriň düzümine garyndylaryň tipi, gaty jisimiň strukturasyndaky dürli görnüşli ýetmezçilikler (kemçilikler), temperatura, basyşy we beýleki faktorlar özüniň güýçli täsirini ýetirýär.

-30-

Käbir dielektrikleriň udel geçirijiniň temperatura baglanşygyndaky epilme näme bilen düşündirilýär?

Eger zarýatlary äkidijileriň dürli barlanylýan temperatura interwalynda üýtgemem galýan bolsa, onda gaty dielektrikleriň udel elektrik geçirijiligi temperaturanyň ösmegi bilen aşakdaky gatnaşyga laýyklykda eksponensial artar.

Bu ýerde W - zarýady äkidijileriň aktiwlenme energiýasy aktiwlenme energiýasy, eB ; $K=8,65 \cdot 10^{-5} \text{ eB/K}$ – baglanmanyň hemişeligi; T – absolýut temperatura, K ; -dielektrik ýüklenmäniň häsiýetlerine bagly hemişelik. Udel geçirijiliginiň logaritminiň T^{-1} baglylygynyň göni çyzykdygyny görmek bolar, onuň $1/t$ obsissa okuna görä ýapgytlygy zarýadlary äkidijileriň aktiwlenme energiýasynyň saýlanylyp alynan maştabyna proporsionaldyr.

Temperaturanyň çäkli interwalynda aşakdaky has ýönekeý aňlatma adalatlydyr.

Bu ýerde A we B – berliş dielektrik üçin häsiýetli hemişelikler. Soňky formuladan görnüşi ýaly A koeffisiýentiň $^{\circ}\text{C}$ – ky udel garşylykdyr.

Udel geçirijileriň lagaritmleriniň temperaturanyň giň interwalynda T^{-1} baglylygynyň grafigi gurlanda, käbir dielektriklerde temperaturanyň ýokary

oblastlarynda göni çyzygyň egrelmesine (döwürmesini) gözegçilik etmek bolar (ýokary temperaturalarda ýapgytlyk burçy ulalýar). Göni çyzygyň ýapgytlyk burçunyň ulalmagynyň, ýagny ýokary temperaturaly ikinji uçastogynyň ýüze çykmagynyň sebäbi köplenç ýagdaýda pes temperaturaly oblastdaky zarýatlary äkidijileriň aktiwlenmek energiýasyndan köp energiýaly täze tipli zarýatlary äkidijileriň ýüze çykmagy bilen baglansyklydyr meselem, NaCl daş düzükdi pes temperaturalarda zarýatlary äkidijiler položitel zarýatlanan konturnyň ionlarydyr, eremek tempraturasyna ýakyn temperaturada bolsa zarýatlary äkidijiler aktiwleşme energiýasy köp bolan hloryň otnositel zarýatlanan ionlary bolýarlar.

e) Haýsy ýagdaýlarda dielektriklerde udel geçirijileriň meýdanynyň güýjenmesine baglylykda üýtgemegi omuň kanunyna boýun egmeýär?

Dielektrikleriň udel geçirijiligi elektrik meýdanynyň pes oblastlarynda meýdanyň güýjenmesiniň artmagy bilen üýtgemeyär, ýagny Omuň kanunyna boýun egýär. Meýdanyň güýjenmesine baglylykda udel geçirijiligiň egri çyzykly üýtgemegine dielektrikleriň ýukajyk gatlaklarynda gözegçilik etmek bolýar.

Öz täsirini ýetirýän bu ýagdaýda dielektrik plonkalaryň elektrik geçirijiligine esasy däl zarýad äkidijiler, meselem, elektrodlardan dielektrik plonka ižektirlenen eltronlar, strukturadaky dürli görnüşli defektler, göwrüm zarýadlary we ş.m. düýpli täsir edýärler.

Uly dielektriklerde omuň kanuny elektrik meýdanynyň ýokary oblastlarynda bozulýar. Şonda dielektrigiň üstünden akyp geçýän tok pulyň kanunyna boýun egýär.

Ýa-da Frenkeliň

Bu ýerde, a we b – berlen dielektik üçin häsiýetli hemişelikler.

2.2. Özüni barlamak üçin gönükmeler

1. Eger kondensatoryň obkladkalarynyň arasynda ýerleşdirilen gaty polýar dielektrik hemişelik naprýaženiýa berilse, onda ýeterilik uzak wagt .. dielektrigiň üstünden nähilli tok akyp geçer:

- 1) Elektron polýarlanma bilen şertlendirilen tok (süýşme togy);
- 2) Polýarlanmagyň gowşak görnüşleri tarapyndan tok (a b sorbiýa togy);
- 3) Zarýatlary erkin äkidijiler bilen şertlendirilen tok (zowwam tok)

2. Polýar däl dielektrikler üçin 1 – nji punktdaky sorag

3. Üýtgeýän naprýaženiýa üçin 1- nji punktdaky sorag

4. Polýar däl dielektrik bolan ýagdaýynda üýtgeýän naprýaženiýa üçin 1- nji punktdaky sorag.

5. Elektrik meýdanynyň gowşak oblastynda elektrotehniki forforyň elektrik geçirijilik prosesini galapyn zarýatlary äkidijileriň haýsy tip kesgitleýär:

- 1) Kristaliki faza degişli bolan metalyň ionlary;
- 2) Erkin elektronlar;
- 3) Tötänleýin düşen garyndylaryň ionlary;
- 4) Aýna fazanyň düzümine girýän ýeňil aşgar metallaryň ionlary.

2.3. Mysallar.

1. Ygtyýarynda diňe uly garşylyklary ölçemek üçin abzal meselem, tedaometr ýa – da islendik tipdäki elektrik ulylygyny ölçeýji bar bolsa onda polimer dielektrik hakynda näme aýytmak bolar?

Elktrotlaryň diametri 4 sm bolan 0,2 mm galyňlykly plönka görnüşli nusganyň garşylygy normal şertlerde ölçenilende 10^{10} Om deň boldy.

Jogaby ölçegiň netijelerini peýdalanylýan nusganyň udel elektrik garşylygyny ýönekeý formula boýunça hasaplap bolar.

Hasaplama nusganyň udel elektrik garşylygynyň bahasynyň $6,28 \cdot 10^{10}$ Om.m deňligini berdi. Arassa (garyşdysyz) polýar däl polimetriň ρ bahasynyň 10^{14} – 10^{15} Om.m dipazonlarda ýatýandygyny göz önünde tutup, biz ýa–ha garyndy bilen hasaplaşyp polýar däl dielektrik.

Ýa-da polýar dielektrik bilen iş çalyşýarys diýip netije çykarmak bolar. Dielektrigiň tipi hakynda has takyk netijäni onyň dielektrik syzyjylygynyň çak bahasy barada goşmaça maglumatlar alynandan soňra çykaryp bolar, onuň üçin bolsa nusganyň sygymyny ölçemek zerurdyr.

Eger dielektrigi/ degişlilikde T_1 we T_2 temperaturadaky udel geçirijilikleri bilen bolsa, onda umumy görnüşde dielektrigiň T temperaturasyndaky udel elektrik geçirijiligini hasaplamaly. Şeýle hem zarýady äkidijileriň aktiwleşme energiýasyny tapmaly.

Jogaby aşadaky görnüşde udel geçirijiligiň temperatura baglanşygynyň aňlatmasyny ýazalyň

Bu aňlatma $\ln \dots (1/T)$ kordinatalarda göni çyzykdyr (2.1 – paragryfyň 1 punktyna serediň). Bu baglanşygyň umumy görnüşi 3- nji a suratda görkezilen. Adatça getirilene meňzeş baglanşyklarda abssissa okundaky T^{-1} deň san grafikum peýdalanylanda amatly bolsun diýilip bitin sanlar ýaly 10^3 köpeldilýär. 3- nji suratdan görnüşi ýaly eger göni çyzygy ordinata oky bilen kesgitlenýänçä dowam etdirilse, onda

L_n γ deň boar L_n t_0 . Diýmek B, K kofisientleri ýokarda getirilen aşadaky formula boýunça hasaplamak bolar

$$B = [(L_n L_0 - L_n \gamma) \cdot 10^{+3}] / (10^3 T),$$

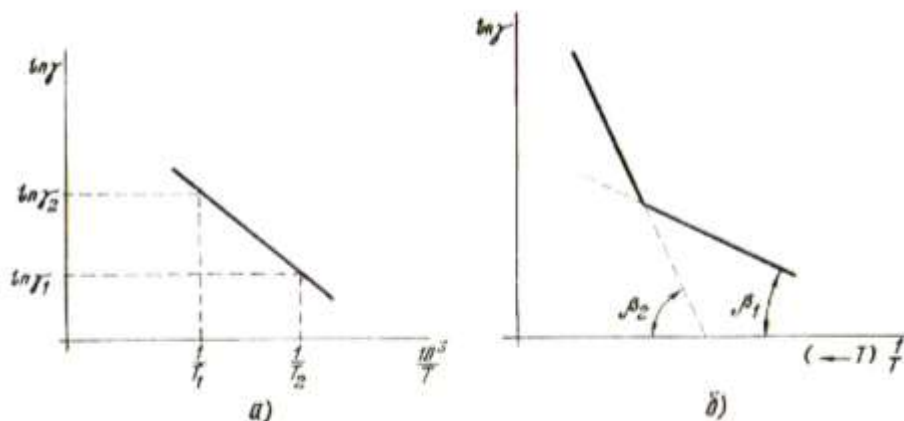
Bu ýerde γ – T temperaturadaky udel garşylyk, meselem, T_1 temperaturada. Udel aktiwlenme energiýanyň bahasyny tapmak bolar

$$W = B \cdot K.$$

G grafikden T temperature degişli islendik bahasyny tapalyň. Eger T_1 – T_2 temperatura interwalynda geçirijiligiň temperature baglanşygynyň eksponensial häsiýete eyedigine ynam bar bolsa, onda garafik gurmazdan B kofisienti we

aktiwlenme energiýasyny γ_1 hem- de γ_2 bahasy boýunça tapmak bolar. Hakykatdan-da 3-nji a suratdan görnüşi ýaly B kofisienti göni çyzygyň abscissa okyna ýapgytlyk burçunyň tangens burçy hökmünde tapmak bolar

$$B = \operatorname{tg} \beta = [L_n \gamma_2 - L_n \gamma_1] / (1/T_1 - 1/T_2).$$



3- nji surat

5. Udel geçirijiligiň temperatura baglylykda üýtgemeginiň ekspatsensiýal kanunyndan peýdalanyň dürli temperaturada dielektrigiň udel geçirijiliginiň bahasyny tapmak üçin berlen islendik dielektrigiň dürli iki temperaturadaky udel geçirijiliginiň iki bahasyny bilmek ýeterlikdir?

Jogaby udel geçirijileriň dürli temperaturada öwran – öwran ölçenilip alynan azyndan üç sany eksperimentel nokatdaky bahasynyň bolmagy oňatdyr. Eger $\ln \gamma$ ($1/T$) kofisiantallarda temperaturanyň geçirijili interwaldaky nokatlaryň üçüsi hem bir gönüşde ýerleşse, onda mesele öňki mysaldaky ýaly işlenilýär. Bu bolsa dielektrikde dürli aktiwleşme energiýaly zoryad äkidijileriň iki, hat – da has kän tipiniň bolup biljekdigi şaýatlyk edýär şeýle ýagdaýda gyzyklandyrsa temperatura dinazylynyň tutuş dowamyna degişli eksperimentel maglumatlar bolsa oňat bolar.

Zaryad äkidijileriň iki tipi üçin $\ln \gamma$ ($1/T$) baglanşygynyň garafigi 3- nji δ suratda görkezilendir. Zoryad äkidijileriň her bir tipiniň aktiwleşme energiýasyny şu paragrafyň 1- nji mysaldaky ýaly edip hasaplamak bolar. γ_0 köpeldiji kesgitlenilenden soňra zaryad äkidijileriň her bir tipi üçin degişli temperatura interwalyndaky udel geçirijiligiň bahasy analitik usul bilen kesgitlenilip bilner.

§3. Dielektrik Ýitgileri.

a) Dielektrik ýitgisine kesgitleme beriň

Dielektrik ýitgisi diýip elektrik meýdanynda dielektrigiň gyzmaklygyna getirýän dielektrigiň ýa-da izoliýasiýanyň siňdirilýän elektrik kuwwatyna aýdylýar.

Şol bir dielektrigiň dielektrik ýitgisi üýtgeýän naprýaženiýada hemişelik naprýaženiýadan köpdür, sebäbi ol ýagdaýda polýarlanmanyň haýal geçýändigini üçin goşmaça ýitgisi edilýär.

b) Hemişelik naprýaženiýada dielektrikde ýitgiler nähilli hasaba alynýar?

Hemişelik elektrik meýdanynda ýerleşdirilen dielektrigiň ýitgisine udel göwrüm we üst garşylyklarynyň bahasy (ýa-da udel geçirijiligi) boýunça baha berilýär. Kuwwatyň dielektrikdäki ýitgisini bize mälim bolan gatnaşyk boýunça hasaplamak bolar.

$$P=U^2/R$$

Bu ýerde R – dielektrigiň garşylygy taraplary $1m$ bolan kub görnüşli dielektrigiň göwrüm birligi üçin udel ýitgisi aşakdaky formuladan kesgitleniler.

$$P=E^2/\rho \text{ ýa-da } P=E^2\gamma,$$

Bu ýerde E – elektrik meýdanyň güýjenmesi; ρ - udel elektrik garşylyk; γ - udel elektrik geçirijiligi.

Şeýlelikde hemişelik naprýaženiýada dielektrigiň ýitgileri dowam tok bilen şertlendirilendir we elektrik geçirijileriniň ýitgisiniň ýitgisi diýilip atlandyrylýar.

b.) dielektrik ýitgisiniň tangens burçuna kesgitleme beriň.

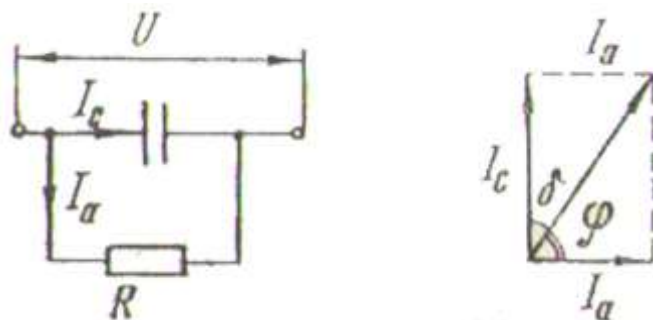
Dielektrik ýitgisiniň δ burçy sygymly zynjyrdaky tok bilen naprýaženiýanyň arasyndaky faza süýşme burçyny 90° çenli doldurýan burçdyr.

Ýitgisi bolmadyk ideýal dielektrikde togyň wektory naprýaženiýanyň wektoryndan 90° ozyýandyr. Şonda δ burç nola deňdir. Real dielektrikde dielektrik ýitgisiniň δ burçy we ondi $\text{tg}\delta$ funksiýasy dielektrigiň ýygalyk görnüşinde ýaýaradýan kuwwaty näçe ýokary bolsa şonçada ulydyr.

g) Dielektrikleri çalyşmaklygyň parallel shemasyny peýdalanyňp dielektrigiň $\text{tg}\delta$ we doly ýitgisi üçinformulany getirip çykaryň.

Ýityň naprýaženiýa bilen baglanyşykda dielektrik ýitgisiniň özüni alyp barşy öwrenilende, öwrenilýän dielektrigi özara parallel ýa-da yzygider birikdirilen ýitgisiz sygym we aktiw garşylyk bilen çalyşmak maksada laýykdyr.

Birinji ýagdaý üçin dielektrikdäki toklaryň wektor diagrammasy 4-nji suratda görkezilendir.



4-nji surat

Diagrammadan gelip çykýar.

$$\text{tg}\delta \frac{I_a}{I_c}.$$

Çünkü $I_a=U/R$, $I_c=UwC$, onda $tg\delta=1/wCR$.

Dielektrikdäki aktiw ýitgi

$$P_a=U \cdot I_a=U^2 \cdot X \cdot tg\delta,$$

Bu ýerde P_a (Bm); U (B); w (C^{-1}); C (F).

3.g) Udel dielektrik ýitgisi üçin formulany getirip çykaryň.

Dielektrigiň udel dielektrik ýitgileri onuň göwrüm birliginden ýaradýan kuwwaty bilen häsiýetlendirýär elektrodlar çatylan (birikdirilen) kubuň sygymyny aňladyň, eger garanlarynyň taraplary 1m bolsa, onda

$$C = \frac{E_0 E \cdot S}{d} = \frac{1 \cdot \varepsilon \cdot 1}{36\pi \cdot 10^9 \cdot 1} \varphi.$$

$W=2\pi \cdot w \cdot P_a=U^2 \cdot w \cdot c \cdot tg\delta$ göz öňünde tutup, udel ýitgi üçin aňlatmany alarys

$$P = \frac{\varepsilon \cdot f \cdot tg\delta}{1,8 \cdot 10^{10}} \text{ wt/m}^3$$

Alnan aňlatmany hemişelik napýaženiýa üçin ýitgisini formulasy bilen (3,28) deňeşdirip, E^2 öňündäki köpeldijiniň aktiw geçirijilikdigini görmek bolar, şoňa görä- de soňky aňlatmany aşakdaky görnüşde ýazamk bolar.

$$P=\gamma_a \cdot E^2, \text{ Wt/m}^3$$

e) dielektrik ýitgisiniň görnüşlerini sanaň.

Dielektrik ýitgisiniň esasyňy görnüşleri şulardyr: 1) zowom togyň hasabyna elektrik geçirijiligine ýitgiler; 2) polýarlanmagyň haýal görnüşleri bilen şertlendirilen relaksasion ýitgiler; 3) garnuwlarynyň ionlaşmagynyň hasabyna ionlaşma ýitgileri; 4) elektrik meýdanynyň we dielektrigiň bölejikleriniň yrgyldy ýygylgynyň gabat gelmeginiň hasabyna rezonans ýitgileri.

4.ž) Dürli tipdäki dielektrigiň dielektrik ýitgisiniň tangens burçunyň takmynan bahasyny getirip görkeziň.

Özge garyndylardan oňat arassalanan polýar däl suwuk we gaty dielektrikleriň we ionlaryň daşy mäkäm gurnalan alynan ion tipli himiki baglanşykly dielektrigiň dielektrik ýitgisiniň tangens burçy $(1-8) \cdot 10^{-4}$ diapozonda ýatar.

Polýarlylygy gowşak suwuk we releksasion görnüşli polýarlanmaly polýar gaty dielektrikleriň $tg\delta$ bahasy 10^{-2} - den 10^{-3} çenli çäklerde ýatandyr. Bu parametr ion – relaksasion polýarlanmaly ion dielektriklerikde hem takmynan şol çäklerde üýtgedýändir.

Polýarlylygy güýçli dielektrikleriň we birmeňzeş strukturasyz elektrik izolirleýji materýallaryň $tg\delta$ bahasy adatça 10^{-1} - den 10^{-2} çemli dipazonda ýatar.

Normal şertlerde gaz görnüşli dielektrigiň bu görkezijisi örän kiçi bolup biler (10^{-4})

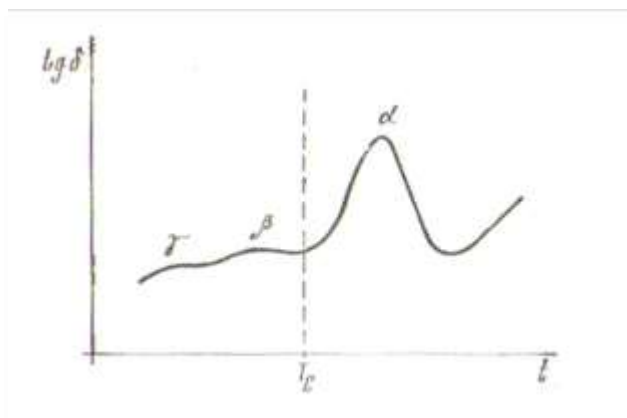
3). Polýar polimeriň dielektrik ýitgisiniň nähilli aýratynlyklary bar?

Makromalekulýaryň esasy zynjyrynyň uly bolmadyk uçastoklarynyň, esasy zynjyryň we gapdal zynjyrynyň gapdal toparlarynyň ýa-da aýratyn toparlaryň atomlarynyň ýygylk hereketi bilen baglanyşykly ýüze çykýan dipol– orisitirlenme (relaksosiýa) prosesine polýarlanmagy amala aşyrylmagynyň dipol – toparlaýyn prosesi, degişli dielektrik ýitgilerine bolsa dipol – toparlaýyn ýitgi diýilýär.

Uly maſtably malekulýar göwrümleriň segmentleriniň–orientirlenmegi bilen ſertlendirilen, polimerleriň aýnalaşmagy (steklowaniýem) bilen baglaňsykly dipol polýarlanma prosesy polýarlanmagy amala aşyrmaklygyň dipolsegmental prosesy diýen ada eýedir.

(Dielektrik ýokary elastik ýagdaýa geçende, ýagny T_a aýnalaşma temperaturadan ýokary temperatura bolup geçýän proses). Degişli dielektrik ýitgilere dipol – segmental ýitgi diýilýär 5- nji suratda polýar polimerleriň dielektrik ýitgisiniň tangens burçunyň temperatura baglylygy görkezilen. Malekulýar orintirlenme (relaksasiýa) prosesine şol sanda dipol oriýentirlenme prosesine ýokary temperaturadaky prosesden .

köplenç α – prosesi, β – prosesi, γ – prosesi diýilýär.



5- nji surat

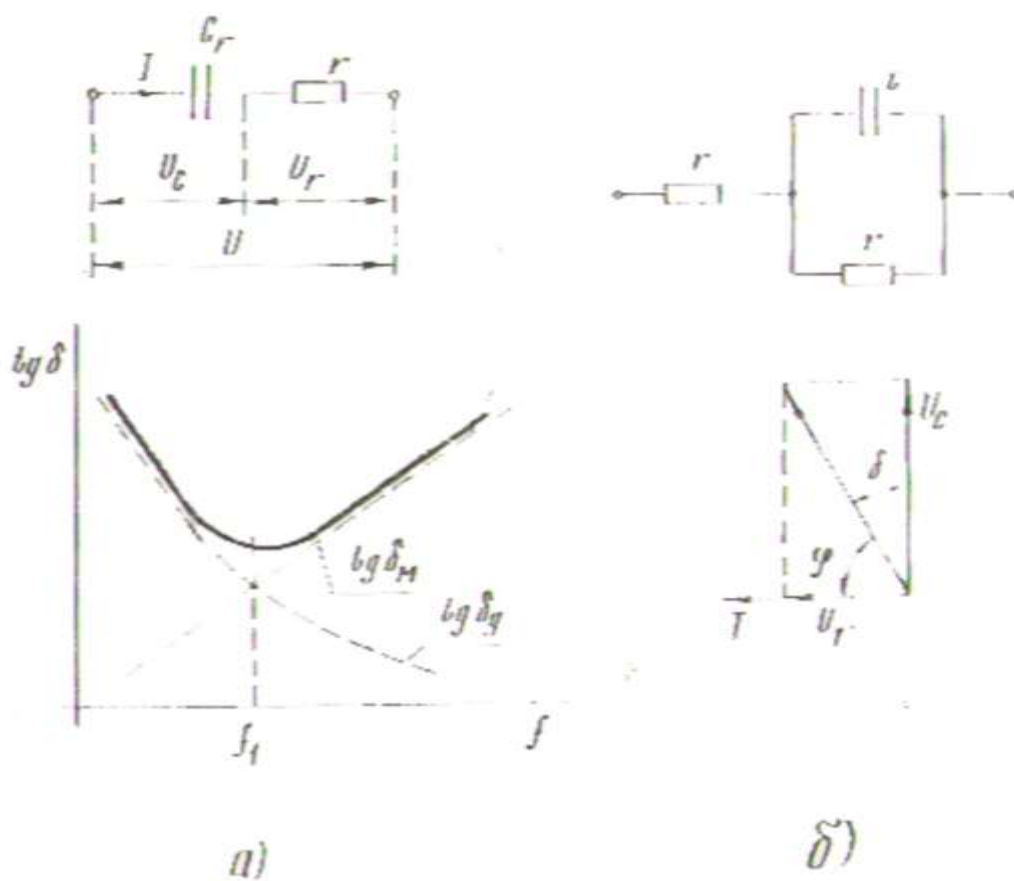
Şeýle polimerlere polimetilmetakrilot (organiki aýna), ýönekeý we çylşyrymly poliefirler, selmolozonyň efirleri asasy bolup durýan materýallar we ş.m. mysal bolup bilerler.

5.u) Polýar dielektrikler üçin we poliýar däl dilelektrikli real kondensator üçin dielektrik ýitgisiniň tangens burçunyň ýygylýga baglylykly getirip görkeziň hem – de olara düşündiriň beriň.

Polýar däl dilelektrigi çalyşdyrylyşy shemasy, dielektrikdäki toklaryň wektor diagrammasy we $\text{tg} \delta$ üçin formula 3.2 G punkyda getirilen. Formuladan polýar däl dielektrigiň $\text{tg} \delta$ burçunyň ýygylýgyň artmagy bilen 6-njy suratda görkezilişi ýaly kemeljekdigi gelip çykýar. Real elektrik kogedensatorlarda käbir f_1 ýygylýkdan başlap metal obklatkalardan wetok getiriji simlerden ýitgi bolýandygy sebäpli $\text{tg} \delta$ burçy ýygylýgyň göni çyzykly artýar.

Bu ýitgilere ekwiwalent bolan garşylygyçalyşyş shemasynda sygym bilen yzygider birleşdirilen görnüşde görkezmek üçin 6- nji a suratda getirip görkezilen wektor diagramma degişli yzygider çalyşyş shemasy üçin alynan formuladan peýdalansak gerek:

$$\text{Tg} \delta_y = U_r / U_c = I_r (1/w C_r) = r w C_r.$$



6- nji surat

6- nji δ suratda metal obkladkalaryndan ýitgi bolan kondensatory çalşylyş shemasy görkezilen bu shemadaky r – çalşylyş metal böleklerdäki ýitgilere, R – garşylyk bolsa dielektriki ýitgä ekwiwalentdir.

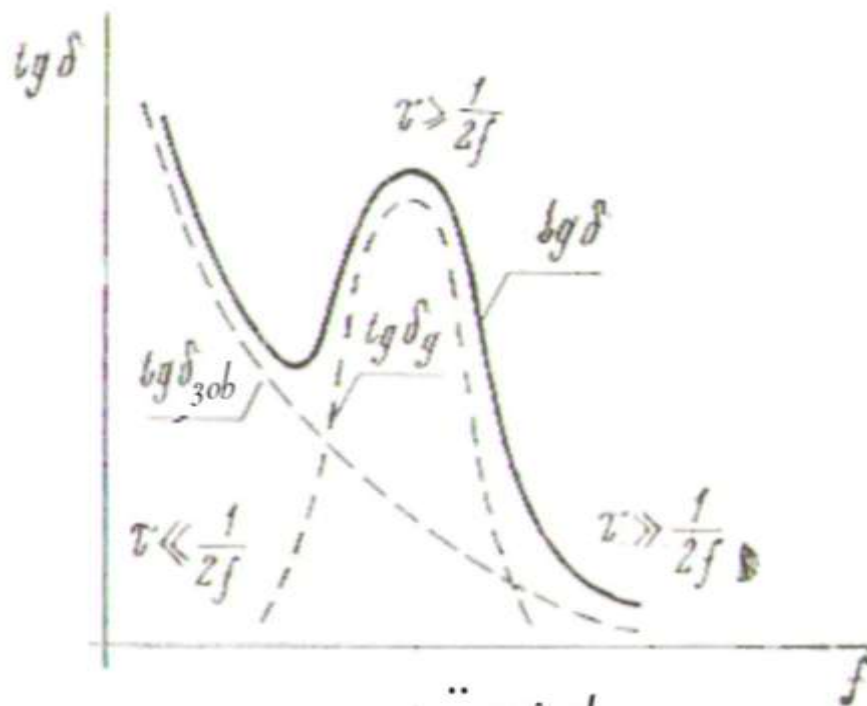
Şeýle shema üçin dielektrik ýitgisiniň tangens burçy üçin formulany çylşyrymly bolmadyk özgertmelerden soň almak bolar

$$\text{Tg}\delta = \omega C \cdot r + 1/\omega C R.$$

Aňlatmanyň birinji goşulyjysy ýygylýgyň artmagy bilen ösýär, ikinji goşulyjysy bolsa kemelýär, şoňa söräde ýygylýgyň käbir bahasynda olaryň jemi minimuma deň bolar. şeýle ýygylýk elektrik kondensatory üçin çäk ýygylýkdyr.

6.k) Zowwam geçirijiligi hasaba almak bilen polýar dielektrikler üçin dielektrik ýitgisiniň tangens burçynyň ýygylýga baglylygynyň grafigini gurun we oňa düşündiriş beriň.

Polýar dielektrigiň $\text{tg}\delta$ burçynyň ýygylýga baglylygynyň grafigi 7- nji suratda zowwam geçirijili hasaba almak bilen görkezilendir. Bu grafikde $\text{tg}\delta_{\text{zoww}}$ zowwam geçirijilige bolan ýitgi bilen, tg_g – dipol ýitgileri bilen we $\text{tg}\delta_{\text{ym}}$ – zowwam geçirijilige hem – de dipol polýarlanmaklyga bolýan ýitgileriň jemi bilen kesgitlenýär.



7 – nji surat.

Bu baglanşykdaky ioksimумы aşakdaky ýaly düşündirmek bolar.

Suwuk polýar dielektrikleriň dielektrik ýitgisi pes ýygylýklarda esasan elektrik geçirijiligi bilen, ýagny ýygylgy ütgemeýän Izow togy bilen kesgitlenilýär.

Absorbsiýa togy I_{abs} sebäbi ýüze çykýan dielektrik ýitgileri bolsa has kiçidir, sebäbi wagt birliginde dipollaryň öwrülme sany entek örän azdyr. Polýar däl dielektriklerde bolşy ýaly ýygylgyň artmagy bilen I_p reaktiw tok ösýär, $tg\delta$ burçy bolsa kiçelýär. Ýygylgyň artmagy bilen wagt birliginde polýar molekulalaryň öwrülme sany artýar we $I_{a\delta c}$. Absarbsiýa togy sebäpli ýüze çykýan dielektrik ýitgisi köpeltýär we elektrik geçirilişligi zerarly bolýan, Absarbsiýa togy sebäpli ýüze çykýan dielektrik ýitgisi köpeltýär we elektrik geçirilişligi zerarly bolýan ýitgilerden has köp bolýar. $tg\delta$ burçy ulalýar we fm ýygylýkda maksimuma ýetýär, bu ýerde $\tau \frac{1}{2f}$ ýygylýkda malekulalar öwrülmän ýetişmeýärler, şoňa görä- de I_{abc} togy kemelýär $tg\delta$ burçy bolsa kiçelýär.

3.2. Özüňi barlamak üçin gönükme

1. Izoliýasiýa goýlan naprýaženiýa ýokarlananda gaz garnuwly guýma elektrik izolirleýjiniň $tg\delta$ nähili ütgýär:

- 1) käbir naprýaženiýa çenli hemişelik bolar, soňra artyp başlar;
- 2) naprýaženiýanyň kwadratyna proporsional artar;
- 3) naprýaženiýanyň ýokarlanmagy bilen çyzykly artar, soňra bolsa barha çalt artar;

Deň gelip çykýar

- 4) $tg\delta$ ütgemegine baglylykda ütgär;

5) artar, soňra bolsa hemişelik bolup galar.

2. Dielektrikleriň haýsy biriniň $\text{tg}\delta$ bahasy iň kiçi baha eýedir we ol ýokaryýyglykly materýal hökmünde peýdalanylyp biliner:

- 1) poliwiniehlid;
- 2) getinens;
- 3) polistirol;
- 4) polietilenterftalat (lawsan);
- 5) elektrotehniki forfor.

3.3. Mysallar

1. Eger dielektrikgiň gaty palimerlere degişlidir belli bolsa, onda dielektrik syzyjylygy 3.3 deň bolan dielektrigi çalyşmaklygyň elektrik shemasyny hem – de onuň toklarynyň wektor diagrammasyny çyzyň. $\text{tg}\delta$ burçuň bu ýagdaýyndaky umumy aňlatmasyny ýazyň.

Jogap: eger polimerden bolan gaty dielektrigiň dielektrik syzyjylygy 3,3 deň we polimerkeşiş reaksiýasy arkaly alynýan polýa däl gaty polimeriň dielektrik syzyjylygynyň bahasynyň 2,8 kiçidigi belli bolsa, onda seredýän materialymyzyň polýar jisimidigi hakynda netije çykaryp bileris. Diýmek, ondaky dielektrik ýitgileri zowwali geçirijilik tog bilen şeýle hem dipol polýarlanmasyna ýitgiler bilen kesgitlenilip biliner. Ütgeýän naprýaženiýada dipol polýarlanmasy dielektrigiň üstünden aktiw we reaktiw düzüjileri bolan absorbsia I_{abc} togynyň akyp geçmekligine alyp barýar. Şoňa görä – de, şeýle dielektrigiň sadalaşdyran çalyşma shemasy dielektrigiň üstünden geçiriji togyň we süýşme togyň oky geçýädigini häsýetlendirýän parallel birleşdirilen aktiw garşylyk we sygym görnüşinde görkezilip biliner, şeýle hem absorbsiýa togynyň yzygider birikdirilendir aktiw garşylykdan we sygymdan düzülen zynjyrdan durýandyr.

Zowwam geçirijilige we polýarlanma ýitgilidielektrigiň çalyşma shemasy we tolaryň olara geçişli wektor diagrammasy 8- nji suratda görkezlen. Absorbisiýa togynyň aktiw we reaktiw düzüjileriniň barlygy sebäpli, bu ýagdaýda dielektrik ýitgisiniň tangens burçy üçin aňlatmany aşakdaky ýalyýazmak bolar.

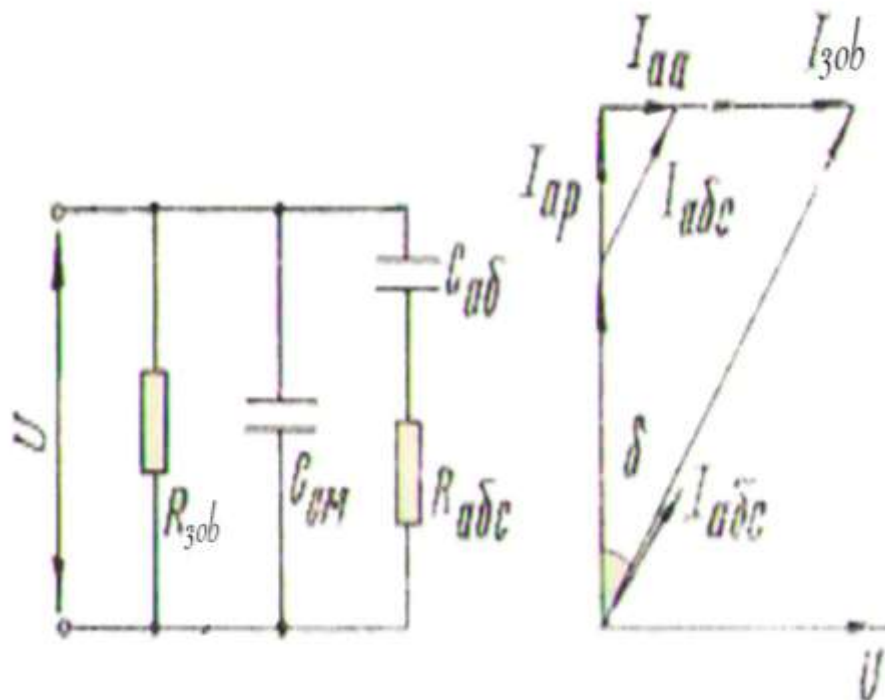
$$\text{tg}\delta = \frac{I_a \cdot a + I_{zow}}{I_{cm} + I_{a \cdot p}} = \frac{I_a}{I_p}.$$

2.. Polietileniň $\text{Tg}\delta$ burçynyň temperatura baglylygynyň takmyny grafigini çyzyň we ony düşündiriň.

Jogap: polietilen polimerleşme reaksiýasynyň netijesinde alynýan dielektrik bolup, polýar däl polimerde degişlidir.

Diýmek elektrik meýdanyna ýerleşdirilen polietilenda diňe ýitgisiz bolup geçýän elektron polýarlanma bolar. şeýlelikde, polietilenden ujypsyzja ululykly zowwam geçirijilik togy okyň geçende ýitgi ýüze çykyp biler.

Şoňa görä-de, polietilenden edilen dielektrikli kondensatorny çalyşmanyň elektrik shemasy we toklaryň wektor diagrammasy 3.2g punktada getirilene meňzeş bolar.



8 nji surat

tg δ burçuň temperatura baglylygynyň aňlatmasyny aşakdaky gatnaşykdan alarys

$$\operatorname{tg} \delta = I_a / I_c = \gamma_a / \gamma_c$$

Udel geçirijiligiň temperatura baglylygynyň 2.1ž punktda berlen aňlatmasýndan peýdalanyp

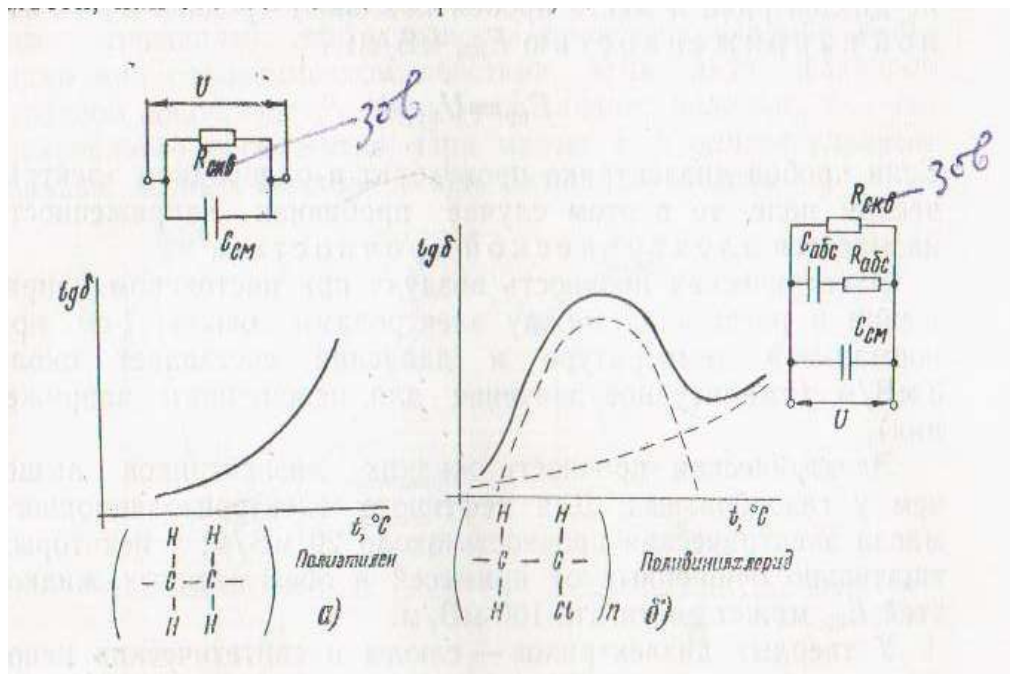
$$\operatorname{tg} \delta = (\gamma_o / \gamma_c) \exp(-w / \kappa T) = \operatorname{tg} \delta_o \exp(-w / \kappa T).$$

Temperatura bagly bolmadyk γ_o / γ_c köpeldijini $\operatorname{tg} \delta_o$ bilen aňladalyň. Şeýlelikde, 9-njy a suratda görkeziji ýaly politileniň tg δ burgy temperaturanyň artmagy bilrn eksponenta boýunça zawwam geçirijilik toklarynyň artmagynyň hasabyna öser.

3.Poliwinilhloridiň dielektrik ýitgisiniň tanges burçunyň temperatura baglylygynyň mysaly grafigini çyzyň we ony düşündiriň.

Jogap. Poliwinilhlorid polimirleşme reaksiýanyň netijesinde alynýar we onuň dielektrik syzyjylygynyň bahasy üçden ýokarydyr. Poliwinilhloridiň molekulýarynyň zwenasy polietileniň molekulasygynyň zwenosyndan wodorod atomlarynyň biri hloryň polýar radikaly atomy bilen garşylygy bilen struktura ýagny elektrik babatda dipol momentiniň barlygy häsiýetli bolan asimetric bilen tapawutlanýar. Bularyň hemmesi poliwinilhloridiň polýar dielektriklere degişlidigini görkezýär. Olardaky dielektrik ýitgi zawwam geçirijilige we dipol polýarlanmasyna bolan ýitgileriň jeminden ybaratdyr. Şoňa göre-de, poliwinilhloridiň dielektrik ýitgisiniň tanges burçunyň temperatura baglylygynyň 9-njy 6 suratda görkezilen grafiginde zowwam geçirijilik togynyň artmagynyň

hasabyna tgδ burçunyň soňky ösüşi netijesinde dipol polýarlanma bilen şertlenen maksimuma gözegçilik etmek bolýar.



9-njy surat

§4. Dielektrigiň böwsülmesi.

a) dielektrigiň böwsülme naprýaženiýasy we elektrik berkligi diýip näme aýdylýar? Dürli tipdäki dielektrikler üçin elektrik berkliginiň takmynan bahasy nähilidir?

Dielektrige goýlan elektrik meýdany belli bir güýjenmä ýetende onuň garşylygy toguň dykzlygynyň böküp-(bir sydyrgynsyz) artýandygy sebäpli birden pese gaçýar, dielektrik nusga bolsa oňat geçirijä öwrülýär ýöne ol nusga tutuşlygyna däl-de onda böwsülme netijesinde emele gelen insiz zolak (kanol) oňat geçiriji bolýar. Ol zologa böwüsme kanoly diýilýär.

Ýüze çykýan hadysa bolsa dielektrigiň böwsülmesi diýilýär. Gaty dielektrikleriň böwsülen ýeri zaýalanýar, ýagny ony täzedan dielektriklemek mümkin bolmaýar.

Böwsülme pursatynda izolirleýjä çatylan naprýaženiýanyň iň ýokary bahasyna böwüsme $I_{\text{бөw}}$ naprýaženiýansy diýilýär. Böwüsme naprýaženiýansynyň dielektrigiň böwsülen ýeriniň galyňlygyna bolan gatnaşygyna orta böwüsme $E_{\text{бөw}}$ naprýaženiýansy diýilýär

$$E_{\text{öw}} = I_{\text{öw}}/d \text{ (mB/m)}.$$

Eger dielektrigiň böwsülmesi birmeňzeş elektrik meýdanynda bolup geýýän bolsa, onda bu ýagdaýda böwüsmе güýjenmesine elektrik berklik diýilýär.

Normal temperatura, basyşda, hemişelik naprýaženiýada we elektrodларыň arasyndaky aralyk 10cm ýakyn bolanda, howanyň elektrik birikmegi 3mB/m üýtgeýji naprýaženiýa üçin ampletudanyň bahasy töweregidir.

Suwuk dielektrikleriň elektrik berkligi gaz hanynyndakydan ýokardadyr. Nebitçilikde peýdalanylýan elektrik izolirleýji ýagyň elektrik berkligi 20m B/m töweregidir. Galyndylardan we gazlardan örän oňat arassalanan käbir suwuklyklaryň Ýöb bolsa 100 mB/m ýetýändir.

Smoda we polýardäl sintetiki polimer ýaly gaty dielektrikleriň Ýöb 50-den 100 mB/m çenli aralygynda ýatandyr. Aýna we gatlak–gatlak görnüşli birhilli dykyz dielektrikleriň, meselem, aýna siňdirilen kagyzyň Ýöb 100-300 mB/m bahasyny alyp biler.

$\sqrt{2}$ δ) Gaz we suwuk halyndaky dielektrik böwsülme güýjenmesiniň bagly bolan esasy faktorlary hakynda aýdyp beriň.

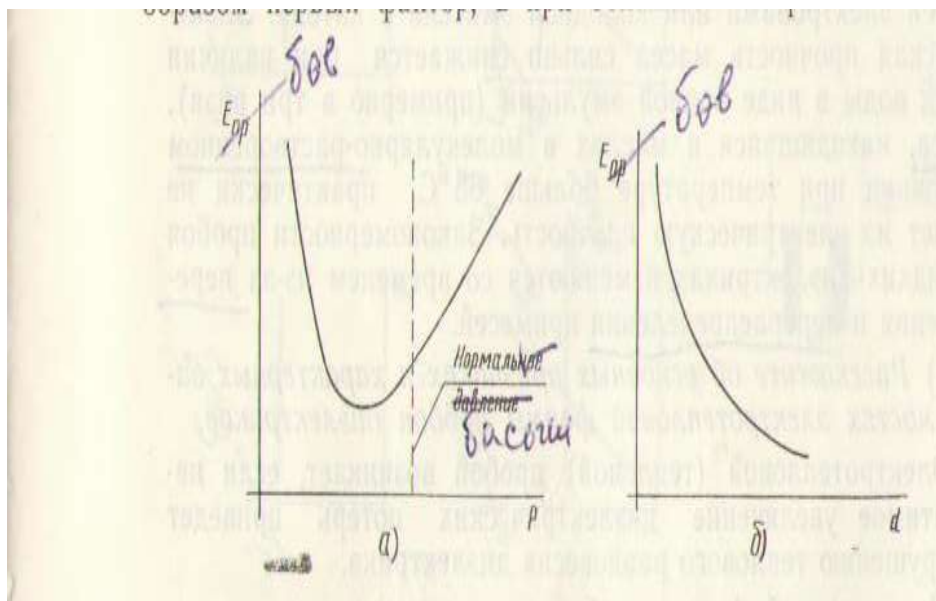
Gazlaryň elektrik berkligi basyşa örän baglydyr (10-nji surat). Basyşyň artmagy bilen başda elektrik berkligi elektronlaryň gazyň molekulalary bilen çaknyşmak ähtimalygynyň ýokarlanmagy sebäpli kemelýär (peselýär), soňra ýokary basyşda gazyň basyşynyň bilen elektronlaryň erkin ylgawynyň yzygiderliginiň kemelýändigini sebäpli ösüp başlaýar.

Elektrodларыň arasyndaky aralyk kiçeldilende erkin ylgawyň uzynlygyna elektronlaryň gazyň molekulalary bilen çaknyşmak ähtimalygynyň peselýändigini sebäpli gazlaryň Ýöb artýar. (10-njy δ surat).

Bir hilli elektrik meýdanynda U öb böwsülme naprýaženiýasynyň gazyň P₂ bahasynyň zarýadlanma aralygynyň h uzynlygyna köpeltmek hasyllyna baglylygy V E öb (P₂) baglylykdaka ýalydygy eksperimental kesgitlenen hem-de U-görnüşli häsiýete eýedir we Paşýeniň kanuny diýen at bilen bellidir.

Paşeniň egrisiniň gidişi hil taýdan iki faktoryň täsiri bilen düşündirilýär:

- 1) Elektronlaryň çaknyşmasynyň ýoluň uzynlyk birligine düşýän orta sany bilen;
- 2) Elektronlaryň atom ýa-da molekula bilen çaknyşmagy ionlaşmak bilen tamamlanmagy ähtimaldyr P_r we h dürli diapazynda şu faktorlaryň ikisi hem bir wagtda täsir edende urgy ionlaşma prosseniniň netijeliligi gaz zarýadlanma wagtyndaky U öb ululygyny şertlendirýär. P_r we h kiçi bahalarynda esasan birinji faktor. Uly bahalarynda bolsa ikinji faktor täsir edýär.



10-njy surat

Gazlaryň böwsülme naprýaženiýasynyň elektrik meýdanynyň bir hillik derejesi (formasy) güýçli täsir edýär. Bir hilli däl elektrik meýdanynyda gazyň böwsülmesiniň oň ýanynyda zaryadsyzlanma wagtyndaky böwsülme güýjenmesini kemeldýän elektrik täç zaryadsyzlanmasy ýüze çykýar. Hemişelik elektrik meýdanynyda gazlaryň böwsülmesi aşakdaky ýagdaýlarda ýeňilleşýär, eger poližitel polýarlygy bolan elektrodyň ýanynda elektrik meýdany çürt – kesik bir hilli bolmadyk ýagdaýda sebäbi položitel ionlardan ybarat (düzülen) položitel göwrüm zaryady meýdanyň güýjenmesiniň has uly ýerinde ýagny iňňäniň ujynyň töwereginde lokalizitlenýär (toplanýar, jemlenýär) we wagtyň geçmegi bilen otrisatel zaryadlanan elektroda (tekizligiň) tarap ösýär.

Iňňäniň ujynyň polýarlygy otrisatel bolanda göwrüm zaryady tekiz elektrodyň ugry boýunça elektrik meýdany peseldip böwsülmäniň ösmegine päsgelçilik berer.

Iňňe – tekizlik görnüşli elektrod ulanylyp hemişelik naprýaženiýa bilen suwuk dielektrikler böwsülende ýokardaka meňzeş hadysa gözegçilik edilýär. Suwuk dielektrikleriň böwsülme mehanizimine, täzedan ýaýrap böwsülmäniň ösmegini ýeňilleşdirýän geçiriji köprüleri emele getirmekligi başaryan özge garyndylar ýagny gaz düwmejikleri, gaty jisimleriň bölejikleri, süýümjagazlar, çañjagazlar özleriniň güýçli täsirini ýetirýär. Garyndylar bilen hapalanan suwuk dielektrikleriň böwsülmesi adatça ýylylyk häsiýete eýedir. Garyndylardan oňat arassalanylan elektrik izolirleýji suwuklyklarda elektronlaryň ugry ionlaşmasynyň ýa-da katodyň suwuk emisiýasynyň hasabyna böwsülmäniň elektrik formasyna gözegçilik edilýär.

Düzümünde suwly emulisiýa görnüşünde suw bolanda ýaglaryň elektrik birikligi örän peselýär, meselem üç esse, ýaglaryň düdzümindäki suw molekulýar-egri ýagdaýynda 65°C-den ýokary temperaturada ýagynyň elektrik berkligine praktiki

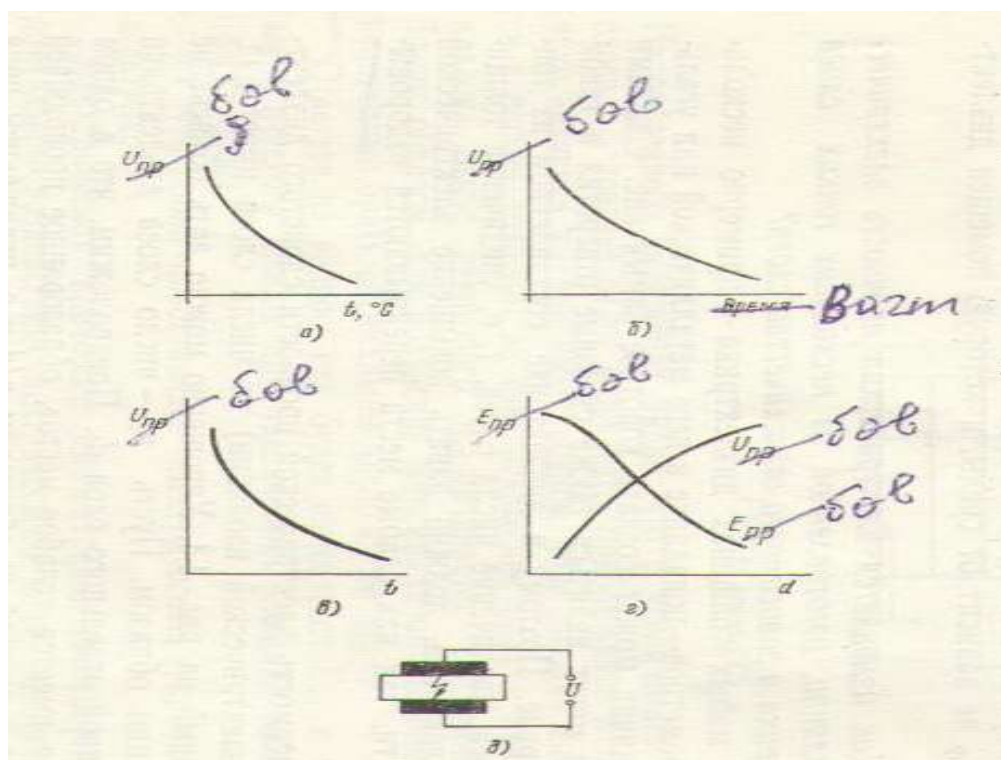
taýdan hiç hili täsir etmeýär. Suwuk dielektrikleriň böwsülmesiniň kanuna laýyklyklary garyndylaryň ornyny üýtgedýändigini we ýañadan bölünýändigini sebäpli wagtyň geçmegi bilen üýtgeýär.

6. b) Dielektrikleriň böwsülmesiniň elektrik ýylylyk formasynyň esasy nyşanlary we häsiýetli baglanşyklary barada aýdyp beriň.

Eger dielektrik ýitgisiniň öwrülişiksiz artmasy dielektrigiň ýylylyk deňagramlylygynyň bozulmasyna alyp barsa, onda elektroýylylyk (ýylylyk) böwsülmesi ýüze çykýar.

Gaty dielektriklerde böwsülmäniň ýylylyk formasy ýüze çykanda:

- Aktiv geçirijiligiň we dielektrik ýitgisiniň artýandygy sebäpli temperaturanyň ýokarlanýandygy üçin böwüsmä naprýaženiýasy kemelýär



11-nji surat

- Naprýaženiýanyň goýulýan wagtyň artmagy bilen böwüsmä naprýaženiýasy kemelýär. Sebäbi dielektrigiň gyzmagy bilen baglanşykly bolan elektroýylylyk prosesi kesgitli wagtda talap edýär (11-nji δ surat)
- Ýygylgyň kwadratyna proporsional bolan dielektrik ýitgisiniň köpeldilendigi sebäpli elektrik meýdanynyň ýygylgynyň artmagy böwüsmä naprýaženiýasyny kiçeldýär (11-nji b surat);
- Dielektrigiň galyňlygynyň artmagy bilen onuň içki gatlaklardan ýygylgyň alynan gidilşiginiň erbetleşýändigini sebäpli dielektrigiň $E_{\delta ep}$ elektrik berikligi peselýär (11 – nji G surat);

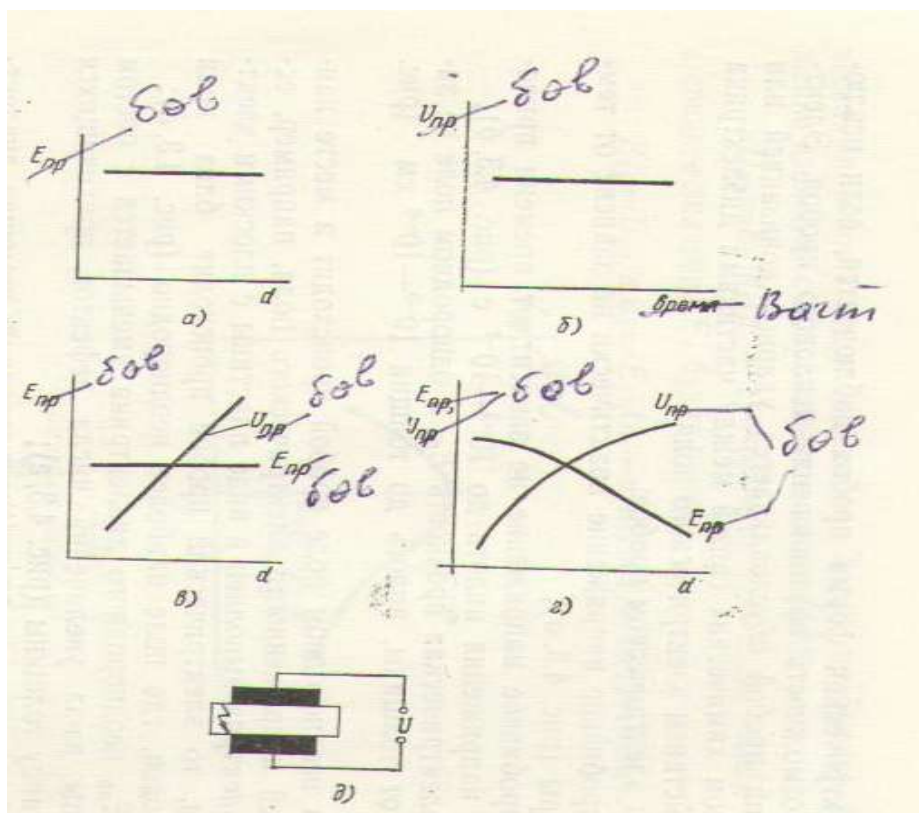
- Dielektrikgiň gurşanalan howa bilen iň erbet ýylylyk berýän ýeri böwsülýär, meselem, tekiz elektrodly plostina görnüşli dielektrikgiň merkezi böwsülýär (11-nji d surat).

7. g) Gaty dielektrikleriň böwsülmeginiň elektrik formasynyň esasy nyşanlary barada (hakynda) aýdyp beriň.

Eger böwsülmäniň ýylylyk formasynyň ýüze çykmaklygyna ýol bermese, onda böwsülmäniň elektrik formasyna gözegçilik edilýär. Elektrik böwsülmesi urgy ionlaşmasy ýa-da elektrik meýdanyň täsiri astynda dielektrikgiň bölekikleriniň üzülmegi bilen şertlendirýär.

Elektrik böwüsmesinde:

- böwüsmä naprýaženiýasy praktiki taýdan temperatura bagly däldir (12-nji a surat):



12-nji surat

- böwüsmä naprýaženiýanyň näçe wagt goýulýandygyna tä 10^{-6} - 10^{-7} s çenli bagly däldir (12-nji d surat):
- bir hilli meýdanda E şer elektrik berkligi galyňlyga tä 10^{-5} - 10^{-6} cm çenli bagly däldir (12-nji b surat):
- bir hilli däl meýdanda elektrik meýdanynyň has güýçli ýerinde böwsülme bolýar, meselem, eger dielektrik tekiz elektrodly plastina görnüşde taýýarlanylman bolsa, onda onuň elektrik meýdanynyň has bir hilli däl ýeri, ýagny elektrodларыnyň gyrasyna ýakyn ýeri elektrik böwsüleri (12-nji d surat):

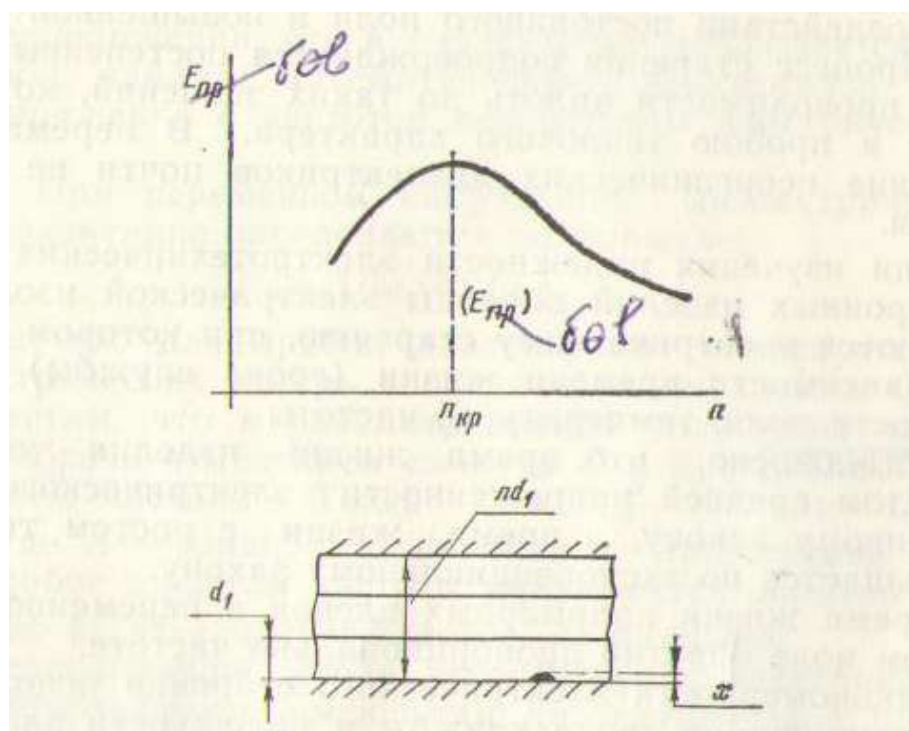
- galyňlyk birligine düşýän şikesleriň sanynyň artmagy netijesinde bir hilli däl dielektrigiň E şer galyňlygynyň artmagy bilen kemelýär. (12-nji ç surat):
 - dielektrigiň E şer okuň ýerleşdirilen sredasyna bagly dälir.
8. d) Dielektrigiň birnäçe ýuka gatyndan ýasalan elektrik izolirleýjiniň elektrik berkligi şol gatlaklaryň sanyna baglylykda nähili üýtgeýär?

Dielektrigiň kiçi galyňlyklarynda, meselem galyňlygy birnäçe mikrometr bolanda oňa metal bölejiginiň ýa-da kömür tozanjygynyň düşmegi gysga utgaşmany döretmegi mümkin. Şeýle hem zowwam deşikler şunuň ýaly dielektrikleriň gowşak tarapy bolup biler. Şoňa göräde ýuka gatlaklardan düzülen dielektriklerden gatlaklaryň sanynyň artdyrylmagy dielektrigiň galnamagyna ýagny elektrik berkliginiň artmagyna mümkinçilik berýär, sebäbi onuň şokes ýerleri abat (sagdyn) gatlak dielektrigiň (elektrik izolirleýjiniň) elektrik berkliginiň gatlaryň sanyna baglygynyň grafigi 13-nji suratda görkezilen görnüşe eýedir. Oňa ýönekeý görnüşde aşakdaky ýaly düşündiriş bermek bolar. Goý bir gatynyň galyňlygy d_1 bolan dielektrigiň gatlarynyň sany n_r bolsun. Gatlarynyň birisinde x galyňlykly geçiriji bölejik bilen emele getirilen “gowşak ýer” bar diýip çak edip $x/d_1 = a$ belläliň şunda bölejigiň meýdanyndaky ýoýulmany hasaba almaýarys. En-abat (sagdyn) gatlaryň elektrik berklige diýip çak edeliň. Onda harplanan (zaýalanan) gatlakly izolirleýjiniň böwüsme naprýaženiýasy aşakdaky ýaly bolar.

$$U_{b\ddot{o}w} = E_n \{ d_1 (n_r - 1) + (d_1 - a d_1) \} = E_n (n_r - a) d_1$$

E_n orta bahasy aşakdaka deňdir.

$$E_{bir} = U_{b\ddot{o}w} / n_r d_1 = E_n \cdot (n_r - a) d_1 / n_r d_1 = E_n (1 - a) n_r.$$



13-nji surat.

Soňky aňlatmadan görnüşi ýaly gatlaryň sanynyň artmagy bilen E_{ber} orta bahasy öser hem-de E_n bahasyna ýakynlaşar. Oklatkanyň gýralaryndaky meýdanyň ýolunýandygy üçin galyňlygyň ösmegi bilen E_n ululygy bir hilli däl meýdanda kemelmelidir. p_{kr} käbir bahasyndan ýokary bahada E_{ber} bahasy peselip başlaýar. Şeýlelikde, E_{ber} maksimal bahasyny almak üçin p_{kr} gatlaklaryň optimal salymy almak zerurdyr.

Elektrik izolirleýji materiallarda böwsülme onuň iň gowşak ýerinde ýüze çykýar. Bu elektrik izolirleýji materiallarda geçirýän, strukturasynyň bozulan, başga fazanyň bar, elektrik babatda has gowşak, meselem, gaz garyndysy we ş.m. bolan ýerinde bolup biler. Elektrodларыnyň ýa-da elektrik izolirleýjiniň özüniň üstüniň бүдүр-сүдүрлігі sebäpli elektrik meýdanynyň bir hilliliginde hem gyşarma bolup biler çünki ideal tekiz üsti almak mümkn däldir. Elektrik izolirleýji materiallarda şunuň ýaly bir hilliliginiň bozulmak ýa-da gowşamak ýeriniň bolmak ähtimalylygy eletrodларыnyň meýdany näçe uly bolsa şonça hem ýokarydyr. Şoňa görä-de, galan şertleri bir meňzeş bolup diňe elektrodларыnyň meýdany uly bolan dielektrigiň elektrik berkligi elektrodynyň meýdany kiçi dielektrigiňkiden pesdir.

9. e) Dielektrigiň elektrik garamasy nämädir!

Dielektriklere uzak wagtlap elektrik meýdany täsir edende esasan hem ýokary temperaturada, onuň elektrik berkligi peselýär.

Şeýle prosesde dielektrikleriň elektrik garama prosesi diýilýär. Üýtgeýän elektrik meýdanynda organiki dielektrik has çalt harap bolýar. Bu gaz we suwuklyk

öýjüklerinde ýüze çykýan bölekleyin zarýadsyzlanmanyň täsiri bilen baglanşyklydyr. Bölekleyin zarýadsyzlanmanyň täsiri astynda polimeriň üsti bölegi haraplanýar, ýagny eroziýa bolýar. Organiki däl dielektrikler hem garaýarlar.

Ýöne olarda garamak prosesini hemişelik meýdanyň täsiri bolanda we ýokary temperaturada has äşgär görünýär. Garamak prosesini geçirijiligiň ýuwaş-ýuwaşdan öwmesigini şeýle bir baha çenli üpjün edýär. Ol bahada bolsa ýylylyk bwüsmesi bolup geçýär. Üýtgeýän meýdanda organiki däl dielektrikleriň garamasy galapyn ýüze çykýar.

Elektrotehniki we radioelektroniki önümleriň ygtybarlygyny öwrenmek üçin elektrik izolirleýlileriň nusgalaryny elektrik garamasyna sezewar edilýär. Şonda nusganyň işläp biljek möhletiniň meýdanyň güýjenmesine, temperatura, ýygylýga baglylygy derňelýär (barlanylýar).

Elektrik meýdanynyň orta güýjenmesiniň derejeli kanun boýunça ösmegi bilen bölümiň işläp bilmek möhletiniň kemelýändigini takyklanylýan, temperaturanyň ýokarlanmagy bilen önümiň işläp bilmek möhleti ýekepotensial kanun boýunça kemelýär.

Üýtgeýän elektrik meýdanynyndaky polimer plýonkanyň hyzmat edişi möhleti ýygylýga ters proporsionaldyr.

Elektrik garamaklygyň kanuna laýyklyklary dürli önümleriň elektrik izolirleýjisiniň işläp bilmek (hyzmat ediş) möhletini we ygtybarlygyny prognazirlmek üçin peýdalanylýar.

4.2. özüni barlamak üçin gönükmek

1. Bir hilli dielektrigiň galyňlygynyň artmagy bilen elektrik berkligi bir hilli elektrik meýdanynynda böwsülmäniň elektrik formasynda nähili üýtgeýär:

- 1) Kemelýär;
- 2) Üýtgeýär;
- 3) Artýar;
- 4) Çyzykly ösýär, soňra hemişelik bolup galýar;

2. 1-nji bölümdäki sorag, ýöne böwsülmäniň ýylylyk formasy üçin.

3. 2-nji bölümdäki sorag, ýöne bir hilli däl dielektrik üçin.

4. 1-nji bölümdäki sorag, ýöne gatlak-gatlak dielektrik üçin.

5. 1-nji bölümdäki sorag, ýöne bir hilli däl meýdanda ýerleşdirilen bir hilli däl dielektrigiň elektrodларыnyň uly meýdany üçin.

6. 1-nji bölümdäki sorag, ýöne elektrodларыň uly meýdany üçin.

1. Dielektrikde ýylylyk böwsülmesine gözegçilik edilýär diýip çak edip, böwüsme naprýaženiýasy bilen üýtgeýän elektrik meýdanynyň ýygylgynyň arasyndaky matematiki özara aragatnaşygy tapyň.

Jogap! Dielektrigiň üýtgeýän naprýaženiýasyndaky dielektrik ýitgisi aşakdaky formula boýunça kesgitleýärler.

$$P \sim = U^2 w \cdot c \cdot tg \delta.$$

Dielektrigi böwürmek üçin dielektrik ýitgisiniň hasabyna $Q_{b\ddot{u}w} = P \sim$ elektrik kuwwaty gerek diýip pikir edileň. Ýygylgyň garalýan diopozonda ýygylgy üýtgeýän dielektrigiň C sygymynyň we tanges δ burçunyň üýtgeýişini hasaba almasada bolar. onda $Q = U_{b\ddot{u}w}^2 \cdot f \cdot A$ ýa-da $U_{b\ddot{u}w} = \sqrt{Q} / \sqrt{A \cdot f}$, bu ýerde $A = \text{const}$, ýagny ýylylyk böwsülmesinde böwürme naprýaženiýasy ýygylgyň artmagy bilen \sqrt{f} ters proporsionallykda kemelýär, şonuň şeýledigi hem praktikada tassyklanýar.

2. Dielektrik syzyjylygy 4 we 16 deň bolan elektrik izolirleýji proklatkaly gurluşda ýylylyk böwsülmesi bolup geçýär diýip çak edeliň. Özge şertleriň deň ýagdaýynda nähili dielektrigiň pes naprýaženiýada böwsüljekdigini kesgitleň?

Jogap. Gaty dielektrikleriň böwsülmesiniň elementar ýylylyk teorasýndan böwürme naprýaženiýasynyň $E^{-1/2}$ proporsional boljakdygy, ýagny $E = 16$ deň bolan elektrik izplirleýji materialy $E = 4$ deň bolan materiala garanynda iki esse kiçi naprýaženiýada böwsüp bolýandygy gelip çykýar. Eger öňki mysaldaky ýaly dielektrigiň üýtgeýän naprýaženiýadaky dielektrik ýitgisine seredilse ýokardaky ýaly netijä gelmek bolar.

3. Ýylylyk böwsülmesinde dielektrik nusgalaryň böwsülme naprýaženiýasy näçe esse üýtgär, eger ilkinji synag 100 Gs ýygylgyda, soňky synag bolsa 10 kGs ýygylgyda geçirilen bolsa

Jogap. Ýylylyk böwsülmesinde öwürme naprýaženiýasy kwadrat tok astyndaky ýygylgyga ters proporsionallygy üçin, ýokary ýygylgyda böwürme naprýaženiýasy 10 esse kiçi bolýar.

Gönükmeleriň jogaplary

1-nji babyň 2-nji poragryfyndaky soraglaryň dogry jogaplary: 1-nji soragyňky 3-nji; 2-nji soragyňky 4-nji; 3-nji soragyňky 3-nji

2-nji babyň 2-nji poragryfyndaky soraglaryň dogry jogaplary: 1-nji soragyňky 3-nji; 2-nji soragyňky 3-nji soragyňky 2-nji we 3-nji; 4-nji soragyňky 1-nji we 3-nji.

3-nji babyň 2-nji poragryfyndaky soraglaryň dogry jogaplary: 1-nji soragyňky 4-nji; 2-nji soragyňky 5-nji; ýitgi şeýle bir ýygylgyga çenli ösýär, aşakda hem tandens δ burç maksimuma eýe bolýar, soňra bolsa hemişelik bolup galýar, sebäbi naprýaženiýanyň kwadratyna proporsionaldyr; 3-nji soragyňky 3-nji.

4-nji babyň 2-nji poragryfyndaky soraglaryň dogry jogaplary: 1-nji soragyňky 2-nji; 2-nji soragyňky 1-nji; 3-nji soragyňky 1-nji; 4-nji soragyňky 5-nji; 5-nji soragyňky 1-nji; 6-nji soragyňky 2-nji jogap.

Bölüm II. GEÇİRİJİ MATERIALLAR

§ 1. Geçirijiler hakkında umumy maglumatlar.

Geçiriji materiallar hökmünde gaty jisimler, suwukluklar we gazlar ulanylyp bilner.

Elektrotehnikada gaty jisimleriň arasynda has köp ulanylýany metallar we splawlardyr.

Materialyň elektrik toguny geçirijiniň ölçegi bolan häsiýetnemesy udel elektrik geçirijilik diýip atlandyrylýar. Iş ýüzünde köplenç bu häsiýetnama ters bolan “ ρ ” udel elektrik garşylyk ululygy ulanylýar.

“ ρ ” udel elektrik garşylygy boýunça geçiriji metallary iki sany esasy topara bölmek bolýar: normal temperaturada “ ρ ” ululygy 0,05 m-den uly bolmadyk ýokary geçirijilikli metallar hem-de şol şertlerde “ ρ ” ululygy 0,3 mko_m m-den az bolmadyk ýokary garşylykly metallar we splawlar. Birinji toparyň geçiriji materiallary, esasan sargy we montaj simlerini, dürli maksatly jaý kabellerini, şinalary we ş.m. ýasamak üçin ulanylýar. Ikinji toparyň geçiriji materiallary rezistorlary, elektroglyzdyryş enjamlary, nakal lampalarynyň simlerini we ş.m. öndürmekde ulanylýar.

Kriogeçirijiler we güýçli geçirijileriň aýratyn topary düzýärler – bular absolýut nula ýakyn temperaturada örän kiçi udel elektrik garşylygy bolan materiallardyr.

Suwuk geçirijilere, düzgün boýunça, eredilen metallar we dürli elektrolitler degişlidir.

Köp metalla ýetelik derejede ýokary ereme temperaturalarda suwuk geçiriji bolup durýarlar. Metallaryň içinde diňe, ereme temperaturasy (-39° C) golaý bolan simap normal temperaturada suwuk geçiriji hökmünde ulanylyp bilner.

Gaty we suwuk ýagdaýda metallaryň elektrogeçirijiliginiň mehaniziminiň, elektrik meýdanyň täsiri astynda erkin elektronlaryň ugrukdyran hereketi bilen şertlendirmegi sebäpli, olary elektron geçirijilikli geçirijiler ýa-da birinji derejedäki geçirijiler diýip atlandyrmak ýörgünlidir. Erginlerden, kislotalardan aşgar we duzlardan durýan ikinji derejeli geçirijilerde ýa-da elektrolidlerde toguň geçmegi, faradeýiň kanunlaryna laýyklykda maddanyň ioanlaryň elektrik zarýadlary bilen birlikde geçmegi bilen baglydyr. Şunlukda elektrolitiň düzümi kem-kemden üýtgeýär we elektrolitlerde elektroliziň düzümi kem-kemden üýtgeýär we elektrolitlerde elektroliziň önümleri bölünip çykýar. Eredilen ýagdaýyndaky ion kristallarynyň hem ikinji derejeli geçirijilere degişli bolýandygyny bellemek gerek.

Ähli gazlar buglar, şol sanda metallaryň buglary elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň pes ölçeglerinde geçiriji bolup bilmeýärler. Urguly we fotoionizasiýanyň başlangyjy şertlendirýän elektrik meýdanyň güýjenmesiniň käbir kritiki ölçegine ýetilende, gaz elektronlary we ionly elektrogeçirijilige eýe bolýar. Eger gaz güýçli ionlaşdyran bolsa, onda otirsatel zarýadly elektronlaryň sany položitel ionlaryň sanyna deň bolanda, maddanyň özboluşly „plazma“ adyny alan ýagdaýyny görmek bolýar.

§ 2 Geçiriji materiallara we olara haýsy materiallaryň laýyklygy hakyndaky talaplar.

Geçiriji materiallar , esasan, kabelleri we simleri ýasamak üçin ulanylýarlar. Bu materiallaryň şol bir wagtyň özünde birnäçe talaplara gabat gelmelidir:

1. ýokary udel geçirijiligi bolmaly;
2. ýylylyk geçirijiligiň koefisiýenti ýokary bolamly;
3. gaýtadan işlenende-de, ulanyşda meheniki agramlar berlende-de oňaýly meheniki häsiýetleri bolmaly;
4. aňsat we ygtybarly galaýylanmaly, kebşirlenmeli we ş.m.
5. arzan bolamly.

Häzirki wagtda bu talaplara arassa mis, arassa alýumin we olaryň splawlary has gowy gabat gelýärler.

Elektrik häsiýetleri nukdaýnazaryndan elektrotehniki mis gowy geçiriji bolup durýar. Ýumşak mis ýaşayyş jaý simleri we kabellerini, gaty mis troleýsimleri we elektrodwigatelleriň kollektorlaryny öndürmek üçin ulanylýar. Misiň splawlary hem gaty misiň ulanylýan maksatlary üçin ulanylýar, ýöne has jogapkärli ýagdaýda hem-de kontaktlar üçin ulanylýar.

Elektrotehniki alýuminini elektroperadaçalaryň howa linýalaryny ýasamak üçin, paýlaýjy enjamlarda kabelleriň transformatorlaryň, elektriki maşynlaryň, elektromagnitleriň we. ş.m-iň sargytlaryny ýasamak üçin ulanylýar. Şeýle-de ol konstruksiýa we goraýjy material hökmünde (galaýynyň ornuna kabel örtgüsi hökmünde) ulanylýar.

§ 3. Geçiriji materiallaryň esasy häsiýetleri.

Belli bir ulanylyşlaryna garamazdan, udel geçirijilik ýa-da oňa ters bolan ululyk – „ρ“ udel garşylyk geçiriji materiallaryň esasy we iň wajyp häsiýetleridir.

Bu ululyklaryň temperatura bagly bolanlygy sebäpli, ýene-de udel geçirijiligiň temperatura koefisiýentini ýa-da udel garşylygyň temperatura koefisiýenti. „T_{кр}“ ýa-da „α“ bilmek gerek, bu ululyklar şol baglylygyň häsiýetnamasy bolup hyzmat edýär.

Ulanyşda uly mehaniki agramlara sezewar edilýän geçiriji materiallar üçin olaryň mehaniki häsiýetleri örän wajyp bolup durýar – süýndürilende, gysylanda, egreldilende, süýşirilende, towlananda berklik, şonuň ýaly-da üzülen-de otnositel uzaltma, sürtülmä çydamlylyk, gatylyk we ş.m.

Aglaba metallar üçin Widemanýe – Frans - Lorensiň kanuny boýunça udel elektrik geçirijilik bilen bagly bolan ýylylyk geçirijilik koefisiýenti hem zerur parametr bolup durýar.

$$\lambda = \lambda_0 T^\gamma \quad (1)$$

Bu ýerde λ – ýylylyk geçirijilik koefisiýenti;

γ – udel elektrik geçirijilik;
 $L_o = 2.45 \cdot 10^{-8}$ – Lorensiň sany.
 T – termodinamika temperatura (abssalýut temperatura);

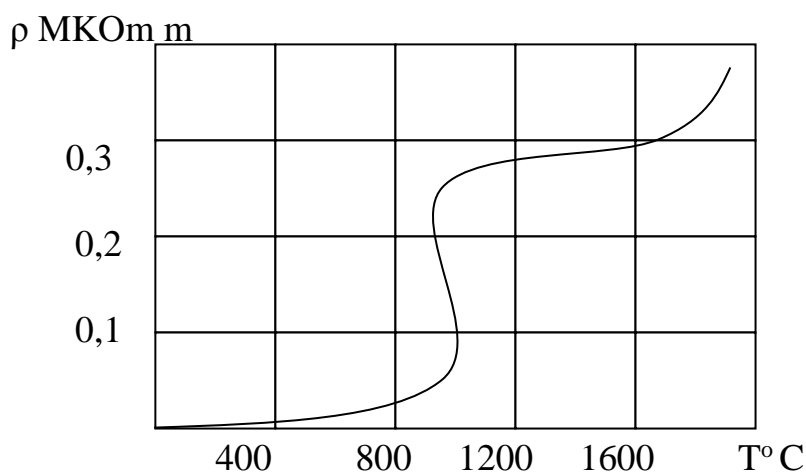
§ 4 Geçirijileriň elektrobeçirijiligi.

Metallaryň elektrobeçirijiligi elektrik meýdanyň täsiri bilen metalyň Kristal gözeneklerinde erkin elektronlaryň hereket etmäge mümkinçiligi bilen kesgitlenýär.

Kristal gözenekler, arasynda erkin elektronlar ýerleşen položitel ionlaryň ulgamyndan durýar. Bu elektronlaryň ähli ugurlar boýunça garşylyk ýylylyk hereketlerini ýerine ýetirýärler, şunlukda belli bir wagtda her bir elektron haýsy hem bolsa bir položitel iona ýakyn aralykda ýerleşýär. Ulgam bir bütewilik hökmünde elektriki taýdan neýtraldyr.

Eger bu ulgama daşky elektrik meýdan täsir etse, onda elektronlar elektrik meýdanyň ugrunyň garşysyna ugrugýan ýylylyk hereketiniň tizliginiň üstüne goýulýan goşmaça tizlige eýe bolýarlar. Hut şu goşmaça tizlik elektrik togunyň emele gelmegine sebäp bolýar we dreýf tizligi ýa-da göçme tizlik diýlip atlandyrylýar.

Daşky meýdanyň täsiri astynda elektronlar hereket edende, olaryň ýolunda olaryň hereketine päsgel berýän päsgelçilikler ýüze çykýar. Bu päsgelçilikler elektrik garşylygyň ýüze çykmagynyň fiziki sebäpleridir. Elektronlarynyň hereketine kristal gözenekleriň seplerindäki položitel ionlar we olaryň yrgyldysy päsgelçilik döredýär, bu yrgyldynyň amplitudasy näçe uly boldugyça temperatura hem şonça uly bolaýar. Munuň netijesinde temperatura ýokarlarda metalyň udel garşylygy artýar.



4.1 surat Misiň udel garşylygynyň temperatura göre baglylygy.

Päsgelçilige duş gelen elektronlar oňa özleriniň kinetiki energiýasyny berýärler. Şonuň üçin hem tok akyp geçende metel gyzýar. Şu ýagdaýda elektriki

energiýanyň ýylylyga öwrülýän bir bölegi Joule ýylylygy ýa-da Joule ýitgileri diýlip atlandyrylýar.

Her bir elektronyň çaknyşyklaryň we tizlikleriň arasyndaky ýoly dürlüdür, şonuň üçin hem erkin geçilen ýoluň ortaça uzynlygy we elektronyň göçmesiniň ortaça tizligi diýlen düşüňjeler girizilýär. Göçmäniň orta tizligi arkaly bu hadysanyň esasy häsiýetleriniň biri bolan elektronlaryň hereketliligi kesgitlenýär.

$$U = V_{or} / E \quad (2)$$

Bu ýerde U – elektronlaryň hereketliligi.

V_o - elektronlaryň göçmesiniň ortaça tizligi.

E – elektrik meýdanyň güýjenmesi.

Geçiriji materiallaryň elektrogeçirijiligi.

$$\sigma = \frac{q^2 n_0 \lambda}{2mV_y} \quad (3)$$

formula bilen kesgitlenip bilner. Bu ýerde:

q - elektronyň zarýady ($1,6 \cdot 10^{-19}$ kl)

n_0 – elektronlaryň konsentrasiýasy.

λ – elektronlaryň erkin geçen ýolunyň ortaça uzynlygy,

m – elektronyň massasy,

V_y – elektronyň ýylylyk hereketiniň ortaça tizligi.

Belli bir temperaturada dürli metallar üçin erkin elektronlaryň we olaryň garşylyk ýylylyk hereketiniň tizliginiň konsentrasiýasy az tapawutlanýar. Şonuň üçin udel geçirijiligiň ölçegi esasan, belli bir geçirijide elektronlaryň erkin geçen aralygynyň ortaça uzynlygyna baglydyr.

Öz gezeginde ýylylyk tizligi geçiriji materialyň gurluşy bilen kesgitlenýär. Mysal üçin, has dogry kristal gözenekli arassa metallarda udel garşylygyň ölçegleri minimal derejededir. Hem tersine, gözenekd egoşundularyň we şikesleriň bolmagy udel garşylygyň artmagyna getirýär.

Splawlaryň udel garşylygy, esasan, düzümindäki metallaryň gurluşynda goşundylaryň we bozulmalaryň bolmagy bilen kesgitlenýär. Hususanda ol; iki metel eredilende gaty ergin emele gelen wagtynda, ýagny ikisi bilelikde kristallaşanda birden artýar. Şeýle ýagdaýda bir metalyň atomlary beýleki metalyň kristal gözenegine getirýär.

Bölüm III. MAGNITLI MATERIALLAR

§1 Esasy häsiýetnamalary we synyplandyrşy.

Daşky magnit meýdanyň täsiri astynda duşup magnitlanan jisimler, ýörite magnit häsiýete eýe bolup magnitli diýip atlandyrylýar.

Esasy magnitli jisimler bolup demir, nikel, kobalt, we dury-arassa tehniki demiriň esasyndaky bölünýän dürli garylmalar (splawlar).

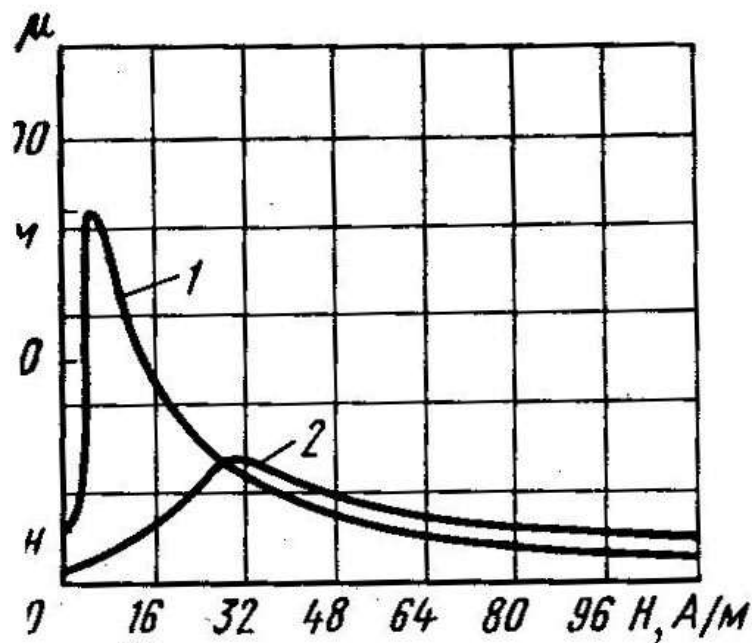
Magnitli materiallaryň häsiýetleri we magnitli häsiýetlenişi. Şu aşakdakylar bolup duryar.

Magnit geçirijiligi (prenetsaýemost) (otnositel magnit geçirijiligi) μ_r 619egsiz ululyk bolup durýar we absalýut girijiligi diýen düşüňjä girýär (GN/m):

$$\mu_a = \mu_0 \mu_r \quad (19)$$

bu ýerde μ_0 –Hemişelik magnit, $1,256637 \cdot 10^{-6}$ Gn deň bolýar.

Magnit geçirijiligi jisimiň magnitleniş, ukubyny kesgitleýär: näçe köp bolsa, şonça-da material ýeňil magnitlenýär we tersine , näçe ol kiçi bolsa, şonça-da az magnitlenýär. Magnit geçirijilik köp derejede ishen H güýjenmä bagly bolýar.



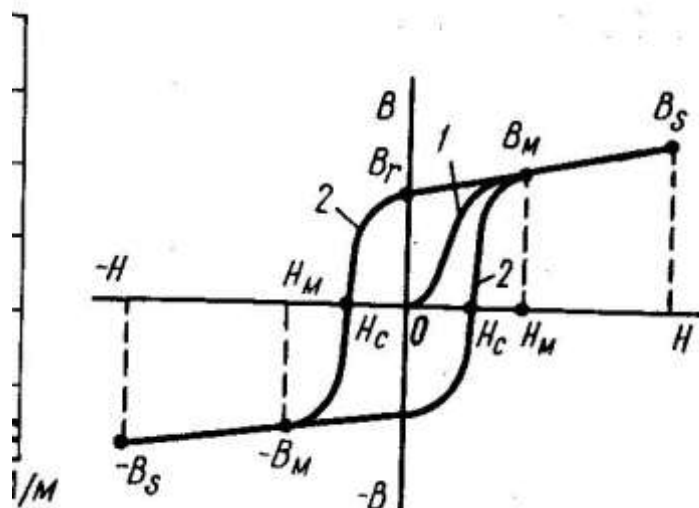
sur. 37 Magnit meýdanynyn güýjenmesinden magnit geçijiligiň baglylygy

Şonuň üçin materiallaryň magnitlanyş, ukubyny barlamak üçin başdaky magnit geçirijiligini M_{rH} we maksimal magnit geçirijiligini Möxgoz oňiinde tutmaly bolýar. Jisimiň ýokarda agzalan häsiýetnamalary näçe ýokary bolsa, sonça-da ol ýeňil magnitlenýär.

Haýsyda bolsa bir magnitli jisim öziinde magnitli häsiýetini diňe belli bir tempuratura çenli saklaýar - Kýuri O_K tempuraturasy, şol tempuraturasy, şol tempuratura ýetende jisimin magnit häsiýeti ýitýär we täzeden magnitlenip bilmeýär. Bu jisimiň atomlaryň we molekulalarynyň intensiw ýylylyk hereketiniň netijesinde içki bölümleriň (domenow) dezorientasiýasy bilen düşündirilýär.

Käbir perritlerin magnit häsiýetleri (ýa-da ýityär, we ş.m O_K -sy 1131° den bolan materiallarda (mysal üçin kabalt)

Magnitli jisimiň häsiýeti B_s induksiýa dogunlygy bilen anyklanýar, özüni alyp baryşyny magnit meýdanyndaky başlangyç magnitlanyş. gyşarmasy bilen häsiýetlendirilýär.



38 surat . Magnitlanyşyň başlangyç (1) gyşarmasy we gisterezisiň halkasy (2)

Bu gyşarma magnit induksiýasynyň (b) üýtgemesini görkezýär. Magnit jisimin naprýaženiýasyna (H) baglylykda: Başda magnit induksiýa ösýär, soňra onun osüş, i hapalanýar, B induksiýany bolsa doýgunlygyň induksiýasy diyip atlandyrylýar. Näçe B_s köp bolsa, sonça-da magnit materialyň özeni ýokary bolýar. Magnit induksiýasynyň 619eg birligi tesla (Tl) bolup durýar.

B_r galyndy magnit induksiýasy we H_c koersitiw guýy hem magnit jisimiň özenini häsiýetlendirýär. eger magnit jisimiň nusgasyny magnitlaşan, dynman magnit meýdanynyň H güýjenmesini ýokarlandyrmak arkaly, B magnit induksiýasy hem dynman magnitlanyş. gyşarmasy boyunça öser. Bu gyşarma „0“ nokadynda başlaýar we B_s duýgunlyk induksiýa baglylygyndaky nokatda gutarýar.

H güýjenmesiniň kiçelmeği bilen magnit induksiýasy hem kiçelip başlaýar, ýöne B_m -den başlap onuň bahasy başdaky magnitlanyş gyşarmasynyň häsiýetlendiriş bahasy bilen gabat gelmez we haçanda magnit meýdanynyň güýjenmesiniň bahasy nula deň bolanda, magnit jisimiň nusgasynda B_r galyndy magnit induksiýa ýüze çykyp başlaýar.

Nusgasynyň magnitlanyşy aýyrmak üçin magnit meýdanynyň güýjenmesiniň ugrunyň üýtgemesi (yza tarap üýtgemesi) gerek bolýar. $(-H)$ H_s meýdanyň güýjenmesindäki induksiýa nula deň bolan ýagdaýyna koesitiw guýy diýilýär.

Eger mundan son magnit jisimiň nusgasyny ters ugurda magnitlandyryp başlasaň, onda $(-B_s)$ doýgunlyk induksiýa ýiize çykyp başlar.

Mundan beýläk hem magnit meýdanyň güýjenmesini $H=0$ çenli peseldilse we ozalky ugurdaky täzeçe magnitlanyşda induksiýa dynman doýgunlyk B_s induksiýa çenli ulalar. Netijede yapyk halka emele gelýär, oňa predel ýa-da gisterezisiň statiki halkasy diýilýär. Gisterizisiň predel halkasy hemişelik magnit meýdanynyň $+H$ -dan $-H$ -a çenli haýallyk bilen üýtgedilende çykarylýar, magnit induksiýa deň bolanda.

Göniburçlyk kofisiýenti, gisterezisiň predel halkasynyň göniburçlyk derejesini häsiýetlendirýän formula aşadaky ýaly hasaplanýar.

$$a_{\pi} = B_r / B_T$$

Näçe uly bolsa, şonça-da gisterezis halkasy göniburç bolýar. Elektrik hasaplaýjy maşynlaryň ýatda saklaýjy enjamlarynda ulanylýan magnit jisimiň $d\phi/dt = 0.98$ den, başga jisimlerde bolsa bu has kiçi bolýar.

Şu wagta çenli bir hemişelik magnit meýdanda jisimlerini magnitlanyşy seredipdik. Üýtgeýän magnit meýdan jisime täsir edende magnitlanyşynyň dinamiki gyşarmasyny we gisterezisiň dinamiki halkasyny alarys. Dinamiki gyşarmanyň üstündäki induksiýanyň bahasynyň magnit meýdanynyň bahasyna bolan gatnaşygyna dinamiki magnit geçirijilik diýen anlatmany berýär.

$$M \sim B_{amp} / H_{ampi}$$

Pes yrgyldaly we inçe ýogynlykdaky magnit jisimiň dinamiki magnitlanyş gyşarmasy bilen gabat gelýär. Bu ýagdaýda degişli statiki magnitlanyş gyşarmasynyň tisti bilen anyklyanan dinamiki magnit geçirijiliginiň bahasy az temperatura bilen geçirijiligiň bahasyna gabat gelýär. Gisterizisiň dinamiki halkasynyň meýdany statika halkasyna garanynda uludyr, sebäbi üýtgeýän magnit meýdanynyň täsirinden başgada materialda (jisimde) gisterezis üçin ýitgi, köwülenme tok we magnit netijeleri we ýaly ýitgiler ýüze çykýar. PB köwülenme toklara bolan ýitgi magnit jisimiň P elektrik udel garşylygyna bagly bolýar: näçe garşylyk bolsa, şonça, hem köwülenme toklara bolan ýitgi maksimal magnit

$$W_m = B_d H_d / 2;$$

B_d we H_d - magnit meýdanynyň induksiýasy we degişlilikdäki maksimal udel göwrümleýin energiýasynyň güýjenmesi.

Magnit jisimleri magnit meýdanyndaky hereketlerine baglylykda yumşak magnitli we gaty magnitlere bölýärler.

Yumşak magnitli jisimler uly başlangyç we maksimal magnit geçirijilige we koerstiiv güýje eýedir ($H_c < 4 \text{ kA/m}$). Bu jisimler ýenil magnitlenýär we magnitlanyşdan aýrylýar we gisterezis tiçin az ýitgi sarp etmegi bilen tapawutlanýa, olara gisterezisin dar halkasy degişli bolýar.

Yumşak magnitli jisimleriň häsiýetnamasynyň derejesi, şol jisimiň we kristaliki suduryň bozulma derejesine bagly bolýar. Yumşak magnitli jisimde dürli garyndylar näçe az bolsa, şonça-da onuň häsiýetnamasy yokary bolýar. Näçe M_h we M_m köp bolsada şonçada H_c we gisterezis ýitgisi az bolýar. şonun üçin yumşak magnitli jisimleri öndürmek üçin, olaryň düzüminden erbet garyndylary aýyrmama çaslyşyrlar- kömür C fosfor P, kükürt S, kislorod O_2 , azon N_2 we dürli oksidler. Şol bir wagtyň ozunde jisimin kristaliki suduryň bozmazlyga we jisimin içki güýjenmesini oýarmazlyga çalyşyrlar. Yumşakmagnitli jisimler elektrik maşynlaryň serdeçniklaryny öndürilende ulanylýar. Transpormator rele we elektrik aparatlary ulanmak öndürmek üçin ulanylýar.

Gatymagnitli jisimler uly koersitiiv güýje ($H_c > \text{kA/m}$), galyndy induksiýa we gisterezisiň giň halkasy eýedir. Bu jisimler örän kynlyk bilen magnitlenýär, ýöne bir gezek magnitlense birnäçe ýylyn dowamynda öz magnit energiýasyny saklap bilýär. Hemişelik magnit meýdanyň çeşmesi bolup hyzmat edýär.

Gatymagnitli jisimleri köplenç hemişelik magnitlary öndürmek üçin ulanylýar.

Düzümi boýunça magnit jisimler meteliki we metelikidallere bölünýär. Metaliki magnit jisimlere arassa metallar (demir, kobalt, nikel) we kabir metallaryň magnit splawlary girýär, meteliki dällere bolsa ferritlar girýär.

§2. Magnitýumşak metally materiallar.

Elektrotehnikada ulanylýan esasy, magnitýumşak metally materiallar bolup permalloiler, alsiferlar we pes uglerodlanan polat kremnileri ulanylýar.

Permalloiler – nikeliň 36-dan tä 80% düzüminde saklaýan nikellenen demiriň plasdini eredilip seplenmesi. Ol ýa-da beýleki görnüşleriniň düzümininiň gowulandyrylmagy üçin olaryň düzümine molibden, hrom ýa-da mis (med) goşulýar. Bu metala başga bir metal goşup permalloi alynýar. Permaloiniň düzüminde nikeliň 36-50% saklanýanyňa pes nikellenen, 60-80% saklanýanyňa ýokary derejeli nikellenen diýip aýdylýar.

Ähli permalloiler ýokary magnit häsiýetleri bilen tapawutlanýarlar (20 we 21 tablisa), bu bolsa olaryň düzüminiň diňe bir düzümi we himiki arassaçylyk taýdan üpjünçiligini etmän, eýsem, ýörite ýylylyk arassaçylygyny hem edýär. Munda akym bilen akdyrylýan eremäni sagatda 400-500°C tizlik bilen

gyzdyrýarlar, 3-6 sagadyň dowamynda 1000-1150°C – da saklaýarlar, soňra bolsa, sagatda 100 – 200 °C tizlik bilen sowadyp otag temperaturasyna getirýärler. Käbir permalloiler üçin gaýtadan 600 °C – a çenli gyzdyrmaklyk gerek bolýar we minutda 150 °C tizlik bilen tiz sowatmak gerek bolýar. Has gowy magnit häsýetlerini permalloileriň boşlukda gyzdyrylyp taplanmalaryözünde saklaýar.

Tablisa 20. Başga metal goşulmadyk permalloileriň esasy häsýetnamasy.

Nikeliň düzümi, %	μ_{rH}	μ_{rM}	H_C , A/M	ρ , Mk OM·M
78,5	10000-14000	100000-	1-3	0,25
66	3000-4000	200000	3-5	0,32
50	2000-3000	120000- 200000 50000-70000	6-9	0,45

Tablisa 21. Başga metallardan goşulan permalloileriň esasy häsýetnamasy.

Nikeliň düzümi	Başga goşulýan metal elementleriň düzümi	μ_{rH}	μ_{rM}	H_C , A/M	ρ , Mk OM·M
78,5	3,8	25000	150000	1,0	0,55
68	2	7000	120000	0,7	0,48
50	4	3000	80000	8,0	0,95

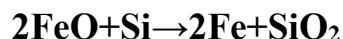
20 we 21 tablisa garasak, udel elektrik garşylyklaryň köpräk bölegi, şonuň ýaly-da, az görnüşli ýitgiler bilen tüweleý görnüşli toklary eýeleýän başga metallardan goşulan permalloiler, şeýle-de ýokarlanan magnit häsýetleri bilenaýratynlandyrylýanlar ýüze çykýar.

Ähli permalloiler mehaniki deformassiýa duýgurdyrlar, üstüne berçinläp kesilende, şamplananda, (üstüne möhür basylanda) we beýleki mehaniki täsir etmelerde. Şonuň üçin permalloilerden detallaryň, şu tärler bilen ýasalanlaryny goşmaça ýyllyk bilen arassalanmaga – ýakylmagyna (aýratynlandyrylan düzgüne laýyk) sezewar edilýär.

Permalloileri lenta görnüşinde 0,002-1,5mm galyňlykda, 1-2,5mm galyňlykda tagtalary we 8-60mm diametrli sim görnüşinde we başgaçarak hem goýýarlar. Pesnikellenen permalloiler suwuklygyň, buguň ýa-da gazyň basyş güýjüniň sarplanylşyny ugrukdyryjy guralyň serdeçniginiň taýýarlanylşy üçin magnit güýçlendirijileri we kiçigöwrümlü transformatorlarynda ulanylýar, ýokary nikellenilenler – birnäçe esse ýokary sesýygylykda işleýän apparatlaryň detallary üçin ulanylýar. Permalloileriň magnit häsýetnamasy – 60-dan tä +60°C çenli aralyk temperaturada durnuklydyr.

Alsiferler – özlerinden birhiljek döwülegen, eredilip guýlan metallary göz önüne getirtýär, alýumininiň 5,5–13%-den düzülen, kremniniň 9–10%-den, galany hem demirden. Alsiferleriň önümçilikde ulanylýan görnüşleriniň indiki häsýetleri bar: $\mu_{rH}=6000\div7000$, $\mu_{rM}=30000\div35000$, $H_C=2,2$ A/M, $\rho=0,8$ Mk OM ·M. Alsiferlar gymmat bahaly permalloileriň deregine ulanmak üçin göz önünde tutulan, ýöne, olaryň ulanylyş ýaýlasynyň deň derejeli çäkli ýagdaýyny döretmek mümkinçiligi boldy. Alsiferlardan guýma serdeçnikleri taýýarlaýarlar, olar 20kΓn köp bolmadyk aralykdaky derejede işleýärler, görnüşi ýaly olarda ýokary derejeli aralyklarda tüweleýli toklarda köp ýitgiler peýda bolýar. Mundan başga-da alsiferlardan diwarlarynyň galyňlygy 2mm köp bolmadyk içi boş detallary-da guýýarlar.

Elektrotehniki kremniniň polatlary özlerinden pesuglerodlandyrylan polatlarynyň haýsy-da bolsa birine 08-den tä 4,8% çenli magnitiň düzümini gowulandyrmak üçin kremniý goýup görkezýärler. Polatda saklanýan kremniýniň eredilen görnüşi FeO demiriň iň aşaky dereje-de okislenmesi bilen täsirleşýär. Bu ýagdaýda polatdan hakyky arassa demir bölünip çykýar we kremnezi emele getirýär.



Kremnez bilen poladyň udel garşylygyny ýokarlandyrýarlar, bu bolsa tüweleýli toklardaky ýitgini azaldýar.

Kremniý polatdaky zyýanly garyndylaryň sementidiň Fe₃C–dargamagyna getirýär, bu bolsa birden magnit häsýetnamasynyň peselmegine täsir edýär. Şeýle hem kremniý demir bölejikleriniň ösmeginiň polatdaky magnit häsýetleriniň derejesiniň ýokarlanmagyna täsir edýär. Polada köp mukdarda kremniniň göýberilmegi ähli magnit häsýetlerini gowulandyrýar, ýöne olardan möhürlenlen detallaryň taýýarlanylşynyň hatardan çykmasynyň ejizlenmegiň ýokarlanmasyny ýüze çykarýar. Şonuň üçin polada 4,8%-den geçmeýän mukdarda kremniý goşýarlar.

Kremnili polat tagtajyklary ýyladylan ýa-da ýyladylmadyk ýagdaýda tekizläp taýýarlap edýärler. Şoňa laýyklykda gyzgyntigirlenýän we sowuktigirlenýän kremniý poladyny aýratynlandyrýarlar.

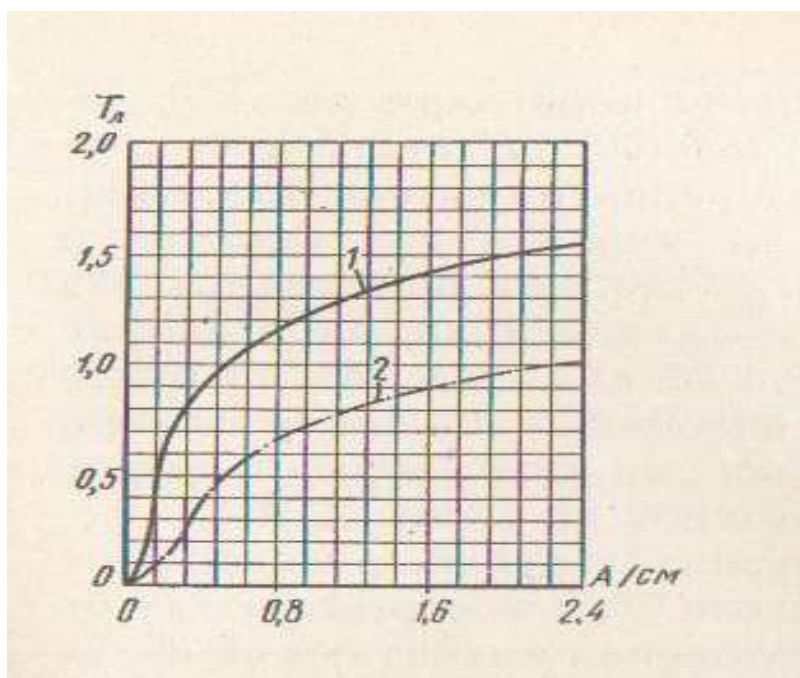
Mälim bolşy ýaly demir özünde kublasan kristal bölejikleriniň gurluşyny saklaýar we magnitleşdirilmesi biraz güýçli depginde bolar, haçan-da magnit meýdanynyň ugry kub kristalynyň gapyrgalarynyň ugry bilen gabat gelse. Şonuň üçin magnit düzüminiň gowulandyrylmagy poladyň elektrotehniki tagtasynyň, sowuk ýagdaýda, şol bir ugurda örtýärler, ondan soň 900°C wodorod atmosferasynda bişirýärler.

Şol bir ugura polat tagtajyklaryň aýlandyrylmagy demir kristallarynyň aýlanmasynyň ugruna bolan artykmaçlygy anyklaýar. Tagtajyklaryň yzygiderli ýakylyşynda materialdan onuň magnit düzümini peseldýän (uglerod, kislorod) garyndylar aýrylýar. Ondan başga-da ýakylanda tekizlenen demir kristallarynyň (deformirlenen) zeper ýeten ýerleri öz öňki görnüşlerini eýeleýärler.

Sowukaýlandyrylýan kremnileşdirilen polatlary, aýlanma ugruna adatdan daşary demir kristallarynyň ýerleşişini özakymlaýyn gurluş diýip atlandyryrlar.

Sowukaýlandyrylýana garanda gyzgynaýlandyrylýan polatdaky artykmaçlyk 22 tablisa we 40 suratda görmek bolar.

Magnit häsýetnamasynyň gowulandyrylmagyny sowukaýlanýan polatlaryň ugurlary diňe olaryň aýlanma ugry bilen magnit akymynyň ugry gabat gelende synlap bolýar. Başga ýagdaýlarda ähli magnit häsýetnamalary sowuk aýlandyrylýan polat gurluşlaryň, gyzgyn aýlanýanlaryňka garanyňda pes.



40-njy surat

22 tablisa. Polatlaryň ýokary garyndylandyrylan kremnileşdirilen häsýetnamasynyň esasy.

Polat kremniniň düzümi	Poladyň aýlanma häsýetnamasy	μ_{rH}	$M_{r_{max}}$	$H_C, A/M$
4	Gyzgyn aýlanýan	300-400	6000-8000	31-33
3,8	Sowuk aýlanýan	600-900	20000-35000	9,5-14

Şonuň üçin sowuk aýlanýanlar polatlaryň ulanylyşy lentalý serdeçnikler we beýleki gurluşlarda has amatly, bu ýerde magnit akymynyň ugry bilen gabat gelýär.

Elektrotehniki polatlary lentalara we tagtajyklara 0,05-den tä 1mm-e çenli aýlandyryp ýazýrlar. Ol elýeterli we arzan material. Togalak görnüşi bar bolan elektrik polat ulanylýar, şeýle hem sowukaýlandyrylyp ýazylan az görnüşlileri iň gowy magnit düzümine eýedirler, gyzgynýaýradylan tekizlendirmä garanyňda.

Bölüm IV. ÝARYMGEÇIRIJI MATERIALLAR.

Geçirijiler bilen dielektrikleriniň arasyndaky aralyk ýagdaýy eýeleýän we otag temperaturasynda udel garşylygy (10^{-6} - 10^{+9}) çäklerde ýatýan materiallara ýarymgeçirijiler diýilýär. Diňe ýarymgeçirijilere mahsus bolan käbir häsiýetler bardyr, olara aşakdakylar degişlidir:

Olaryň udel garşylygy temperaturanyň giň interwalynda kemelýär, ýagny olar otrisatel temperatura koeffisiýentine eýedir;

Ýarymgeçirijilere az mukdarda hem bolsa garyndy goşulanda olaryň udel garşylygy üýtgeýär;

Ýarymgeçirijiler ýagtylygyň ýadro şöhlelesiniň, elektrik we magnit meýdanynyň, basyşyň we ş.m. daşardan edýän täsirini duýgurdyr.

Tebigy we sintetik, organiki däl, himiki düzümi boýunça ýönekeý we çylşyrymly materiallaryň birtopary ýarymgeçirijili häsiýete eýedir.

Germaniý, kremniý, selen, tellur, bor, uglerod, fosfor we ş.m. ýönekeý ýarymgeçirijilere degişlidir. Çylşyrymly ýarymgeçirijilerden A-B görnüşli ýarymgeçirijiler tehnika has uly orun tutýandyrlar. Bu topara GaP, InP (fosfidler), GaAs, InAs (arsenidler) we InSb, AlSb (antimonidler) degişlidir.

§1. Ýarymgeçirijiler geçiriji materiallardan näme bilen tapawutlanýar.

Ýarymgeçirijiler geçiriji materiallardan udel elektrik geçirijiliginiň juda kiçiligi bilen tapawutlanýarlar.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ýarymgeçirijileriň udel geçirijiliginiň artmagy we tersine temperaturanyň peselmegi bilen kiçelmegi onuň möhüm aýratynlygydyr.

Ýarymgeçirijilerde erkin elekttronlaryň konsentrasiýasynyň azdygy üçin udel geçirijilik metallaryňky bilen deňeşdirende has kiçidir. Eger metallarda erkin elektronlaryň konsentrasiýasy 10^{-28}m^3 bolan derejede bolsa, onda erkin elektronlaryň konsentrasiýasy 10^{-25}m^3 bolan ýarymgeçirijini köplenç halatlarda ýarymgeçiriji hökmünde peýdalanmak üçin ýaramsyzdyr. Kristalliki ýarymgeçirijileriň erkin elektronlarynyň hereket edijimetallaryňka garanynda ýokarydyr, amorf ýarymgeçirijileriňki bolsa metallaryňkydan pesdir.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ýarymgeçirijileriň udel elektrik geçirijiliginiň artmagy erkin zarýad äkidijileriň konsentrasiýasynyň üýtgemgi bilen düşündirilýär. Metallarda erkin zarýad äkidijileriň konsentrasiýasy praktiki taýdan temperatura bagly dälendir.

§2. Ýarymgeçirijiler elektrik izolirleýji materiallardan näme bilen tapawutlanýar.

Ýarymgeçirijiler elektrik izolirleýji materiallardan udel elektrik geçirijiliginiň has ululygy bilen tapawutlanýar. Bu tapawut ýarymgeçirijilerde erkin zarýad äkidijileriň konsentrasiýasynyň we olaryň hereket edijiliginiň has ýokardygyny sebäpli ýüze çykýar.

Ýarymgeçirijiler elektrik izolirleýji materiallaryň köpüsinden gowşak elektrik meýdanyndaky elektrik geçirijiliginiň mehanizmy bilen hem tapawutlanýar. Eger elektrik izolirleýji materiallaryň köpüsinde ionly elektrik geçirijilik bar bolsa, onda elektrotehnika galapyn elektronly elektrik geçirijilikli ýarymgeçirijiler ulanylýar. Elektrik izolirleýji materiallardan tok akan wagty elektroliz prosessy ýüze çykýar we netijede materialyň gurluşy üýtgeýär, ýarymgeçirijileriň üstünden tok akyp geçende bolsa hiç hili üýtgeме bolmaýar. Eger üýtgeýän elektrik meýdanynda izolirleýji materialyň udel elektrik geçirijiligi ionlaryň sanynyň köplügi sebäpli ýygylgya örän baglydyr, ýöne ýarymgeçirijileriň udel geçirijiligi bolsa ýygylgya az baglydyr. Şu sebäpli göre ýarymgeçiriji abzallaryň işçi ýygylgya az baglydyr. Şu sebäpli görä ýarymgeçiriji abzallaryň işçi ýygylgya örän giň diapazona eýedir.

Bar bolan köp sanly mysallara laýyklykda ýarymgeçirijiler gelejegi uly bolan elektrotehniki materiallara degişlidir. Aşakdaky şol mysallaryň käbirini getireliň:

1. Ýarymgeçirijiler dürli şertlerde peýdalanylanda hem häsiýetleriniň durnuklylygy bilen tapawutlanýar;
2. Ýarymgeçiriji materiallaryň düzümini şeýle hem strukturasyny üýtgemek bilen olaryň häsiýetlerini köp derejede dolandyrmak mümkin;
3. Ýarymgeçiriji abzallaryň energiýa sarp edişi azdyr we inersionlygy kiçidir;
4. Olaryň ölçegleri we massasy kiçidir. Işe ukyplylygy bolsa daşky faktorlara kän bir bagly hem däl, şoňa görä-de olar dürli şertlerde peýdalanylanda-da ähtibarly işleýändirler ;
5. Olar üýtgeýän elektrik meýdanynyň ýygylgynyň giň diapazonynda ulanylyp bilner;
6. Ýarymgeçiriji abzallaryň hyzmat ediş möhleti ulydyr we işdäki ähtibarlygy ýokarydyr. Ýarymgeçiriji abzallaryň işe ukyplylygyna mehaniki faktorlaryň täsiri azdyr;
7. Ýarymgeçiriji elementleri ulanmak ykdysady taýdan amatlydyr.

§3. Ýarymgeçirijileriniň häsiýetleriniň nähili görkezijileri has ähmiýetlidir.

Fiziki ýylylyk, mehaniki we beýleki häsiýetler toplumyndan ýarymgeçirijilerde ähmiýetlisi diýip häsiýetleriň elektrofiziki görkezijilerini hasap etmek bolar, olara udel elektrik ýa-da oňa ters ululyk bolan udel elektrik garşylyk, elektronlaryň we deşijekleriň konsentrasıýasy, udel geçirijiligiň we udel garşylygyň temperatura koeffisiýenti, gadagan edilen zonanyň giňligi, donar we akseptor garyndylarynyň aktiwlik energiýasy, çykyş işi, elektronlaryň we deşijekleriň diffuziýa koeffisiýenti, diffuziýon we ş.m. degişlidir.

Ýarymgeçirijileriň ýörüte peýdalanylýan käbir halatlarynda häsiýetleriň ýokarda getirilen görkezijilerine ýarymgeçirijileri takyk ulanylyş nukdaýnazaryndan häsiýetlendirýän beýleki häsiýetlerde goşular. Olara ýylylykelektrik effekti ulanylanda ýarymgeçirijilerde ýüze çykýan ýylylykelektrik hereketlendiriji güýji, ýylylykelektrik effektiniň koeffisiýenti, Hollyn effekti peýdalanylanda ýäze çykýan Hollyn koeffisiýenti we beýlekiler mysal bolup biler.

§4. Ýarymgeçirijilerde elektrikgeçirijilik näme bilen kesgitlenýär.

Erkin zaryad äkidijiler diýip ýarymgeçirijileriň kristallik gözenegi bilen bagly bolan bölejikleriniň hiç biri berk baglylykda bolmadyk we orny üýtgedip bilýän elektrik zaryadlanan bölejige aýdylýar. Ýarymgeçirijilerde şeýle bölejikler elektronlardyr, aýratyn ýagdaýlarda bolsa ionlar hem bolup biler.

Erkin elektronlar ýarymgeçirijiniň atomlaryň ýa-da ondaky garyndynyň atomlarynyň ionlaşmagy hetijesinde ýüze çykyp biler. Ionlaşdyrmak üçin zerur bolan energiýa ionlaşdyryjy energiýa diýilýär. Ýarymgeçirijidäki garyndynyň atomlarynyň ionlaşdyryjy energiýa ýarymgeçirijiniň öz atomlaryny ionlaşdyryp energiýasyndan has kiçidir. Boşan elektron gidenden soň walentli zonanyň energetiki derejesinde bir orun boş galýar. Boş galanlar orny walentli zonanyň elektronlarynyň haýçy hem bolsa biri beýlekilere görä az-owlak köpüräk energiýa alandan soň eýeläp biler. Onuň ornuny bolsa elektronlaryň başga biri eýeläp biler we prosess üznüksiz dowam edýär. Ýarymgeçirijiniň walentli zonasynnda elektronlaryň çylşyrymly hereketi elektrikgeçirijiliginiň özboluşly mehanizmidir. Bu ýerde elektronlaryň hereketini položitel zaryadly diýlip bellenilen fiktiv bölejik ýagny deşijek baradaky düşünjäniň kömegi bilen beýan etmek amatlydyr. Deşijekler elektronlaryň hereketiniň tersine hereket edýändirler we elektronlara garanynda has az hereket edýändir. Olaryň hereketi ýarymgeçirijileriň deşikli elektrikgeçirijiligini emele getirýär. Eger ýarymgeçirijilere elektrik naprýaženiýasy berilse, onda elektronlar atomlaryň birinden beýlekisine bir ugur boýunça hereket ederler, deşikler bolsa olaryň tersine hereket eder. Ýarymgeçirijilerden elektronlaryň we deşijekleriň hereketi bilen şertlenen elektrik geçirijiligine degişlilikde elektron we deşikli geçirijilik diýilýär.

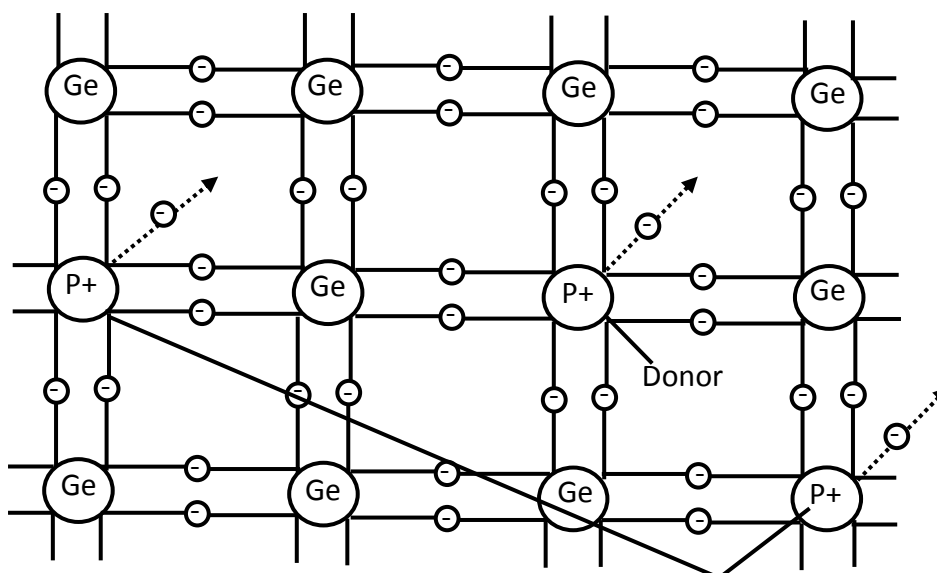
§5. Hususy we garyndyly ýarymgeçirijiler.

Ýarymgeçirijiniň erkin zarýad äkidijileri onuň öz atomlaryndan dörese we elektronlaryň hem-de deşikleriň konsetrasiýasy birmeňzeş bolan ýarymgeçirijilere hususy ýarymgeçirijiler diýilýär. Hususy geçirijilik elektron (P-tipli) we deşikli (r-tipli) geçirijileriň jemine deňdir. Hususy geçirijilikde elektron agdyklyk edýär, sebäbi erkin elektronlar deşiklere garanyňda has köp hereket edýändir.

Ýarymgeçirijilik abzallary (meselem, göneldiji, diodlary) döretmek üçin köplenç halatlarda elektron ýa-da deşikli elektrikgeçirijilikli ýarymgeçiriji materiallar gerek bolýar. Şeýle materialy almak üçin oňat arassalanylan ýarymgeçirijä deňişli legirleýän garyndy goşulýar we alynan ýarymgeçirijä garyndyly ýarymgeçiriji diýilýär.

Walentli ýarymgeçirijiniň walentliginden ýokary bolan legirleýji garyndyly ýarymgeçirijini rekin elektronlar bilen üpjün edýär we olara donarly ýa-da donarlar diýilýär. Walentligi ýarymgeçirijiniň walentliginden kiçi bolan garyndylar ýarymgeçirijiniň elektronlaryny tutup almak we saklamak başarnygyna eýedir. Tutulyp alynan elektronlaryň ornunda bolsa deşik emele gelýär. Şeýle garyndylara akseptor garyndylar ýa-da akseptordar diýilýär.

Diňe elektron elektrik geçirijilikli ýarymgeçiriji alamak üçin oňa walentligi esasy ýarymgeçirijiniň atomynyň walentliginden bir san (birlik) uly bolan maddanyň atomy girizilýär. Dört walentli atomlardan ybarat G_e germaniýa, donor garyndysy ýagny başwalentli atomlardan ybarat bilan sb surma ýa-da P fosfor girizilýär.



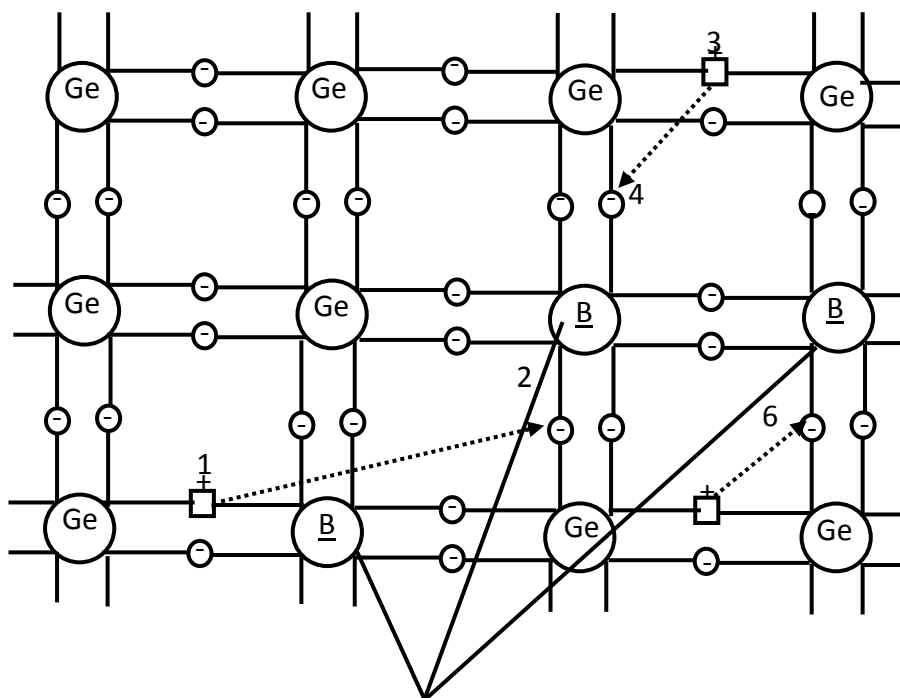
1-nji surat. Donor garyndyly germaniniň kub strukturasynyň tekizlikdäki şekili

Girizilen garyndynyň her bir atomynyň dört elektronly ýarymgeçirijiniň atomlary bilen dört sany kowalent (jübüt) baglylygy amala aşyrýar. Boş galan başinji atom erkin ýagdaýda bolup berilýän naprýaženiýanyň täsiri astynda elektron toguny döretmeklige gatnaşýar.

Diýmek, donor garyndyly ýarymgeçirijilerde esasy zarýad äkidijiler garyndyly elektrik geçirijiligi düzýän elektronlar bolar. Germaniniň atomlarynyň ionlaşmagy netijesinde iki sany deşik we olara degişli iki sany elektron emele gelýär. Bu zarýad äkidijiler ýarymgeçirijiniň hususy elektrik geçirijiligni şertlendirýärler. Ýäruşymgeçirijidäki umumy tok elektron we deşikli toklaryň jemine deňdir. Elektron tok deşikli tokdan köp esasy ulydyr. Şeýle ýarymgeçirijä elektronly ýa-da P-tipli ýarymgeçiriji diýilýär.

Germania akseptor garyndy, meselem B bor girizilende, onuň her atomy germaniniň goňşy atomlary bilen üç sany kowalent baglylygy amala aşyrýar. Emma baruň üç sany walentli elektronly bardyr, olar germaniniň ýakynyndaky diňe üç atomy bilen baglanşyk üçin boruň atomynyň elektrony ýokdur.

Şoňa görä-de germaniniň birnäçe atomynyň her biriniň kowalent baglanşyksyz bir elektrony bolar. Şunuň birlikde bu elektronlaryň germaniniň atomynda deşik emele getirip öz orunlaryny taşlap gitmegi üçin uly bolmadyk daşky energetiki täsiriň bolmagy ýeterlikdir



2-nji surat. Akseptor garyndyly germaniniň kub strukturasynyň tekizlikdäki şekili

Germaniniň 2-nji, 4-nji hem-de 6-njy atomlaryndan boňan elektronlar boruň atomlaryna birleşýär we ýarymgeçirijide tok döredip bilmeýär. Germaniniň atomlarynda emele gelen 1-nji, 3-nji we 5-nji deşikler goňşy atomlardaky elektronlara şol deşiklere geçmeklige mümkinçilik berýär. Öz gezeginde lektoryň beren soňky atomlarda hem täze deşikler ýüze çykýar.

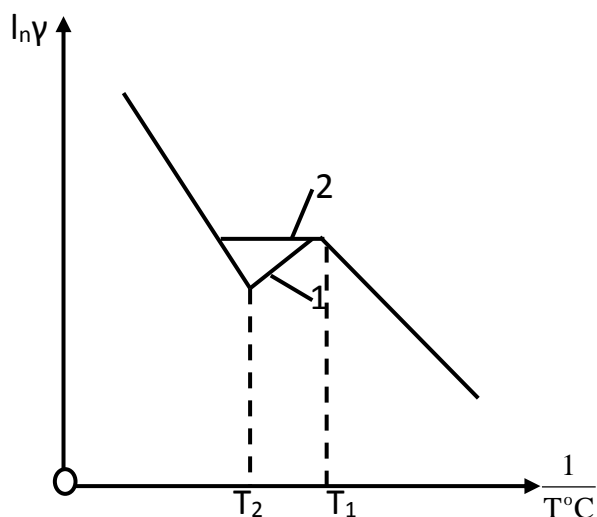
Şeýlelikde, her bir döreýän položitel zaryadlanan deşik germaniniň bir atomyndan beýlekisine ondan bolsa başgasna geçer we ş.m. Deşikleriň bu hereketi goýlan naprýaženiýanyň täsiri astynda tertipleşer, ýagny ýarymgeçirijide onunyň hususy elektrikgeçirijiligi bilen şertlendirilen erkin elektronlaryň we deşikleriň şubutleriniň köp bolmadyk mukdary bardyr. Ýarymgeçirijidäki tok öňki ýaly elektron we deşik toklarynyň jemine deňdir. Şeýle ýarymgeçirijä deşikli ýa-da R-tipli ýarymgeçiriji diýilýär.

Şeýlelikde, akseptor garyndyly ýarymgeçirijide položitel zaryadlanan bölejikler (deşikler) elektronlara garanyňda has köpdür we garyndylaryň ýarymgeçirijiniň elektrik geçirijiligini artdyryandygy mese-mälim belli bolýar.

Berilýän naprýaženiýanyň tersi astynda elektronlar we deşikler ýarymgeçirijide orunlaryny üýtgedende dürli görnüşli päsgelçiliklere gabat gelip energiýasynyň bir bölegini ýitirýärler hem-de barýan ýollaryndan gşarýarlar, ýagny zaryad äkidijiler pytraýarlar. Munuň şeýle bolmaklygyna ýarymgeçirijiniň hapalaýan dürli garyndylar sebäp bolýar. Ýarymgeçiriji arassa bolsa zaryad äkidijileriniň pytyramasy şonça-da azdyr we elektronlaryň hem-de deşikleriň hereket edijiligi ýokarydyr, diýmek ýarymgeçiriji ýokary (γ) udel geçirijilige eýedir.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen ýarymgeçirijileriniň ählisiniň geçirijiligi artýar

(3-nji surat). Ýarymgeçirijä näçe köp mukdarda donor ýa-da

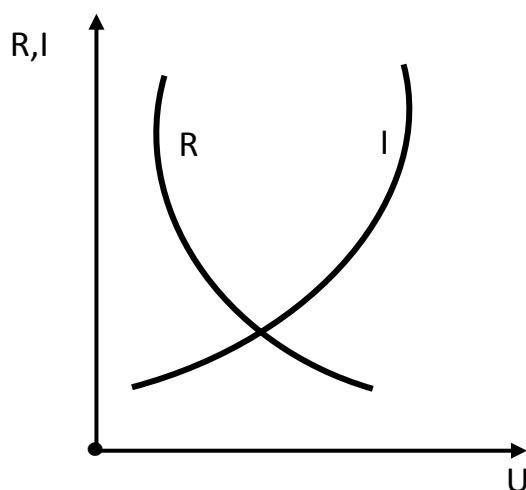


3-nji surat.

akseptor garyndysy girizilse onuň geçirijiliginiň artyşy has-da intensiw geçýär. T_1 temperatura çenli ýarymgeçirijide artykmaç zarýadlaryň hereketi bilen şertlendirilen garyndyly elektrik geçirijiligi agdyklyk edýär. (T_1-T_2) temperatura interwalynda ýarymgeçirijiniň geçirijiligi birnäçe esse kemelýär. Bu ýarymgeçirijidäki erkin elektronlaryň ýa-da deşikleriň ornuny üýtgetmegine päsgeçilik döredýän atomlaryň ýylylyk yrgyldysynyň artmagy sebäpli ýüze çykýar. Temperaturanyň mundan beýläk ýokarlanmagy netijesinde ýarymgeçirijide hususy geçirijilik ösýär. Netijede täze elektronlaryň we deşikleriň köp mukdary emele gelýär, olaryň ugrukdyrylan orun üýtgemesi ýarymgeçirijide barha aýratyn togy döredýär we ýarymgeçirijiniň udel geçirijiligi birden ösýär.

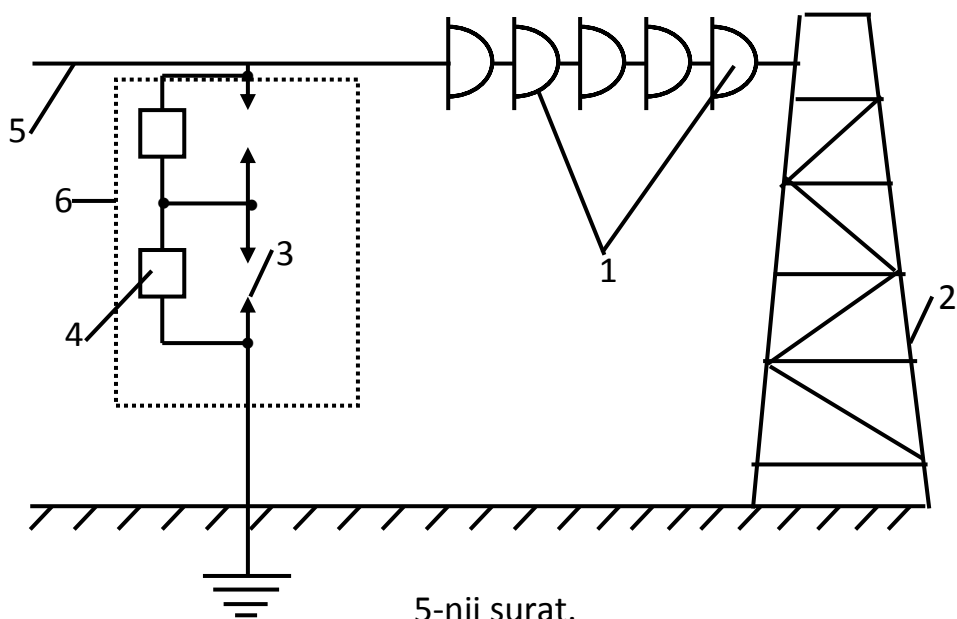
Absolýut nol temperaturada (-273°C) elektronlar hereket edýändirler, ýagny öz atomlary bilen baglydyklary sebäpli ýarymgeçirijiler dielektriklere öwrülýärler.

Ýarymgeçirijileriň togunyň berilýän naprýaženiýa baglylykda üýtgeýşi göni çyzykly däl (4-nji surat), ýagny tok naprýaženiýa garanynda has çalt artýar, bu bolsa ýarymgeçirijilere mahsus häsiýetdir.



4-nji surat

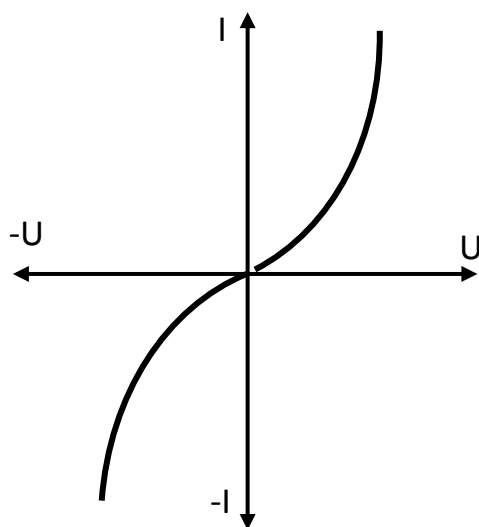
Toguň artmagy bilen bir wagtda ýarymgeçirijiniň elektrik garşylygy çalt kemelýär. Bu häsiýeti wentili zarýadsyzlandyryjylarda elektrik geçiriji liniýanyň simleriniň ýyldyrym uran wagtynda uly toklardan garamak üçin oňa birikdirmek arkaly peýdalanylýar (5-nji surat). Normal naprýaženiýada zarýadsyzlandyryjynyň örän uly garşylygy bolup ol elektrik geçiriji liniýadan togy ýere geçirmeýär.



5-nji surat.

Ýyldyrym uran wagtynda geçiriji simler örän uly naprýaženiýanyň täsiri astynda bolýar, wentili zarýadsyzlandyryjynyň elektrik garşylygy bolsa birden kiçelýär we liniýadaky uly togy ýere geçirýär. Netijede elektrik geçiriji liniýanyň naprýaženiýasy normal ulylyga çenli peselýär. Zarýadsyzlandyryjynyň uly garşylygy dikeldilýär we ol ýene-de liniýadan togy ýere geçirmän başlaýar.

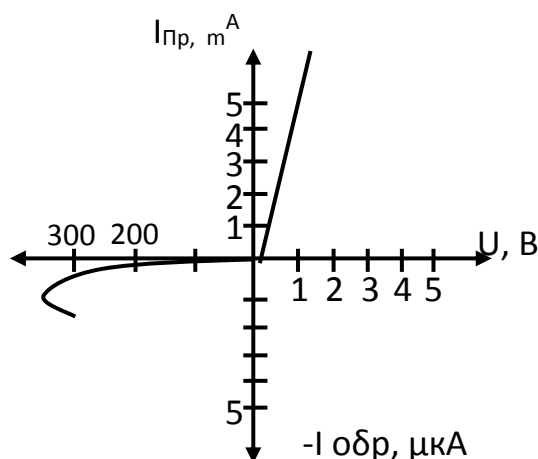
Ýarymgeçirijä goýlan naprýaženiýanyň polýarlygy üýtgedilende ondan ondan akýan tok ters ugra akýar we şol bir kanun boýunça üýtgeýär (6-njy surat). Bu bolsa ýarymgeçirijiniň wolt-amper häsiýetnamasynyň simmetrikdigini aňladýar.



6-njy surat.

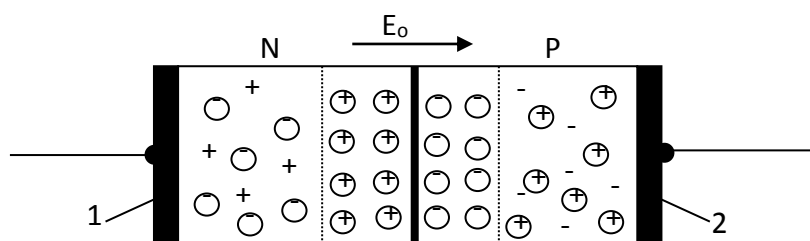
§6. R-P geçiş näme ol we nähili häsiýetlere eýedir.

Eger ýarymgeçirijiniň göwrüminiň bir bölegi elektronly elektrik geçirijilige, beýleki bölegi bolsa deşikli geçirijilige eýe bolsa, onda olaryň araçäginde simmetrik däl wolt-ampere häsiýetnamaly elektronly-deşikli geçiş emele geler.



7-njy surat.

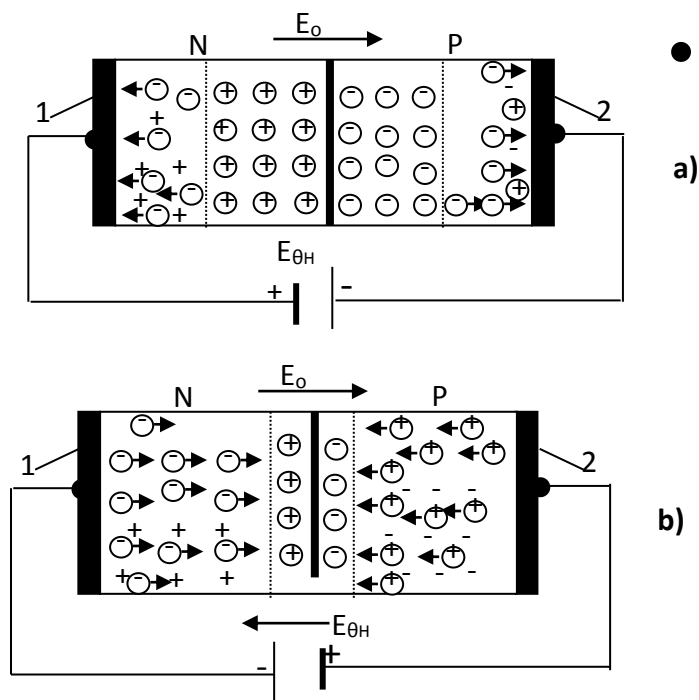
Elektronly we deşikli ýarymgeçirijiler jebis kontaklaşanda iki oblastly sistema emele gelýär. Olary jebis kontaklaşdyrmak, meselem haýsy hem bolsa birine legirleýji garyndynyň girizilmegi bilen amala aşyrylýar. Oblastlaryň biri elektron elektrik geçirijilige (P-tipli), beýlekisi bolsa deşikli (p-tipli) geçirijilige eýe bolar. Şonda elektronlar r-oblastdan elektronlaryň konsentrasiýasynyň az bolan r-oblasta diffundirlenerler (geçerler). Bi wagtda deşikler r-oblastdan deşikleriň konsentrasiýasynyň az bolan p-oblasta diffundirlenerler (geçerler). Deşikleriň we elektronlaryň özara diffuziýasy p-oblasty bilen araçäkdäki gatlakda elektronlaryň konsentrasiýasyny azaldar. Bir wagtda r-oblasty bilen ara çäkdäki gatlakda deşikleriň konsentrasiýasy azalar.



8.-nji surat. Ýarymgeçirijiler p-n-geçirijiň emele gelşiniň shemasy

Şeýlelikde, daşky naprýaženiýanyň çeşmesiniň 1-nji we 2-nji elektronyna birikdirilmäkä ýarymgeçirijiniň r we p oblastlarynyň araçäkleriniň arasynda goşa elektrik gatlagy emele geler. Şonuň netijesinde goşa elektrik gatlakdaky otrisatel zarýadlara tarap ugrukdyrylan E_0 güýjenmeli ýerli elektrik meýdany ýüze çykýar. (3.9-nji surat)

Şeýle sistema daşky naprýaženiýa goýlanda, daşky çeşmäniň $E_{daş}$ güýjenmesi eýrli elektrik meýdanynyň E_0 güýjenmesi bilen gabat gelende p-oblastdaky elektronlar we r-oblastdaky deşikler oblastlary bölýän araçäkden 1-nji hem-de 2-nji elektrodla tarap orunlaryny üýtgederler.



9-njy surat.

Şonda r-tipli ýarymgeçirijide elektronlaryň, p-tipli ýarymgeçirijide bolsa deşikleriň eýeleýän zonasy giňelýär. Şeýlelik-de, r-p geçiriji elektrik garşylygy güýçli artýar, ýagny ýapyk gatlak emele gelýär we r-p geçiş öz üstünden togy geçirmeýär. Hakykat-da bolsa r-p geçişniň üstünden esasy däl zarýad äkidijileriň orun üýtgemesi bilen şertlendirilen we ters tok diýilip atlandyrylýan örän kiçi tok akyp geçýär.

Daşky çeşmäniň $E_{daş}$ güýjenmesi ýerli elektrik meýdanynyň E_0 güýjenmesine garşy ugrukdyrylan ýagdaýynda ýerli elektrik meýdany mazaly gowşaýar

(peselýär) we ýarymgeçirijiniň p-oblastyndan elektronlar hem-de r-oblastyndan deşikler r-p geçişe tarap ornuny üýtgedip başlaýar. Şonuň netijesinde ýapyk gatlagyň giňligi daralar we onuň elektrik garşylygy kemelýär. Bu ýagdaýda r-p geçişe göni tok diýip atladýrylýan togy geçirýär onuň ugruna göni ugur ýa-da geçirilýän ugur diýilýär.

Göni tok ters tokdan birnäçe esse ulydyr. Tok göni ugur boýunça akanda-da elektronly-deşikli geçirijiliginiň garşylygy kiçi bolýar, ters ugra akanda bolsa garşylygy uly bolýar. Goýulýan naprýaženiýanyň artmagy bilen göni tok çalt ösýär. Terç tok naprýaženiýa goýlanda bolsa, başlangyç pursatda ters tok praktiki taýdan bolmaýar. Terç naprýaženiýa artanda ilki ýuwaşlyk bilen ösýär soňra bolsa naprýaženiýa käbir ululygyndan başlap birden artýan ters tok ýüze çykýar. Şonuň netijesinde bolsa r-p geçiş böwsülýär hem-de zaýalanýar (bozulýar).

Elektronly-deşikli geçirijiniň togy bir tarapa geçirip beýleki tarapa geçirmezlik häsiýeti ýarymgeçiriji göneldijide peýdalanylýar r-p geçişe üýtgeýän naprýaženiýa berlende ol togy diňe periodyň ýarym periodyň dowamynda geçirýär., ýagny ony göneldýär.

Ýokarda belläp geçişimiz ýaly geçirijili göneldijiniň işleýşine wolt-amper häsiýetnamasy boýunça baha berilýär (9-nji surata serediň). Grafikden görnüşi ýaly göneldijiniň geçirýän göni togy pes naprýaženiýalarda ýokary baha eýe bolýar. Göneldija ters naprýaženiýa berlende, haçan-da p-oblastyna batereýanyň plýusy, r-oblastyna bolsa minusy birleşdirilse, göneldiji praktiki taýdan tok geçirmeýär. r-p-geçiş ters naprýaženiýanyň 300 W ulygyndan kiçi ulylykly göni togy geçirýär. Eger-de ters naprýaženiýa mundan beýläk hem artdyrylsa, onda göni toguň ulylygy käbir pursatdan başlap çalt artýär we şeýle bir ulylyga ýetýär hem-de şol ulylykda r-p geçiş böwsülýär.

Ýarymgeçirijili diodlarda r-p geçiş dürli tipli elektrikgeçirijilikli iki sany ýarymgeçirijiniň arasyndaky splawdan edilen kontakty we metaldan edilen çiş görnüşinde ýerine ýetirilip biliner. Birinji ýagdaýda iki sany ýarymgeçirijiniň arasyndaky galtaşma (kontakt) meýdany emele gelýär. Şeýle diodlara tekizlikli diodlar diýilýär. Ikinji ýagdaýda, haçan-da ýarymgeçirijiniň (germaniý ýa-da kemniý) 2x2 mm ölçegli plastinkasy metaldan edilen ýiti uçly inçe sim bilen galtaşýan bolsa şeýle diodlara nokatlaýyn diodlar diýilýär. Şeýle diodlar r-p geçişden örän az göwrümi eýeleýär we ýokary ýyglykda ulanylýar.

Käbir ýarymgeçirijiniň (meselem, seleniň) udel geçirijiligi olara ýagtylyk täsir edende birden üýtgäp biler. Bu kegitli tolkun uzynlygy bolan ýagtylyk şöhlesiniň ýarymgeçirijiniň elektronlaryna erkin bolmak üçin ýeterlikli energiýany berýändigini sebäpli bolýar. Şonda ýarymgeçirijiniň garşylygy birden kiçelýär. Ýarymgeçirijiniň bu häsiýeti ýagtylyk spektorynyň diňe bir görünýän uçastogyny däl infragyzyň şöhlenenmesini duýýan abzallary, ýagny ýagtylyk garşylyklaryny ýasalanda peýdalanylýar.

Ýarymgeçiriji bölekleyin ýagtylandyrylanda, ýagny onuň üstünde ýagtylandyrylan we ýagtylandyrylmadyk oblastlar bolanda olaryň arasyndaky ýagtylyk EHG ýüze çykýar. Bu hadysa elektrik energiýanyň çeşmesi blan: ýagtylyk elementleri we gün batareýalary döredilende peýdalanylýar. Gün

batareýalary gün energiýasyny gös-göni elektrik energiýasyna öwürmeklige ukyplydyr.

Käbir ýarymgeçirijilere (meselem, kremnä) basyş edilende olaryň elektrik garşylygy bilen üýtgeýär (tenzorezistiw efekty). Ýarymgeçirijiniň bu häsiýeti duýgur basyş ölçejiler-tenzodatçikler ýasalanda peýdalanylýar.

Ýarymgeçirijide dürli temperaturaly iki uçastogyň bolmagy erkin zarýadlaryň gyzgyn uçastokdan sowuk uçastoga ornuny üýtgetmäge alyp barýar. eger zarýady äkidijiler elektronlar bolsa, onda olar sowuk uçastoga ornuny üýtgedip ony otrisatel zarýadladýar. Ýarymgeçirijiniň gyzgyn uçastogy elektronlaryň bir bölegini ýitirip položitel zarýadlanar. Netijede ýarymgeçirijiniň gyzgyn we sowuk uçastoklaryň arasynda ýylylyk-EHG döreýär. Bu hadysa ýylylyk energiýasyny elektrik energiýasyna öwürlmeklige ukyply ýylylyk elementleri we ýylylyk generatorlary döredilende peýdalanylýar.

Monokristallik we polikristallik strukturaly organiki däl we organiki gelip çykyşly köp sanly ýarymgeçiriji abzallar ýasalýan germaniý, kremniý, selen we karbitly keremniý ulanylýar.

Kremniý we germaniý almaza meňzeş ýarymgeçirijilere degişlidir, sebäbi olaryň almazyndaky ýaly depelerinde we granlaryň arasynda uglerodyň atomlary ýerleşen kub görnüşli kristallik strukturasy bardyr (9-njy surat). Şeýle hem uglerodyň atomlary uly kubkiň bolunýan sekiz sany kubkyň dördüsiniň (oktanlaryň) merkezinde ýerleşýär.

Suratlardan, almaz tipleriň strukturasynda (germaniý ýa-da kremniň) her bir atom seredilýän atomdan birmeňzeş daşlykda ýerleşen şunuň ýaly dört sany atom bilen gurşalyp alnandygy we goňşy atomlar bilen kowalent baglanşygy emele getirilýändigini görüň.

Germaniý G_e Mendeleywiň periodik sistemasynyň dördünji toparyna degişli elementdir. Germanini almak üçin başlangyç material bolup sinkli we sulfidly magdanlar hyzmat edýär. Çylşyrymly himiki prosessleriň netijesinde ýarymgeçirijili abzallary ýasamak üçin entek ýaramsyz, düzüminde garyndylar bolan monokristal däl guýma germaniý alynýar. Alynan guýmalaýyn zonalaýyn usulda eredilip garyndylardan saplanylýar. Arassalanylandan soň onuň düzüminde garyndynyň mukdary $5 \cdot 10^{-9}\%$ köp bolmaly däldir.

Minokristallik germanini almak üçin ony wakumda ýa-da inert gazynyň atmosferasynda eredýärler. P ýa-da r-tipli elektrikgeçirijilikli germaniý almak üçin germanini arassalanylan erginine degişlilikde donor ýa-da akseptor garyndysy goşulýar. Soňra erginden arassa monokristallik germaniý kesgitli tizlik bilen berlen diametorlary tutuş selinder görnüşinde çekilip alynýar. Germaniý we kremniýiň monokristalynyň alnyşynyň bu usulyna Çohralskiniň usuly diýilýär.

Germaniniň aýyk kümüşsow reňki bolup, dykzlygy 5322 kg/m^3 , eremek temperaturasy bolsa $937,2^\circ\text{C}$ deňdir. Arassalanylan legirlenmedik germaniý aşakdaky elektrik häsiýetnamalara eýedir: $\rho \approx 0,5 \text{ Om.m}$, $\epsilon_r = 16,3$. p-tipli elektrikgeçirijilikli germaniniň legirlenen sortlarynyň $\rho = 0,07 \div 0,5 \text{ Om.m}$ r-tiplisiniňki bolsa $\rho = 0,01 \div 0,45 \text{ Om.m}$ deňdir. Germaniniň ähli sortlary örän gatydyr hem-de portdyr we çyg çekijidir.

Germaniniň diodlary we ýagtylyk elementlerini taýýarlamak üçin giňden peýdalanylýar.

Kremniý S_i . Mendeleyewiň periodik sistemasynyň dördünji toparynyň elementidir. Kremniniň tehniki sortlary almak üçin başlangyç materialyň biri bolup tebigatda giňden ýaýran kremnezem görnüşindäki SiO_2 hyzmat edýär.

Kremniý guýmalaryny zonalaýyn usulda eredip arassalamak netijesinde goşulýan legirleýji garyndylara baglylykda p-ýa-da r-tipli elektrikgeçirijilikli monokristallik kremniý alynýar. Arassalanylan kremnide garyndylar $10^{-11}\%$ köp bolmaly däldir.

Ýylmalynan kremniý nusgasynyň polar reňki bardyr. Kremniý hem germaniý ýaly port materialdyr. Arassalanylan legirlenmedik kremniniň esasy häsiýetnamalary aşakdaky ýalydyr: dykzlygy 2320 kg/m^3 , remek temperaturasy 1420°C , $\rho=2,3\text{ Om.m}$, $\epsilon_r=11,7$. p-tipli elektrikgeçirijilikli kremniniň legirlenen sortlarynyň $\rho=0,05\div12,0\text{ Om.m}$, r-tiplisiniňki bolsa $\rho=0,6\div600\text{ Om.m}$ deňdir.

Kremniý germania garynda has giňden peýdalanylýandyr, sebäbi onuň esasynda döredilen ýarymgeçirijili abzallaryň işleýän temperaturasynyň ýokary çägi $150\text{-}200^\circ\text{C}$, germaninoň esasynda döredilenleriňki bolsa $70\text{-}80^\circ\text{C}$ deňdir. Kremniý ingetral mikroschemalary öndürmekde ulanylýar.

Selen Se . Mendeleyewiň periodik sistemasynyň altynjy toparyna degişli elementdir. Elektrolirik usulda mis rafininlenende (arassalanylanda) emele gelýän galyndy selen almak üçin başlangyç materialdyr. Gaty seleniň amorf ýa-da kristallik gurluşy bolup biler. Arassa ergin seleni otag temperaturasyna çenli çalt sowadylyp alynýan gara reňkli amorf selen $\rho=10^{11}\text{Om.m}$ udel garşylykly dielektrikdir.

Ergin amorf seleni eretmek temperaturasyndan (220°C) otag temperaturasyna çenli haýallyk bilen sowadyp çal reňkli kristallik selen alynýar. kristallik selen polikristallik gurluşly r-tipli ($\rho=10^3\text{Om.m}$) garyndyly ýarymgeçirijidir. Seleniň esasy häsiýetnamalary; dykzlygy 4800 kg/m^3 , eremek temperaturasy 217°C , $\rho=(0,8\div5)\cdot10^3\text{Om.m}$, $\epsilon_r=6,3$. selenli göneldijileriň işläp bilmek temperatura interwaly (-60)-dan 75°C çenlidir.

Seleni selenli göneldijileri, ýagtylyk elementlerini we ýagtylyk garşylyklaryny ýasamakda peýdalanylýar.

Karbitli kremniý S_{ic} tok bilen naprýaženiýanyň arasynda aýdyp ýüze çykýan göni däl baglanşykly polikristallik gurluşly port materialdyr (4-nji surada serediň). Karbitli kremniý kremniniň we ulerodyň himiki birleşmesi netijesinde emele gelýär. Ony almak üçin arassa kwars çägesi we koks başlangyç materialdyr. Ol ýa-da beýleki tipli garyndyly elektik geçirijiligi almak üçin başlangyç düzüme (şihta) fosfor, surma, wismut, magmiý, alýuminiý we beýleki garyndylar goşulýar. Karbitli kremniýni emele getirmek reaksiýasy takmynan 2000°C temperaturada bolup geçýär.

Fosfor, surma ýa-da wismut legirlenen karbitli kremniý goýny ýaşyl reňdedir we p-tipli elektrikgeçirijilige eýedir, galiý, alýumin ýa-da bor bilen legirlenen karbitli kremniý goýy melewşe reňdedir we r-tipli elektrikgeçirijilige eýedir. Karbitli kremniniň esasy häsiýetnamalary: dykzlygy 3200 kg/m^3 , ermek

temperaturasy 2700°C , $\rho=10^2\div 10^5\text{Om.m}$, $\epsilon_r\neq 6.5\div 7.5$. Kristallik selen ýaly karitli, kremniý hem garyndyly ýarymgeçirijidir, ýöne onuň hususy geçirijiligi 1400°C we ondan hem ýokary temperaturalarda ýüze çykýar.

Karbitli kremniniň has arassa sortlaryny göni çyzykly däl simmetrik bolt-amper häsiýetnamaly we -50°C -den $\div 80^{\circ}\text{C}$ çenli temperatura interwalynda işläp bilýän waristorlary-rezistorlary öndürmekde peýdalanylýar. Waristorlar awtomatiki sazlaýjy gurluşlarda ulanylýar.

Inert gazyn da wazgonda usulynda polikristalik karbitli kremniden işläp bilmek temperaturasy 700°C çenli bolan diodlaryň we tranzistorlaryň şeýle hem swetodistlaryň (ýagtylykdiodlaryň) önümçiliginde giňden peýdalanylýan himiki arassalygy bilen tapawutlanýan karbitli kremniniň monokristalyny alýarlar.

Barlag soraglary.

1. Ýarymgeçirijilere mahsus bolan häsiýetleri aýdyp beriň ?
2. Ýarymgeçirijiniň hususy we garyndyly elektrik geçirijilerijilikleri näme ?
3. R-P geçiş näme ?
4. Germaniniň we kremniniň strukturasy we esasy häsiýetleri nähili ?
5. Seleniň strukturasy we esasy häsiýetleri nähili ?
6. Karbitli kermniniň düzümi we esasy häsiýetleri nähili ?
7. Ýarymgeçirijili materiallary nähili abzallar öndürmekde peýdalanýarlar?

Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusiyasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetini, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. Богородицкий Н.П., Пасынков В.М. Электротехнические материалы.-Л. Энергоатомиздат, 1985=303 с. (для изучения с. 9-183)
- 11.9. Байриев А.Ч., Меретелиев Ш., Гурбанназаров О., Язмухаммедов Б.,Электротехники материаллар боюнча лабаратория ишлери-Ашгабат. 1994-58 сах.
- 12.10. Справочник по электротехническим материаламю
- 13.Под. Ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова Б.М. тареева. Т.И.-М. Энергия, 1974-583 с.
- 14.11. Штофа Я. Электротехнические материалы в вопросах и ответах- М. Энергоатом – издат, 1984-199 с.

Mazmuny

Bölüm I: DIELEKTRIKLER.

§1. Maddalaryň gurluşy we dielektrikleriň polýarlanmagy.....	9
§2. Dielektrigiň Elektrikgeçirijiligi.....	20
§3. Dielektrik ýitgileri.....	25
§4. Dielektrigiň böwsülmesi.....	32

Bölüm II. GEÇIRIJI MATERIALLAR

§ 1. Geçirijiler hakynda umumy maglumatlar.....	41
§ 2 Geçiriji materiallara we olara haýsy materiallaryň laýyklygy hakyndaky talaplar.....	42
§ 3. Geçiriji materiallaryň esasy häsiýetleri.....	42
§ 4 Geçirijileriň elektrogeçirijiligi.....	43

Bölüm III. MAGNITLI MATERIALLAR

§1 Esasy häsiýetnamalary we synpylandyryş.....	45
§2. Magnitýumşak metally materiallar.....	49

Bölüm IV. ÝARYMGEÇIRIJI MATERIALLAR.

§1. Ýarymgeçirijiler geçiriji materiallardan näme bilen tapawutlanýar.....	53
§2. Ýarymgeçirijiler elektrik izolirleýji materiallardan näme bilen tapawutlanýar.....	54
§3. Ýarymgeçirijileriniň häsiýetleriniň nähili görkezijileri has ähmiýetlidir.....	55
§4. Ýarymgeçirijilerde elektrikgeçirijilik näme bilen kesgitlenýär.....	55
§5. Hususy we garyndyly ýarymgeçirijiler.....	56
§6. R-P geçiş näme ol we nähili häsiýetlere eýedir.....	61